

Universidad del Valle de Guatemala
Facultad de Ingeniería



Megaproyecto Estación Meteorológica

Trabajo de investigación presentado por los siguientes estudiantes para
optar al grado académico Licenciado en Ingeniería Mecatrónica:

José Alberto Cerdón Hemmerling

José Pablo Cruz Zamora

Jefferson Alexander Estrada Barrios

Fernando José Estrada Samayoa

Luis Carlos Mérida Sáenz

Guatemala

2011

Estación Meteorológica

Universidad del Valle de Guatemala
Facultad de Ingeniería



Megaproyecto Estación Meteorológica

Trabajo de investigación presentado por los siguientes estudiantes para optar al grado académico Licenciado en Ingeniería Mecatrónica:

José Alberto Cordón Hemmerling

José Pablo Cruz Zamora

Jefferson Alexander Estrada Barrios

Fernando José Estrada Samayoa

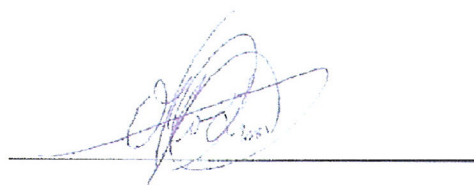
Luis Carlos Mérida Sáenz

Guatemala

2011

Vo.Bo

(f)

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'O. Girón', written over a horizontal line.

MAEB. Ing. Otto Girón

(f)

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'R. Delgado', written over a horizontal line.

MAEB. Ing. Roberto Delgado

Fecha de presentación: 29 de noviembre de 2011

PREFACIO

La idea de una estación meteorológica surge de la necesidad de conocer los parámetros ambientales de un lugar en específico. El proyecto nace y adquiere forma en diferentes departamentos de la Universidad del Valle de Guatemala, hasta que se propone el diseño del proyecto en el departamento de Ingeniería Mecatrónica.

A través de la alimentación por medio de un panel solar, se presenta un método alternativo para hacer una estación meteorológica por medio de energías renovables. El movimiento de la estructura se implementó para tratar de optimizar la incidencia de luz solar sobre el panel solar que alimenta la estación meteorológica. Cada una de las variables que se miden en la estación meteorológica son procesadas y luego enviadas a un servidor, con el fin de poder mostrar esos datos en una página de internet, en donde cualquier persona puede acceder e informarse de la situación climatológica actual, con mediciones precisas y confiables.

Queremos agradecer en primer lugar a Dios por darnos la oportunidad de poder realizar uno de nuestros principales sueños y por darnos la sabiduría para poder realizarlo, a nuestros padres por darnos apoyo incondicional en cada momento, a nuestras familias por aconsejarnos y alentarnos, a la Universidad del Valle por el apoyo económico en la realización de este proyecto, a nuestros asesores Otto Girón y Roberto Delgado por la orientación y el apoyo que nos dieron, y por último a todos nuestros compañeros de promoción, que en algún momento participaron con consejos, herramientas y apoyo.

ÍNDICE

Prefacio	iv
Índice	v
Lista de tablas	ix
Lista de figuras	xiii
Lista de ecuaciones	xviii
Resumen	xx
I. Introducción	1
II. Objetivos	4
<i>A. Objetivo general</i>	<i>4</i>
<i>B. Objetivos específicos</i>	<i>4</i>
III. Capítulo 1 – Módulo de sensores	7
<i>A. Marco teórico</i>	<i>7</i>
1. Radiación solar	7
2. Temperatura	9
3. Viento.....	14
4. Humedad	15
5. Temperatura de rocío.....	16
6. Presión.....	17
7. Detección de sismos.....	19
<i>B. Metodología</i>	<i>21</i>
1. Sensor de radiación solar	21
2. Sensor de temperatura.....	24
3. Sensor de viento	26
4. Sensor de humedad	28
5. Medición de temperatura de rocío	29
6. Sensor de presión.....	29
7. Sistema de Posicionamiento Global (GPS).....	29
8. Detección de sismos.....	30
9. Dispositivo de medición New Mountain Innovations NM150	34
<i>C. Resultados</i>	<i>34</i>
1. Radiación solar	34
2. Temperatura	43
3. Viento.....	45
4. Humedad	49

5.	Temperatura de rocío.....	51
6.	Presión.....	52
7.	Detección de sismos.....	54
8.	Resultados finales	56
IV.	Capítulo 2 – Módulo de alimentación.....	58
A.	<i>Marco teórico.....</i>	<i>58</i>
1.	Radiación solar.....	58
2.	Radiación solar en Guatemala.....	60
3.	Celdas fotovoltaicas.....	62
4.	Instalaciones fotovoltaicas independientes.....	63
5.	Baterías de ciclo profundo.....	64
B.	<i>Metodología.....</i>	<i>65</i>
1.	Batería	65
2.	Panel solar.....	68
3.	Regulador de voltaje	73
C.	<i>Resultados</i>	<i>74</i>
1.	Panel Solar	74
2.	Carga.....	77
D.	<i>Discusión</i>	<i>77</i>
V.	Capítulo 3 – Módulo de estructura.....	79
A.	<i>Marco teórico.....</i>	<i>79</i>
1.	Tipos de estaciones meteorológicas	79
2.	Posición del Sol	80
3.	Coordenadas horarias	81
4.	Sistemas de seguimiento solar.....	83
5.	Actuadores para posicionamiento solar.....	84
6.	Conceptos importantes de materiales de ingeniería.....	85
7.	Conceptos importantes de mecánica.....	88
B.	<i>Metodología.....</i>	<i>95</i>
C.	<i>Resultados</i>	<i>96</i>
1.	Posición y orientación del panel solar	96
2.	Sistema para movimiento del panel solar	98
3.	Diseño mecánico de la estructura.....	121
VI.	Capítulo 4 – Módulo principal.....	153
A.	<i>Marco teórico.....</i>	<i>153</i>
1.	Protocolo RS-485.....	153
2.	Protocolo RS-232C.....	154
3.	Protocolo I2C	158
4.	Protocolo Manchester	160
5.	Módulo USART	162

B.	<i>Metodología</i>	163
1.	Módulo Maestro	166
2.	Módulo Esclavo 1.....	176
3.	Módulo Esclavo 2.....	180
4.	Módulo Esclavo 3.....	181
C.	<i>Resultados</i>	182
1.	Análisis descriptivo de la solución planteada	182
2.	Módulo Maestro	182
3.	Módulo Esclavo 1.....	193
4.	Módulo Esclavo 2.....	195
5.	Módulo Esclavo 3.....	197
6.	Distribución, circuito y placas.....	199
VII.	Capítulo 5 – Módulo de comunicación y pagina web	203
A.	<i>Marco teórico</i>	203
1.	PHP.....	203
2.	Bases de datos	205
3.	JQUERY	205
4.	AJAX.....	205
B.	<i>Metodología</i>	206
C.	<i>Resultados</i>	207
1.	Comunicación estación-servidor.....	207
2.	Establecer comunicación con la estación meteorológica	211
3.	Funciones de la página Web.....	216
4.	Complementos.....	224
VIII.	Conclusiones	227
IX.	Recomendaciones	230
X.	Bibliografía	233
XI.	Apéndice	242
A.	<i>Anexo 1 – Código fuente de módulo de sensores</i>	242
1.	Radiación solar	242
2.	Temperatura	245
3.	Detección de sismos.....	247
B.	<i>Anexo 2 – Mediciones de energía de radiación promedio mensual</i>	251
C.	<i>Anexo 3 – Simulaciones de carga y consumo</i>	252
D.	<i>Anexo 4 – Gráficas de radiación diaria experimental</i>	253
E.	<i>Anexo 5 - Tablas de resultados</i>	268
F.	<i>Anexo 6 - Materiales utilizados para el módulo de estructura</i>	286

1.	Panel solar principal	286
2.	Panel solar para posicionamiento del panel solar principal	286
3.	Motor para movimiento diario.....	286
4.	Caja reductora movimiento diario.....	287
5.	Actuador lineal para movimiento anual.....	287
<i>G.</i>	<i>Puente H comercial.....</i>	<i>288</i>
1.	Cojinete de bolas de precisión.....	289
2.	Perfiles de aluminio utilizados y acoples	289
<i>H.</i>	<i>Anexo 7 - Código fuente del Módulo Esclavo</i>	<i>291</i>
<i>I.</i>	<i>Anexo 8 - Código fuente del Módulo Maestro.....</i>	<i>294</i>
<i>J.</i>	<i>Anexo 9 – Código fuente de Módulo Comunicación</i>	<i>300</i>
<i>K.</i>	<i>Anexo 10 – Imágenes de página Web.....</i>	<i>307</i>
<i>L.</i>	<i>ANEXO 11 - Código fuente de Módulo Página web</i>	<i>311</i>
1.	Código página estado actual del clima	311
2.	Código página historial	324
<i>M.</i>	<i>Anexo 12 – ¿Quiénes somos?.....</i>	<i>333</i>
1.	Configuración del servidor central, Módulo de Comunicación	334
2.	Módulo Principal, circuitos impresos y recolección de datos.....	334
3.	Módulo alimentación y panel solar	335
4.	Módulo de sensores.....	335
5.	Estructura y orientación automática del panel solar	336
XII.	GLOSARIO.....	337

LISTA DE TABLAS

1.	Factores influyentes en la radiación de la superficie terrestre.....	8
2.	Relación entre aceleración e intensidad Mercalli Modificada (INSIVUMEH)..	20
3.	Opciones de sensibilidad del sensor de radiación solar	22
4.	Escalas para la reducción de frecuencia de salida del sensor	23
5.	Cálculo de ecuaciones para la medición de frecuencia de salida	24
6.	Voltaje de salida máximo y mínimo en relación a 1G de aceleración	33
7.	Estadística descriptiva del porcentaje de error entre la frecuencia real	35
8.	Estadística descriptiva del porcentaje de error de la radiación	38
9.	Estadística descriptiva del porcentaje de error de la radiación	38
10.	Estadística descriptiva del porcentaje de error de la radiación	40
11.	Estadística descriptiva del porcentaje de error de la radiación	40
12.	Estadística descriptiva del porcentaje de error de la radiación	42
13.	Estadística descriptiva del porcentaje de error de la radiación	43
14.	Estadística descriptiva del porcentaje de error de la comparación.....	44
15.	Estadística descriptiva porcentaje de error entre la humedad	50
16.	Estadística descriptiva del porcentaje de error del p. rocío	51
17.	Estadística descriptiva del porcentaje de error entre la presión.....	54
18.	Variación de bits de lectura en relación a la variación de aceleración	54
19.	Resultados Finales Estación Meteorológica	57
20.	- Valores de energía de radiación en Guatemala	61
21.	- Valores de consumo de cada módulo de la Estación Meteorológica	66
22.	- Energía requerida por cada módulo de la Estación	66
23.	- Tabla de tiempos de carga de batería, con panel de 50 Watts.....	69
24.	- Tabla de tiempos de carga de batería, con panel de 25 Watts/m ²	70
25.	- Valores a ingresar en simulación de carga y descarga	70
26.	- Resultados de simulación de carga y descarga.....	71
27.	- Ejemplo de simulación de carga y descarga.....	71
28.	- Requerimientos del regulador de voltaje	73
29.	- Especificaciones del regulador LS1024R.....	74

30.	- Resultados de mediciones de radiación – panel horizontal	75
31.	- Estadística descriptiva de los resultados de las mediciones ($W \cdot h/m^2$)	76
32.	- Resultados de mediciones de radiación - panel en movimiento.....	76
33.	- Estadística descriptiva de los resultados de las mediciones ($W \cdot h/m^2$)	76
34.	- Elementos eléctricos utilizados en la Estación Meteorológica	77
35.	- Aleaciones del aluminio [93]	87
36.	- Resultados obtenidos de la posición del Sol para Guatemala	97
37.	- Propiedades panel solar principal.....	113
38.	- Resultados obtenidos con motor y caja reductora	113
39.	- Valores obtenidos para cálculo de torque generado por la velocidad	114
40.	- Resultados obtenidos para el movimiento del prisma rectangular.....	115
41.	- Valores obtenidos para el actuador lineal seleccionado.....	115
42.	- Valores obtenidos para cálculo de torque generado por la velocidad.....	115
43.	- Valores enviados al puente H del movimiento diario	116
44.	- Propiedades del aluminio 6063 T5 [7]	135
45.	- Propiedades del aluminio 6061 [7].....	136
46.	- Dimensiones iniciales para diseño de estructura [8].....	136
47.	- Valores de reacciones en ejes de estructura diaria.....	139
48.	- Valores de reacciones en cojinetes de estructura diaria.....	139
49.	- Valores obtenidos para selección de cojinete	140
50.	- Valores obtenidos en el análisis del eje diario	141
51.	- Valores obtenidos en el análisis del eslabón de entrada	141
52.	- Valores obtenidos en análisis de eslabones de unión	142
53.	- Valores obtenidos con inercia de inventor para cálculos de actuador.....	143
54.	Sensores utilizados.....	163
55.	Funciones de los Microcontroladores.....	164
56.	Modos del Driver MAX485	166
57.	Especificaciones de datos de la cadena WIMDA (New Mountain NM150).....	178
58.	Especificaciones de datos de la cadena GPGGA (New Mountain NM150)	179
59.	Funciones de los pines (Módulo Maestro)	184
60.	Funciones de los pines (Módulo Esclavo 1).....	184

61.	Funciones de los pines (Módulo Maestro y Esclavo 2).....	186
62.	Funciones de los pines (Módulo Maestro y Esclavo 3).....	188
63.	Especificaciones de datos de la cadena \$MDA.....	191
64.	(continuación): Especificaciones de datos de la cadena \$MDA	191
65.	Especificaciones de datos de la cadena \$MDE.....	192
66.	Especificaciones de datos de la cadena \$MDI.....	192
67.	Especificaciones de datos de la cadena \$MDO.....	193
68.	Distribución de puertos (maestro)	199
69.	Distribución de puertos (esclavo 1)	201
70.	Características del servidor central.....	207
71.	Estructura de la tabla MEDICIONES	208
72.	Estructura de la tabla error_log.....	210
73.	Valores utilizados para el cálculo del punto de rocío.	218
74.	Ilustración del estado actual del clima.	219
75.	- Energía de radiación mensual en Guatemala (Watt*hora/m ²) [43]	251
76.	- Energía de radiación mensual 2 en Guatemala (Watt*hora/m ²) [43].....	251
77.	- Resultados de simulación de carga y descarga.....	252
78.	- Medición de frecuencia y porcentaje de error de las mediciones	268
79.	(continuación)- Medición de frecuencia y porcentaje de error	269
80.	- Obtención de radiación a partir de la frecuencia (frecuencias >1000Hz) ...	270
81.	- Obtención de radiación a partir de la frecuencia.....	271
82.	- Obtención de radiación a partir de la frecuencia.....	271
83.	- Comparación entre sensor de temperatura DS18B20 y SM-18	272
84.	- Comparación de velocidad de viento Estación “La Aurora” y NM150	273
85.	(continuación) - Comparación de Velocidad de Viento Estación	274
86.	- Comparación de la dirección del viento Estación “La Aurora” y NM150	275
87.	(continuación) - Comparación de la dirección del viento Estación	276
88.	- Variación interrumpida de la dirección del viento	277
89.	- Variación ininterrumpida de la dirección del viento	278
90.	(continuación) - Variación ininterrumpida de la dirección del viento	279
91.	- Comparación de humedad relativa Estación “La Aurora” y NM150	280

92.	- Comparación de humedad relativa Estación “La Aurora” y NM150	281
93.	- Comparación de punto de rocío de la estación “La Aurora”	282
94.	(continuación) - Comparación de punto de rocío de la estación	283
95.	- Resultados de comparación de presión estación “La Aurora” y NM150	284
96.	(continuación) - Resultados de comparación de presión estación.....	285
97.	- Características del panel solar principal	286
98.	- Propiedades del panel solar para posicionamiento seleccionado	286
99.	- Características motor movimiento diario.....	286
100.	- Características caja reductora	287
101.	- Características actuador lineal.....	287
102.	- Características puente H.....	288
103.	- Dimensiones perfil angular	289
104.	- Dimensiones tubo cuadrado	289
105.	- Dimensiones de las platinas	290

LISTA DE FIGURAS

1.	Relación entre el voltaje de salida y la temperatura para un sensor	13
2.	Uso correcto de un sensor IC para la medición de temperatura ambiente	14
3.	Diagrama de bloques del sensor de radiación solar.....	23
4.	Esquemático de la conexión del sensor de temperatura DS18B20	25
5.	Dispositivo NM150 y ubicación de partes para la medición de viento	27
6.	Transmisión y recepción de señales ultrasónicas para la medición de viento	27
7.	Relación entre frecuencia de salida y humedad relativa.....	28
8.	Restador de voltajes por medio de un amplificador operacional	31
9.	Esquemático de la interconexión entre el acelerómetro ADXL335	32
10.	Diagrama de cajas comparativo entre la frecuencia real y la frecuencia	35
11.	Diagrama de cajas comparativo en los resultados de radiación.....	37
12.	Diagrama de cajas comparativo en los resultados de radiación	39
13.	Diagrama de cajas comparativo en los resultados de radiación	42
14.	Diagrama de cajas comparativo entre los sensores de temperatura	44
15.	Comparación de velocidad de viento Estación La Aurora y NM150	45
16.	Esquemático de la ubicación de la Estación “La Aurora”	46
17.	Comparación de dirección del viento Estación La Aurora y NM150	47
18.	Dirección del viento en ambiente controlado (Interrumpida)	48
19.	Dirección del viento en ambiente controlado (Ininterrumpida)	49
20.	Diagrama de cajas comparativo entre la Estación “La Aurora”	50
21.	Comparación de presión Estación “La Aurora” y NM150	52
22.	Diagrama de cajas comparativo entre la presión de la estación “La Aurora” ..	53
23.	Señal del acelerómetro sin movimiento (Sin filtro)	55
24.	Señal del acelerómetro (Filtro con promedios).....	55
25.	- Distribución espectral de radiación solar [57]	58
26.	- Radiación Solar medida por diferentes instrumentos [68]	59
27.	- Radiación promedio diaria [58]	60
28.	- Energía de radiación promedio mensual medida en Guatemala	61
29.	- Mapa de Energía de Radiación en Guatemala kW*h/m ² [56].....	62

30. - Corriente vs Voltaje en una celda fotovoltaica [35]	62
31. - Vida de una batería en ciclos por porcentaje de descarga [20].....	65
32. - Estación meteorológica fija [16].....	79
33. - Estación meteorológica móvil[25].....	80
34. - Angulo entre el plano de la eclíptica con respecto al ecuador[43]	81
35. - Coordenadas horarias [43].....	82
36. - Paralelogramo articulado [93].....	89
37. - Diagrama de bloques del módulo de estructura	95
38. - Trayectoria solar en Guatemala [68].....	97
39. - Ángulos con respecto a la vertical, orientación y días que corresponde.....	98
40. - Inclinación del panel en su movimiento anual	98
41. - Incidencia del Sol en el panel solar, ángulo horario	99
42. - Estructura para paneles solares y posiciones a 45 grados	102
43. - Diagrama de flujo de programa	104
44. - Paralelepípedo.....	106
45. - Mecanismo de 4 barras para transmisión de movimiento.....	108
46. - Circuito controlador puente H [25].....	109
47. - Ensamble actuador lineal estructura.....	112
48. - Placa desarrollada en PCBWizard para puente H.....	114
49. - Anchos de pulso obtenidos para control de dirección de giro en puente ...	116
50. - Bosquejo de estructura diaria	124
51. - Bosquejo de estructura anual.....	126
52. - análisis dimensional para estructura anual.....	127
53. - Sensor a utilizar	128
54. - Ubicación de la fuerza del viento.	130
55. - Fuerza del viento en el espacio.....	130
56. - Análisis de fuerza en estructura diaria [10]	131
57. - Acoples de estructura a mover y ejes.....	132
58. - Longitudes del eje para movimiento diario (pulgadas)	133
59. - Diámetros del eje para movimiento diario (pulgadas).....	133
60. - Longitudes del eje para movimiento anual (pulgadas)	134

61.	- Diámetros del eje para movimiento anual (pulgadas)	134
62.	- Dimensiones de los soportes movimiento diario	136
63.	- Dimensiones y nombramiento de partes estructura diaria.....	137
64.	- Dimensiones de los eslabones.....	137
65.	- Análisis dimensional con ángulo de 41.5 grados	138
66.	- Dimensiones de soporte estructura anual.....	138
67.	- Dimensiones de barra de sensor y barras de unión	139
68.	- Eje diario bajo análisis de elementos finitos en Inventor.....	141
69.	-Eslabón de entrada bajo análisis de elementos finitos.....	142
70.	- Eslabones de unión bajo análisis de elementos finitos	142
71.	- Diseño de estructura diaria con elementos utilizados.....	143
72.	- Diseño final de estructura para estación meteorológica	144
73.	- Esfuerzos de Von Mises en estructura de estación meteorológica	144
74.	- Factor de seguridad en estructura de estación meteorológica	144
75.	- Niveles eléctricos válidos RS-232C [57].....	155
76.	- Puerto D-B9 Serial [57].....	156
77.	- Configuración eléctrica del bus I2C [58]	158
78.	- Ejemplo codificación Manchester [68]	162
79.	- Diagrama de Módulos.....	165
80.	- Esquema Método 1 del Protocolo RS-485	167
81.	- Esquema Método 2 del Protocolo RS-485	168
82.	- Esquema de comunicación por puerto paralelo.....	169
83.	- Comunicación por puerto paralelo.....	170
84.	- Esquema de protocolo I2C.....	171
85.	- Cadena de datos enviadas por maestro (Protocolo I2C).....	172
86.	- Sensor de temperatura DS18B20.....	175
87.	- Esquema de conexión con sensor DS18B20 (Temperatura).....	176
88.	- Descripción del puerto serial.....	177
89.	- Sintaxis de la cadena WIMDA (New Mountain NM150).....	178
90.	- Sintaxis de la cadena GPGGA (New Mountain NM150)	179
91.	- Sensor ADXL335 (Sismos)	180

92. - Sensor TSL23RD (Radiación Solar).....	181
93. - Funciones del Módulo Maestro.....	182
94. - Comunicación por puerto paralelo (Maestro y Esclavo 1).....	183
95. - Comunicación RS-485 (Maestro y Esclavo 2).....	186
96. - Comunicación RS-485 (Maestro y Esclavo 3).....	188
97. - Comunicación <i>One-Wire</i> (Maestro y DS18B20).....	189
98. - Sintaxis de la cadena \$MDA.....	191
99. - Sintaxis de la cadena \$MDE.....	192
100. - Sintaxis de la cadena \$MDI.....	192
101. - Sintaxis de la cadena \$MDO.....	193
102. - Funciones del módulo esclavo 1.....	194
103. - Funciones del módulo esclavo 2.....	196
104. - Funciones del módulo esclavo 3.....	197
105. - Diagrama eléctrico (módulo maestro).....	200
106. - Placa (módulo maestro).....	201
107. - Diagrama Eléctrico (Módulo Esclavo 1).....	202
108. - Placa (módulo esclavo 1).....	202
109. Software transmisor de información.....	211
110. Ventana para configurar la conexión al servidor.....	214
111. Ejemplo de gráfica obtenida para humedad relativa.....	221
112. Sección para buscar datos por fecha.....	222
113. Tabla de datos con la información recopilada.....	223
114. Banner publicitario.....	225
115. Integración con la página de la Universidad del Valle de Guatemala.....	226
116. Diseño de gadget estación meteorológica.....	226
117. - Radiación medida (W/m ²) en el día 1 – panel horizontal.....	253
118. - Radiación medida (W/m ²) en el día 2 – panel horizontal.....	254
119. - Radiación medida (W/m ²) en el día 3 – panel horizontal.....	255
120. - Radiación medida (W/m ²) en el día 4 – panel horizontal.....	256
121. - Radiación medida (W/m ²) en el día 5 – panel horizontal.....	257
122. - Radiación medida (W/m ²) en el día 6 – panel horizontal.....	258

123. - Radiación medida (W/m ²) en el día 7 – panel horizontal	259
124. - Radiación medida (W/m ²) en el día 8 – panel horizontal	260
125. - Radiación medida (W/m ²) en el día 9 – panel horizontal	261
126. - Radiación medida (W/m ²) en el día 1 - panel móvil.....	262
127. - Radiación medida (W/m ²) en el día 2 - panel móvil.....	263
128. - Radiación medida (W/m ²) en el día 3 - panel móvil.....	264
129. - Radiación medida (W/m ²) en el día 4 - panel móvil.....	265
130. - Radiación medida (W/m ²) en el día 5 - panel móvil.....	266
131. - Radiación medida (W/m ²) en el día 6 - panel móvil.....	267
132. - Panel solar principal	286
133. - Panel solar [43]	286
134. - Motor movimiento diario	287
135. - Caja reductora utilizada movimiento diario	287
136. - Actuador lineal	288
137. - Acoples utilizados para fijar el actuador lineal con la estructura	288
138. - Puente H.....	288
139. - Características del cojinete de bolas SKF	289
140. - Cojinete de bolas utilizado.....	289
141. - Perfil angular.....	289
142. - Tubo cuadrado	289
143. - Platina	290
144. - Acople utilizado (pulgadas).....	290
145. - Dimensiones de la caja para guardar componentes	290
146. Página web, sección estado actual.....	307
147. Sección historial	308
148. Sección acerca del proyecto.....	309
149. Sección imágenes	310

LISTA DE ECUACIONES

1. Conversión de Grados Kelvin a Grados Celsius.....	9
2. Relación de voltajes con respecto a la temperatura de dos transistores.....	12
3. Humedad relativa	16
4. Ecuación de presión de saturación vapor	16
5. Humedad relativa en términos de presión de saturación de vapor	17
6. Punto de rocío en términos de presión de vapor	17
7. Punto de rocío en términos de humedad Relativa y temperatura	17
8. Presión a una altura h	18
9. Magnitud de un sismo.....	21
10. Velocidad del viento en relación a t1 y t2	27
11. Temperatura de rocío con relación a la temperatura y humedad relativa	29
12. Voltaje de salida del circuito restador (Ecuación General).....	31
13. Voltaje de salida del circuito restador con R1=R3 y R2=R4	32
14. Linealización de la radiación (Frecuencias mayores a 1000 Hz).....	36
15. Linealización de la radiación (Frecuencias entre 250 Hz y 1000 Hz).....	39
16. Linealización de la radiación (Frecuencias menores a 250 Hz).....	41
17. Linealización de la presión	53
18. Exactitud de un instrumento de medición.....	56
19. - Potencia Eléctrica	66
20. - Energía Electrica	66
21. - Corriente consumida diaria	67
22. - Capacidad nominal.....	67
23. - Porcentaje de capacidad de trabajo.....	67
24. - Potencia Nominal Panel Solar	68
25. - Cálculo Potencia Nominal.....	68
26. - Energía entregada por el panel solar	69
27. - Tiempo de carga de la batería.....	69
28. - Diámetro de cable.....	74
29. - Voltaje en función de resistencia	75

30. - Potencia en función de resistencia.....	75
31. - Energía en función de potencia	76
32. - Corriente entregada.....	76
33. - Radiación absorbida por el panel solar	76
34. - Incremento en radiación	77
35. - Cálculo de la declinación solar [10]	82
36. - Relación factor de diseño y esfuerzo de Von Mises [10]	91
37. - Relación carga-vida y confiabilidad [10]	94
38. - Variante adimensional de la vida [10]	94
39. - Fuerza equivalente [10]	95
40. - Condición para rotación por torques en dinámica de rotación [76].....	105
41. - Momento de inercia de un paralelepípedo [10].....	106
42. - Aceleración angular [76].....	106
43. - Relación potencia torque y velocidad angular [10].....	107
44. - Fuerza generada por el aire [17]	107
45. - Presión del aire [17]	108
46. - Momento de inercia de un prisma rectangular [10]	111
47. - Ley de cosenos	127
48. - Representación de la fuerza del viento en vector	130
49. Tiempo en que se llena la base de datos.....	209
50. Ecuación para calcular el punto de rocío	217

RESUMEN

Una estación meteorológica es un sistema completo de recolección de información importante acerca del clima. Dichos datos deben de ser almacenados para poder ser analizados y utilizados posteriormente. La estación meteorológica que se describe en este trabajo es una estación autónoma, en donde se realizó la autonomía por medio de un sistema de paneles con celdas fotovoltaicas, con una batería que pueda almacenar esta energía obtenida y tener reserva para su funcionamiento, y un regulador de voltaje para que pueda limitar la conexión a la fuente de alimentación. Con el uso de un panel solar de 50 Watts, una batería de 100 Ah y un regulador de 10 A, se logró dimensionar un sistema que tenga un respaldo de energía de al menos una semana sin recibir radiación solar o con los paneles fotovoltaicos desconectados.

La estación cuenta con la posibilidad de medir ocho variables climatológicas distintas: temperatura, velocidad del viento, dirección del viento, presión barométrica, punto de rocío, humedad relativa, radiación y sismos en escala de Mercalli modificada. Se logró realizar las pruebas y calibraciones necesarias para que estos sensores proporcionen datos precisos, y por último, se encarguen de transmitir los datos recopilados para que éstos sean procesados y almacenados.

En el momento de ser percibidas las variables climatológicas, éstas son enviadas a un servidor para poder almacenarlas y luego mostrarlas en una página web. La página web cuenta con las características de tener fácil accesibilidad, la posibilidad de realizar búsquedas dentro de la base de datos y poder descargar los datos para ser analizados posteriormente.

Ya que la estación meteorológica es una estación autónoma a través de un panel solar, se logró implementar una estructura móvil capaz de darle seguimiento al Sol en su movimiento diario y en su movimiento anual. Con esta implementación se logró aumentar la captación de energía solar en un 50% con respecto a una estación con panel solar fijo.

I. INTRODUCCIÓN

Guatemala es un país con un clima muy variado y varias irregularidades climáticas, por lo que es necesario tener una base de datos actualizada de los parámetros ambientales que se utilizan para hacer estudios y predicciones del clima, pero para poder tener una base de datos de esta magnitud se necesita una gran inversión ya que el equipo necesario para esto es de alto costo, es por eso que el Centro de Estudios de la Universidad del Valle de Guatemala campus Altiplano, propuso la creación de una estación meteorológica la cual tuviera la capacidad de medir ocho variables que son indispensables para hacer estudios que ayuden a la predicción del clima y otras aplicaciones en los estudios climatológicos.

Es por eso que el Departamento de Mecatrónica, aceptó el reto de realizar una estación meteorológica que fuera capaz de medir las ocho variables requeridas por el Centro de Estudios, y hacerla a un bajo costo, para que sea rentable implementar varias de estas torres alrededor del Lago de Atitlán, para poder realizar los estudios antes mencionados.

Hasta hace pocos años el uso de este tipo de herramientas utilizadas para la medición de dichas variables implicaba altos costos, por lo que los únicos centros de estudio meteorológicos que podían adquirir un equipo como éste eran los que estaban implicados con el gobierno o alguna ONG capaz de hacer inversiones tan grandes. Hoy en día el avance tecnológico permite el acceso fácil a instrumentos de medición capaces de hacer mediciones meteorológicas confiables, así también el bajo costo de los microcontroladores, hace viable proponer alternativas de su uso en soluciones prácticas puntuales que hasta hace pocos años eran consideradas inejecutables a tan bajo costo.

Para poder realizar este proyecto se formaron cinco módulos los cuales al unirlos cumplen con todos los requisitos mencionados, estos módulos son: módulo de sensores, módulo principal, módulo de comunicación y página web, módulo de estructura y módulo de alimentación, por el avance tecnológico que ha surgido en los

últimos años en estos módulos es posible realizar una estación rentable capaz de cumplir los objetivos planteados.

Debido al bajo costo de algunos tipos de sensores y la variedad de los mismos es que se hace posible este proyecto, ya que los sensores para medir variables meteorológicas vienen en una amplia gama para que los usuarios, como nosotros, podamos elegir dependiendo la aplicación que queramos desarrollar y la inversión que queramos hacer en los mismos, en nuestro caso los sensores fueron elegidos dependiendo las exigencias en precisión, exactitud, costo y rangos de cada uno de ellos.

El módulo principal se implementará por medio de microcontroladores, estos microcontroladores tienen varias funciones que serán especificadas en este trabajo, el sistema de módulo principal implementa tres esclavos y un master, los cuales se comunican entre ellos por distintos tipos de protocolos de comunicación tales como: RS-232, RS-485 y por medio de puerto paralelo. Entre las funciones que hacen los microcontroladores están la recepción de todos los datos obtenidos de los sensores, el control del motor que se encarga de la rotación del panel solar y la transmisión de datos hacia el ordenador que tiene la base de datos y los despliega en una página web.

El control de los motores por medio de microcontroladores es parte del módulo de estructura, el cual es el encargado de diseñar e implementar una estructura estable ante vientos de alta velocidad, y un lugar para retener el panel solar la cual nos proporciona la energía, también se encarga de optimizar el proceso de absorción de energía, teniendo la capacidad de seguir al Sol durante el día y con el cambio de la posición del Sol anualmente.

El módulo de alimentación es el encargado de transformar la energía solar a energía eléctrica para poder alimentar la estación, y poder almacenar esta energía para los días donde la radiación solar no sea capaz de darle energía a los paneles solares.

Todos estos módulos juntos forman una estación meteorológica capaz de medir las variables de: dirección del viento, velocidad del viento, humedad relativa, presión barométrica, temperatura, presión barométrica, sismos, radiación solar; estas variables son transmitidas a un servidor, el cual las almacena y despliega en una página web donde tiene acceso todo público. La estación se alimenta por medio de energía solar y optimiza la absorción de la radiación solar por un mecanismo encargado del seguimiento del Sol.

A continuación se muestra cómo fue implementado cada uno de los módulos y el resultado final de unirlos, así también el potencial de este proyecto.

II. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar una estación meteorológica autónoma capaz de medir y almacenar variables meteorológicas, con una fuente de energía solar, optimizando la absorción de radiación.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elegir entre diversas opciones, después de investigar, los sensores específicos para cada función más económicos y precisos.
- Realizar las pruebas y calibraciones correspondientes para que de cada sensor se obtengan datos verídicos y precisos.
- Obtener mediciones o cálculos precisos de las siguientes variables ambientales:
 - Velocidad del viento
 - Dirección del viento
 - Temperatura ambiental
 - Humedad relativa del ambiente
 - Temperatura de rocío
 - Presión barométrica
 - Movimientos sísmicos
 - Radiación solar
- En caso los sensores especiales para la medición de una variable no sean económicos; se deberán diseñar y construir en forma económica.
- Interpretar las señales eléctricas de cada variable de medición para realizar una base de datos, accesible a usuarios específicos, de variables ambientales que permitan realizar estudios.
- Calcular e implementar un sistema de alimentación de energía eléctrica por medio de la energía solar para que la estación meteorológica sea autónoma en cuestión de energía.

- Realizar un estudio sobre mediciones de radiación solar en años anteriores, para poder determinar las limitantes en cuanto a variables ambientales en el sistema.
- Definir las características del panel solar para cubrir los requerimientos de potencia y energía del sistema.
- Calcular y medir todos los elementos que consumen electricidad en la estación meteorológica, para poder establecer los requerimientos de energía.
- Definir las características de almacenamiento de energía para tener un sistema autónomo y de continuo funcionamiento.
- Seleccionar las dimensiones y materiales de la estructura.
- Seleccionar e implementar los mecanismos de mejor desempeño para el movimiento del panel solar en su movimiento diario y su movimiento anual.
- Seleccionar motores adecuados para el movimiento del panel solar.
- Construir una estructura de estación meteorológica capaz de soportar diversos factores climáticos.
- Instalar en un lugar adecuado la estación meteorológica para poder percibir adecuadamente todos los cambios climáticos que desean ser recopilados por la estación meteorológica.
- Sincronizar todas las variables obtenidas por el sensor New Mountain Innovations NM150, en un micro-controlador para la fácil manipulación de todos los datos que este puede obtener.
- Decodificar los datos obtenidos por el sensor New Mountain NM150, y luego extraer solo los que van a ser utilizados y enviarlos por una de las cinco cadenas de datos que se mandarán a la base de datos.
- Actualizar la base de datos por medio de cinco cadenas de datos, realizar esta actualización en un lapso de tiempo en el cual no se pierdan datos importantes.
- Extraer las mediciones realizadas por los acelerómetros para la implementación del sensor sismológico, y enviárselos al módulo de transferencias.

- Realizar la comunicación entre los tres sensores, y tener las mediciones disponibles actualizadas, ya sea para ser enviadas a la base de datos, o que sean requeridas por el módulo de transferencias ya que fueron pedidas por un ordenador.
- Convertir los datos recibidos de la estación meteorológica de las variables climáticas que fueron medidas.
- Transmitir los datos recopilados hacia un servidor destinado por medio de una conexión a internet.
- Crear un sitio web para mostrar la información climática recopilada de manera agradable para el usuario final.
- Proveer herramientas de búsqueda de datos en línea por fecha de adquisición, para facilitar el proceso de análisis estadístico que requieran los usuarios finales.
- Mostrar gráficas del comportamiento de la variable climática que desee el usuario en el rango de tiempo que se requiera.
- Hacer públicos los datos recopilados al proveer herramientas de descarga como tablas en Excel para el uso y manipulación local de los mismos.

III. CAPÍTULO 1 – MÓDULO DE SENSORES

A. MARCO TEÓRICO

1. RADIACIÓN SOLAR. La radiometría es la medición de las propiedades de la energía de radiación (Unidad SI: joule, J), que es una de las muchas formas intercambiables de energía. El flujo de radiación se transmite por medio de reflexión, absorción, dispersión o transmisión.

La radiación emitida por el Sol muestra una amplia gama de longitudes de onda. Se puede dividir en dos grandes regiones con respecto a la capacidad de los átomos de la radiación ionizante en la absorción de la materia: las radiaciones ionizantes (rayos X y rayos gamma) y la radiación no ionizante (rayos UV, la luz visible y radiación infrarroja).

La radiación recibida en la superficie terrestre se compone de tres componentes:

- Radiación solar directa
 - Es la radiación emitida por el ángulo sólido del disco solar, recibió en una superficie perpendicular al eje del cono, que comprende principalmente de la radiación que no es dispersa o reflejada. Unidad: $W m^{-2}$.
- Radiación solar difusa
 - Es también llamada radiación del cielo. Es la radiación dispersa y reflejada proveniente de todo el hemisferio, con excepción del ángulo sólido subtendido por el disco solar. Unidad: $W m^{-2}$.
- Radiación solar global
 - Es la suma aritmética de la radiación solar directa con la radiación solar difusa. Unidad: $W m^{-2}$.

Los factores que afectan a la cantidad de radiación solar recibida en la superficie terrestre se muestran en la Tabla 1:

Tabla 1: Factores influyentes en la radiación de la superficie terrestre

Factor	Efecto
Intensidad de radiación del Sol	Cambia constantemente durante un ciclo solar de 11 años.
Distancia de la Tierra al Sol	Hay una variación anual del 3.5%
Nubosidad	Es un factor dominante en la disminución de la radiación solar.
Contaminación del aire	Hace que la radiación llegue hasta un 40% de manera menos directa
Ubicación	Afectan directamente en la posición del Sol.
Hora del día	
Temporada del año	

a. INTENSIDAD DE LA RADIACIÓN. Ésta es controlada por el movimiento de la Tierra en relación al Sol. La órbita terrestre no es un círculo, pero sí una elipse, de acuerdo a ello, en determinada época del año, el Sol se encuentra más próximo a la Tierra y en otras épocas más alejado.

La intensidad también varía con la posición o elevación del Sol en el cielo. La intensidad será mayor, cuando mayor sea la elevación del Sol en el cielo. Por tanto, al medio día, se recibe la mayor cantidad de radiación solar. Esto se debe a que:

- Los rayos procedentes del Sol en una posición elevada por encima del horizonte son detectados en una superficie menor que los rayos oblicuos.
- El camino recorrido por los rayos en la atmósfera es menor cuando la elevación solar es mayor, esto significa que los rayos serán menos atenuados al medio día debido a la absorción, dispersión y reflexión por los componentes de la atmósfera incluyendo las nubes.

Uno de los factores que controla la radiación es la nubosidad. Cuanto más espesa sean las nubes, mayor será la atenuación del eje por la reflexión y la absorción de la radiación por las gotas de agua.

2. TEMPERATURA. La temperatura se define como una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, definida por el principio cero de la termodinámica.

Existen varias escalas termométricas para medir temperaturas, relativas y absolutas. Para definir una escala de temperaturas es necesario elegir una propiedad termométrica que reúna las siguientes condiciones:

- La expresión matemática de la relación entre la propiedad y la temperatura debe ser conocida.
- La propiedad termométrica debe ser lo bastante sensible a las variaciones de temperatura como para poder detectar, con una exactitud aceptable, pequeños cambios térmicos.
- El rango de temperatura accesible debe ser suficientemente grande.

Existen varias escalas para medir temperaturas. La escala de temperatura utilizada en meteorología es la escala Celsius, la cual se fundamenta en el punto de fusión del hielo y el punto de ebullición del agua para definir la escala y poder encontrar la temperatura.

En un gran número de estudios científicos se utiliza la escala termodinámica absoluta Kelvin de Temperatura, cuyo punto fijo fundamental es el punto triple del agua, es decir, el punto de equilibrio entre los estados líquido, sólido y gaseoso del agua. La Ecuación 1 permite convertir de los grados kelvin en Celsius. [68]

$$C = K - 273.15$$

Ecuación 1: Conversión de grados Kelvin a grados Celsius

En donde C representa la temperatura en grados Celsius (°C) y K representa la temperatura en grados Kelvin (°K).

a. MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA. Los termómetros son dispositivos que se utilizan para medir la temperatura de un sistema. Todos los termómetros se basan en el principio de que alguna propiedad física de un sistema cambia mientras haya cambios de temperatura en el sistema. Algunos de los cambios físicos que se generan por la variación de temperatura y que se pueden medir cuantitativamente son:

- Volumen de un líquido
- Dimensiones de un sólido
- Presión de un gas a volumen constante
- Volumen de un gas a presión constante
- Resistencia eléctrica de un conductor
- Color de un objeto

Por lo que cualquier propiedad física que varía en función de la temperatura puede ser utilizada como base de un termómetro.

La temperatura del aire, para propósitos meteorológicos, es la que mide la temperatura del aire libre a una altura comprendida entre 1.25 y 2.00 metros del suelo.

1) MEDICIÓN DE TEMPERATURA POR MEDIO DE DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS. Existen diversas formas de medir la temperatura por medio de dispositivos electrónicos. Entre las cuales se encuentran:

a) TERMISTORES. Los termistores son resistencias dependientes de la temperatura, generalmente están contruidos de materiales conductores como cerámicas de óxido de metal o polímeros. Los termistores más comunes tienen un coeficiente de temperatura negativo (NTC – Coeficiente Negativo de Temperatura) de la resistencia y, por tanto, son llamados comúnmente NTC's. Sin embargo también se encuentran los termistores de coeficiente de temperatura positivo (PTC – Coeficiente positivo de temperatura).

Entre las características de los termistores se tiene que incluyen rango de temperatura moderada (por lo general hasta 150 ° C, aunque algunos son capaces de

alcanzar temperaturas mucho más altas), son de bajo a moderado costo (dependiendo de la precisión y exactitud), poseen una linealidad pobre pero linealidad predecible, por lo que a veces requieren de un acondicionamiento de señal.

Comúnmente para medir la temperatura se coloca el termistor en un circuito divisor de voltaje, el cual varía la salida de voltaje dependiendo de la temperatura, ya que el termistor cambia su resistencia eléctrica.

b) RTDs. Los RTD's son resistencias detectoras de temperatura (RTD –Detector Resistivo de Temperatura). Son resistencias que varían con la temperatura. El platino es el más común y más preciso material para la construcción de RTD's. Entre las características de los RTD's se tiene el amplio rango de temperaturas (hasta 750 ° C), la excelente precisión y repetibilidad, linealidad razonable, y la necesidad de un acondicionamiento de señal leve al ser utilizados.

Por su precisión, estabilidad y rango alto de temperaturas, estos son utilizados en amplias aplicaciones, incluyendo instrumentos, control de procesos y sistemas de automoción.

c) TERMOCOPLAS. Las Termocoplas están formadas por la unión de dos cables de metales distintos. El punto de contacto entre los cables genera un voltaje que es proporcional a la temperatura.

Entre las características de este tipo de sensores se encuentra un alto rango de temperatura (hasta 1800°C), bajo costo, voltaje de salida muy bajo (Aproximadamente 40µV por °C para una termocopla tipo K), linealidad razonable y una necesidad de un complejo acondicionamiento de señal (Compensación y amplificación por una unión en frío).

d) SENSORES DE TEMPERATURA ICs. Los sensores de temperatura ICs sacan provecho de las características previsibles de las uniones de silicio PN. Como son circuitos activos, construidos usando procesos de semiconductores convencionales, pueden tomar una gran variedad de formas e incluir una gran variedad de características (Interfaces digitales, entradas ADC, control de

ventiladores, entre otras). El rango de temperatura de este tipo de sensores se extiende desde $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $125\text{ }^{\circ}\text{C}$. Los sensores de temperatura IC Analógicos convierten la temperatura a voltaje o, en algunos casos, a corriente.

Utilizan las características térmicas de los transistores bipolares para generar un voltaje de salida proporcional a la temperatura.

Dos transistores iguales en el mismo chip están conectados como diodos y alimentados con dos distintas corrientes conocidas.

El voltaje base-emisor (V_{BE}) para cada transistor depende de su temperatura y la corriente de colector. Si los transistores se encuentran cerca unos de otros en el chip y no hay gradientes térmicos significativos en su proximidad, su temperatura será la misma.

Si están bien combinados y sus corrientes del colector coinciden, sus valores V_{BE} también coinciden. Si las corrientes son diferentes, los valores de V_{BE} seguirán la Ecuación 2[90]:

$$V_{BE2} - V_{BE1} = n(kT/q)\ln(I_{C2}/I_{C1})$$

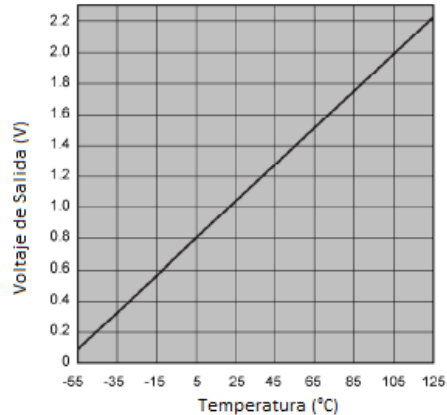
Ecuación 2: Relación de voltajes con respecto a la temperatura de dos transistores

Dónde:

- n es el factor de idealidad de la unión del transistor; depende del proceso y diseño del dispositivo y es generalmente muy cercano a 1.01
- k es la constante de Boltzmann $k= 1.3806503 \times 10^{-23} \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-2} \text{ K}^{-1}$
- q es la carga del electrón $q=1.60217646 \times 10^{-19}$ coulombs
- T es la temperatura en $^{\circ}\text{K}$

En la Figura 1 [90] se observa la relación común entre el voltaje de salida y la temperatura para un sensor de temperatura analógico IC típico.

Figura 1: Relación entre el voltaje de salida y la temperatura para un sensor analógico IC típico



i) Lógica digital de los sensores de temperatura IC. Integrar un sensor de temperatura analógica IC con un ADC es la forma más común de crear un sensor de temperatura con una interface digital directa. Estos dispositivos son llamados normalmente sensores de temperatura digital, o sensores de temperatura digital local. “Local” se refiere al hecho que los sensores miden su propia temperatura. Este tipo de sensores pueden dar a conocer el valor de la temperatura por medio de varios protocolos de comunicación e interfaces digitales como lo son I2C, SMBus, SPI, PWM o 1-Wire interface.

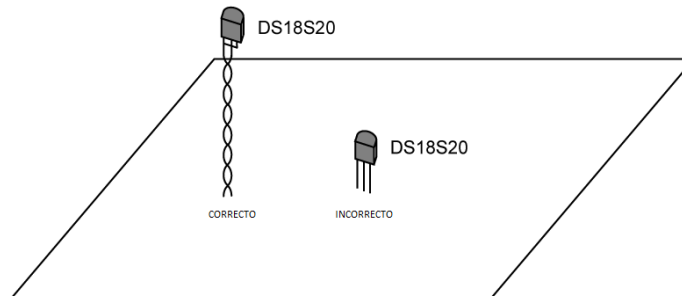
ii) Temperatura del aire por medio de sensores de temperatura ICs. La temperatura del aire puede ser difícil de medir debido a que la temperatura del sensor debe estar a la misma temperatura que el aire, pero aislado de todo lo demás (placa de circuito impreso, la fuente de alimentación, CPU) que podrían estar a una temperatura diferente.

A pesar de su sensibilidad a la temperatura de la placa, los sensores IC con empaquetado convencional son a menudo la mejor solución para la medición de la temperatura del aire, ya que no son sólo los sensores que suelen tener características adicionales, tales como salidas digitales, direccionamiento, o las funciones de termostato. Para usar un sensor de temperatura IC para la detección de la temperatura ambiente, se debe utilizar un par trenzado de cables para aislar el sensor de la placa. Al igual que con un termistor, si los cables son lo suficientemente largos y

lo suficientemente delgada, se puede lograr el aislamiento suficiente para obtener lecturas precisas de la temperatura ambiente.

En la Figura 2[90] se observa cómo se debe de utilizar un sensor de temperatura IC de empaquetado convencional para la medición de temperatura ambiente.

Figura 2: Uso correcto de un sensor IC para la medición de temperatura ambiente



2) EFECTOS DE LA RADIACIÓN EN LA MEDICIÓN DE TEMPERATURA. La radiación procedente del Sol, las nubes, el terreno y otros objetos circundantes pasa a través del aire sin cambio apreciable alguno de temperatura, mientras que un termómetro expuesto libremente a la intemperie puede absorber considerable radiación. Como consecuencia de ello, su temperatura puede diferir de la temperatura verdadera del aire, dependiendo esta diferencia de la intensidad de la radiación y de la relación que existe entre la radiación absorbida y el calor disipado. En consecuencia, es necesario proteger el termómetro de la radiación solar.

3. VIENTO. El viento es el aire en movimiento. La intensidad del viento es considerada en términos de tres componentes, ubicándose dos de ellos en un plano paralelo a la superficie de la Tierra, y el tercero perpendicular a ese plano. Sin embargo el componente vertical es despreciable a comparación de los componentes horizontales, por lo que esta es despreciable. Por lo tanto el viento en superficie se considera una magnitud vectorial bidimensional especificada por dos números que representan la dirección y la velocidad del viento.

Para la mayoría de los propósitos la intensidad media del viento se toma como un promedio de valores instantáneos, calculado sobre un intervalo de diez minutos. Lo

recomendable es tomar valores de velocidad máxima, mínima y media en este intervalo de tiempo.

a. DIRECCIÓN DEL VIENTO. Se define como la dirección a la cual el viento sopla. Los instrumentos utilizados, generalmente, para la medición de la dirección del viento se llaman veletas; sin embargo gracias a los avances de la tecnología hoy en día se es posible medir la dirección del viento con instrumentos electrónicos los cuales, a diferencia de las veletas, realizan la medición con partes no móviles.

La dirección del viento se puede dar a conocer en grados, sin embargo comúnmente también se da a conocer con respecto a la dirección de una brújula magnética.

b. VELOCIDAD DEL VIENTO. El movimiento del aire obedece a una velocidad. Esta velocidad es la velocidad del viento y está definida por el espacio recorrido por cada partícula en una unidad de tiempo. Las unidades que se utilizan para medir la velocidad del viento de superficie son: kilómetros por hora, metros por segundo, nudos (milla náutica por hora), millas por hora o pies por segundo.

La exactitud de las medidas debe ser de ± 1 nudo. Los instrumentos utilizados para medir la velocidad del viento se denominan anemómetros.

Los instrumentos más utilizados en la medición de velocidad del viento se encuentran los anemómetros de recorrido y anemómetros de presión. Sin embargo, al igual que la dirección del viento hoy en día se es posible medir la velocidad del viento con instrumentos electrónicos los cuales, a diferencia de los anteriores, realizan la medición con partes no móviles.

4. HUMEDAD. El agua es un elemento muy abundante sobre la corteza terrestre, donde se encuentra en forma líquida y sólida. Un aporte de energía a las masas de agua líquida puede evaporar parte de la misma y el vapor de agua producido, pasa a la atmósfera originando humedad en el aire. Mientras no se produzca una condensación, el vapor de agua se comporta como gas, con la salvedad de que la atmósfera solo puede contener una cantidad limitada de vapor de agua en función de la presión y la

temperatura del aire. Cuando la atmósfera ha llegado al límite de tolerancia de la cantidad de vapor de agua, genera un aire húmedo en forma de nube en sentido vertical.

a. HUMEDAD RELATIVA. La humedad relativa es la relación entre:

- La cantidad de vapor de agua en una unidad de volumen de aire seco, a cierta temperatura. (Cantidad de vapor seco)
- La cantidad de vapor de agua que se necesita para saturar este volumen de aire, a la misma temperatura (Cantidad de vapor saturante).

Normalmente se expresa en porcentaje. La humedad relativa se calcula con la siguiente fórmula:

$$U\% = \frac{\text{Cantidad de vapor seco}}{\text{Cantidad de vapor saturante}} * 100$$

Ecuación 3: Humedad relativa

A presión constante, la cantidad de vapor de agua necesario para saturar el aire es menor cuando la temperatura disminuye. Si la masa de vapor de agua contenido en el aire no varía, puede ser suficiente para saturar el aire a una temperatura menor. Esta temperatura se llama punto de rocío.

5. TEMPERATURA DE ROCÍO. La temperatura de rocío es la temperatura en la cual un volumen de aire debe de ser enfriado para alcanzar la saturación por el vapor del agua (a presión constante). Cuando la temperatura se enfría hasta el punto de rocío, puede generarse niebla o rocío; en este punto la humedad relativa alcanza el 100%.

a. CÁLCULO DE LA TEMPERATURA DE ROCÍO. La fórmula de Magnus [1] se utiliza para calcular la presión saturación de vapor y el punto de rocío. A una temperatura T (°C), la presión de saturación de vapor EW (hPa) es:

$$EW(T) = \alpha * e^{\frac{\beta * T}{\gamma + T}}$$

Ecuación 4: Ecuación de presión de saturación vapor

Para el rango de temperaturas entre -45°C y 60°C , los parámetros de Magnus (Sonntag) son:

- $\alpha=6.112$ hPa
- $\beta=17.62$
- $\gamma=243.12^{\circ}\text{C}$

La humedad relativa RH (%) puede ser expresada en términos de la presión de saturación de vapor [43]:

$$E(RH, EW) = \frac{RH * EW}{100}$$

Ecuación 5: Humedad relativa en términos de presión de saturación de vapor

La temperatura del punto de rocío DP ($^{\circ}\text{C}$) puede ser expresada en términos de la presión de vapor E [43]:

$$Dp(E) = \frac{\lambda * \ln\left(\frac{E}{\alpha}\right)}{\lambda - \ln\left(\frac{E}{\alpha}\right)}$$

Ecuación 6: Punto de rocío en términos de presión de vapor

Sustituyendo la ecuación presión de saturación de vapor en la ecuación de humedad relativa, y la ecuación resultante de esta sustitución en la fórmula de punto de rocío; se obtiene la ecuación del punto de rocío en términos de la humedad relativa y temperatura:

$$Dp(T, RH) = \frac{\lambda * \left(\ln\left(\frac{RH}{100}\right) + \frac{\beta * T}{\lambda + T}\right)}{\beta - \left(\ln\left(\frac{RH}{100}\right) + \frac{\beta * T}{\lambda + T}\right)}$$

Ecuación 7: Punto de rocío en términos de humedad Relativa y temperatura

Por lo que con un sensor de temperatura y otro de humedad relativa es posible realizar el cálculo de la temperatura del punto de rocío.

6. PRESIÓN. La presión atmosférica en una superficie horizontal dada es la fuerza por unidad de superficie que ejerce la atmósfera en esta superficie. La presión

atmosférica se mide generalmente con barómetros de mercurio, barómetros aneroides u otros. Sin embargo, hoy en día hay instrumentos electrónicos que permiten medir la presión atmosférica, entre estos se encuentran los micro sensores de presión utilizando materiales de silicio, entre esta clasificación se encuentran los sensores piezoresistivos, piezoeléctricos y sensores de presión capacitivos.

La presión atmosférica en cualquier altitud varía de acuerdo a las cambiantes condiciones climáticas en el tiempo. Una vez que la presión en una determinada ubicación y la altura está determinada, la presión puede ser calculada para cualquier otra altura.

Al compensar la presión obtenida con la altura a la que se encuentra el dispositivo de medición de presión, se obtiene la presión barométrica. Matemáticamente, la atmósfera está relacionada exponencialmente con la altitud.

La Ecuación 8[12] relaciona la altitud con la presión:

$$P(h) = P_0 * e^{\frac{-M*g*h}{R*Ts}}$$

Ecuación 8: Presión a una altura h

Dónde:

- P es la presión en Pascales obtenida a la altura h.
- M es la masa molecular promedio de la atmósfera (0.02897 kg/mol)
- P₀ es la presión atmosférica a nivel del mar (101325 Pa)
- h es la altitud de interés para el cálculo de la presión.
- T_s es la temperatura promedio a nivel del mar (288 °K)
- R es la constante de gases (8.314510 joule/°K mol)

Para obtener la presión barométrica se utilizaba generalmente mapas de altitud y otros, sin embargo hoy en día con los dispositivos GPS es muy fácil realizar la compensación de la presión debida a la altura.

7. DETECCIÓN DE SISMOS. Un sismo se manifiesta como un movimiento en la tierra causado por la liberación de energía en la corteza terrestre. Esta energía puede originarse por distintas razones como: Erupciones volcánicas, trastornos en la corteza terrestre, colapsos en partes subterráneas como minas, explosiones generadas por el humano, y otras.

a. MEDICIÓN DE SISMOS. El tamaño del terremoto se expresa de varias maneras. Puede ser de forma cualitativa o cuantitativa. De las formas más conocidas de medición se tiene la intensidad y la magnitud del sismo.

1) INTENSIDAD SÍSMICA. Es una medida no cuantitativa, mide los daños en la estructura y daños en la tierra como grietas, fracturas y desprendimientos. Es un método descriptivo que ha sido utilizado tradicionalmente para establecer el tamaño del sismo. Entre las escalas más conocidas y utilizadas se encuentran [5]:

- Mercalli – Cancani – Seiberg (MCS)
- Mercalli Modificada (MM)
- Medvedev – Sponheuer – Karnik (MSK)
- Escala Macrosísmica Europea (EMS)
- Agencia de Meteorología Japonesa (JMA)

La escala de intensidad sísmica que se utiliza en Guatemala es la escala de Mercalli Modificada. Los 12 niveles que la componen se ven descritos de la siguiente manera:

- Grado I: Detectado sólo por instrumentos.
- Grado II: Detectado por personas en reposo.
- Grado III: Detectado por personas en pisos altos de edificios.
- Grado IV: Detectado por personas en el interior de casas y edificios, más no por personas en el exterior. Hay vibración de objetos no pesados. No genera daños.
- Grado V: Detectado por la mayoría de personas. Los objetos no pesados se mueven de lugar.

- Grado VI: Detectado por todas las personas. Pequeños daños en estructuras poco estables.
- Grado VII: Detectado por todas las personas. Daños considerables en estructuras poco estables, y pequeños en estructuras estables.
- Grado VIII: Daños considerables en edificios, movimiento de objetos pesados.
- Grado IX: Daños en las armaduras de las estructuras y agrietamiento de tierra.
- Grado X: Destrucción de estructuras de mampostería, deslizamientos en terrenos con pendientes altas.
- Grado XI: Se destruyen las estructuras como puentes u otros. Tuberías subterráneas quedan fuera de servicio.
- Grado XII: Destrucción total de edificios, casas y estructuras como puentes u otros. Perturbación en la corteza terrestre.

Sin embargo, el grado IX en la escala de Mercalli Modificada es históricamente la intensidad más alta registrada para Guatemala

a) **ACELERACIÓN PICO DEL SUELO.** La aceleración pico del suelo (PGA) es el valor máximo de aceleración medida en un sismo.

En Guatemala, el INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología) proporciona otra forma para determinar la intensidad sísmica a partir de la aceleración pico del suelo. En la Tabla 2[82] se observa esta relación:

Tabla 2: Relación entre aceleración e intensidad Mercalli Modificada (INSIVUMEH)

Grado de intensidad Mercalli Modificada	Aceleración (Gal)
I	0.5
II	2.5
III	6
IV	10
V	20

VI	35
VII	60
VIII	100
IX	250
X	500
XI	1000
XII	2000

2) MAGNITUD. La magnitud es una medida cuantitativa del tamaño de los sismos y el tamaño de las fallas. Es basada en la máxima amplitud de las ondas sísmicas. Existen varias escalas para la medición de magnitud sísmica; en su mayoría son dependientes de la frecuencia de las ondas sísmicas. La más conocida es la Escala de Richter.

b) ESCALA RICHTER. Es llamada también escala de magnitud local (ML): Mide la máxima amplitud de onda sísmica (micrones), detectada por los sismógrafos de Wood-Anderson estándar, localizados a una distancia de 100 km del epicentro del sismo. Para obtener el valor de esta magnitud se necesita saber la distancia del epicentro como se observa en la Ecuación 9[30]:

$$M_L = \log(A) - \log(A_0)$$

Ecuación 9: Magnitud de un sismo

Dónde:

- M_L es la magnitud local
- A es la amplitud máxima de la onda sísmica
- A_0 es el factor de calibración dependiente de la distancia.

Además para obtener el valor de la distancia del epicentro, se utilizan tres instrumentos de medición y se realiza una triangulación de la amplitud máxima detectada en cada uno, para así poder calcular y localizar el epicentro del sismo.

B. METODOLOGÍA

1. SENSOR DE RADIACIÓN SOLAR. La radiación solar se midió por medio de un sensor programable conversor de luz a frecuencia TSL230BR-LF, el cual es hasta 10 veces

menos costoso que los sensores de su tipo en el mercado, el precio del mismo es de Q.50.00. El dispositivo es programable ya que cuenta con 4 entradas digitales (S0, S1, S2 y S3) que permiten variarle la frecuencia de salida y la sensibilidad.

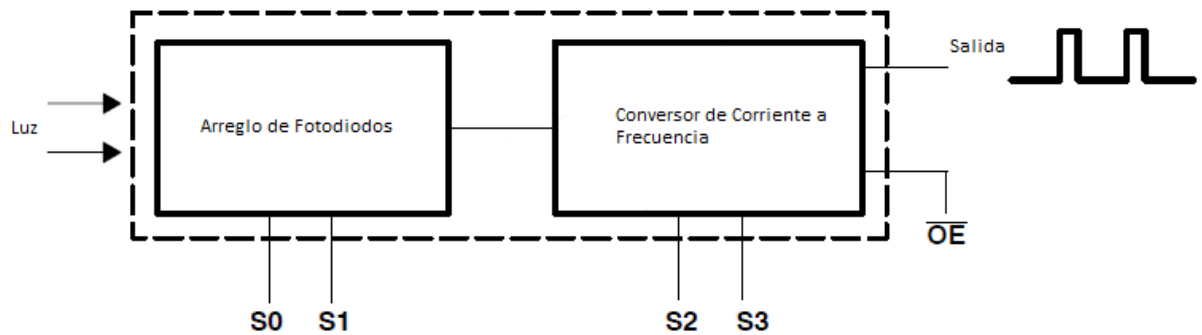
Este sensor utiliza foto-diodos y un conversor de corriente a frecuencia en un circuito integrado. La salida puede ser un tren de pulsos o una onda cuadrada (50% de ciclo de trabajo) con una frecuencia directamente proporcional a la intensidad de luz. La sensibilidad de este sensor es programable. Las opciones de sensibilidad que tiene se muestran en la Tabla 3:

Tabla 3: Opciones de sensibilidad del sensor de radiación solar

S1 (Entrada 1)	S0 (Entrada 0)	Sensibilidad
L	L	Apagar el sensor
L	H	1x
H	L	10x
H	H	100x

Tiene salidas del sensor son de tipo TTL por lo que son compatibles con micro-controladores. El sensor responde en el rango de longitud de onda desde 320nm hasta 1050nm. El diagrama de bloques de funcionamiento del sensor se muestra en la Figura 3[90]

Figura 3: Diagrama de bloques del sensor de radiación solar



Este sensor tiene divisores internos, los cuales permiten generar una frecuencia a escala de la frecuencia real que está generando. Las opciones del sensor se muestran en la Tabla 4[90]:

Tabla 4: Escalas para la reducción de frecuencia de salida del sensor de radiación solar

S2 (Entrada 2)	S3 (Entrada 3)	Escala
L	L	1
L	H	2
H	L	10
H	H	100

Para la medición de frecuencia que envía el sensor TSL230BR-LF se utilizó un micro-controlador PIC16F887, al cual se le programó por medio de software la lectura de la frecuencia por medio del módulo de captura y el TMR1.

El módulo de captura detecta 16 pulsos del sensor, mientras que el TMR1 está corriendo. En caso que la frecuencia sea muy lenta y el TMR1 genere un desbordamiento, se genera una interrupción para incrementar un contador y en ese momento se resetea el TMR1, para volver a contar. Los cálculos para obtener la frecuencia se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5: Cálculo de ecuaciones para la medición de frecuencia de salida del sensor de radiación solar

Descripción	Cálculo	Resultado
Tiempo que le toma al TMR1 para incrementar en una unidad.	$4/(20*10^6)$	0.0000002
Flancos que debe detectar el Capture para generar una interrupción	Se asigna por software	16
Tiempo que tardó el sensor de radiación en generar los 16 flancos.	$0.0000002/(TMR1)$	Dependiente del valor del TMR1
Tiempo que tardó un flanco del sensor de radiación.	$(\text{Tiempo } 16 \text{ flancos})/16$	Dependiente del tiempo de generación de 16 flancos.
Frecuencia obtenida	$1/(\text{Tiempo de un flanco})$	Frecuencia resultante de la medición
Fórmula final para obtener la radiación	$80000000.00/(TMR1)$	Resultado final

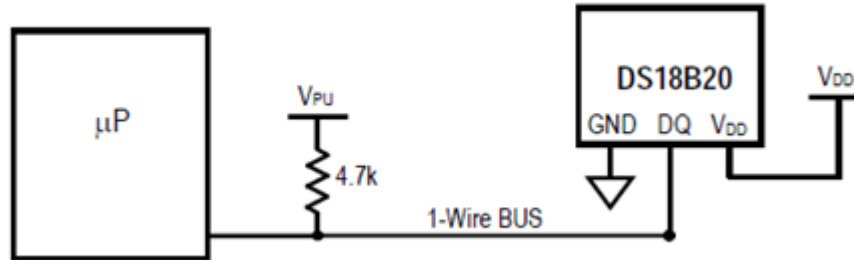
Para obtener la ecuación que relaciona la frecuencia con la radiación solar se realizó la comparación contra un sensor de radiación, funcional y calibrado, de la Estación Meteorológica “La Aurora”, controlada por el INSIVUMEH.

2. SENSOR DE TEMPERATURA. Para la medición de temperatura se utilizó el sensor de temperatura DS18B20, el cual es un termómetro digital que provee datos con resolución configurable de 9 hasta 12 bits; utiliza el protocolo de comunicación 1-Wire, por lo que requiere solamente una línea de datos. Tiene un rango de temperatura desde -55°C hasta 125°C y un error máximo de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ en el rango de -10°C hasta 85°C ; rango que es suficiente para la realización de este megaproyecto. Además el precio es de Q. 50.00, lo cual, por la alta precisión y exactitud del sensor es un precio bajo.

La medición de la temperatura la realiza por medio de un sensor de temperatura IC y tiene un empaquetado convencional (tipo transistor); lo que permitió eliminar el efecto de temperatura de la placa, ya que se le agregó cable trenzado para alejarlo de la placa, lo que permite que la medición sea solamente del ambiente.

El circuito que se utilizó para realizar la alimentación y comunicación del sensor DS18B20 se muestra en la Figura 4[30]:

Figura 4: Esquemático de la conexión del sensor de temperatura DS18B20



El programa para leer los datos que el sensor envía se realizó en un PIC16F887. Primero envía una señal al sensor de temperatura de reseteo, después manda una palabra para que la ROM no sea leída, para que en ese momento el sensor realice la conversión de temperatura; después se vuelve a enviar la señal de reseteo, y luego envía una palabra para que la ROM sea y se obtenga la temperatura que el sensor convirtió. Previamente en la inicialización se le asignó la resolución de 12 bits al sensor, para detectar los cambios más bajos en la temperatura.

El sensor de temperatura tiene un protector de intemperie de aluminio, sin embargo esto significó un problema, ya que si estaba en contacto directo con la luz del Sol, esta protección se calienta, y si desciende la temperatura, esta protección tardará un tiempo extra en descender a la temperatura ambiente; por esto se colocó el sensor en la estructura principal bajo un área que lo protege del contacto directo del Sol y permite que el aire fluya libremente.

El otro problema que se tuvo que solucionar, es que por la alta sensibilidad del sensor, al encontrarse muy cerca de la placa electrónica donde está el microcontrolador este medía la temperatura de la placa electrónica y no la ambiental; razón por la cual alejó de la estructura principal por medio de cable trenzado, así se logró que midiera la temperatura ambiente y no la de las placas ni de la estructura principal.

3. SENSOR DE VIENTO. La medición del viento incluye dos variables, su dirección y su velocidad. Ambas son medidas por el dispositivo con varios sensores integrados New Mountain Innovations NM150.

Para realizar esta medición utiliza cuatro anemómetros ultrasónicos. Son cuatro transductores ultrasónicos visibles a través de los cuatro agujeros en la parte superior del canal de viento del sensor. Estos transductores operan en pares: un transductor inyecta un pulso en el aire, y el otro (justo enfrente de éste) a la escucha de la llegada del pulso. Cada pulso rebota en la placa de aluminio anodizado en la parte inferior del canal del viento y es llevado por el viento para llegar al transductor opuesto poco tiempo después. Después el receptor cambia a ser transmisor y el transmisor a ser receptor, y envía un pulso de vuelta.

Cuando no hay viento, el pulso se desplaza a la velocidad del sonido desde el emisor al receptor. Cuando el viento sopla en esa dirección, el impulso llegará más pronto que si no hay aire. Del mismo modo, cuando el viento está soplando en la dirección opuesta, el impulso llegará más tarde que si no hay aire. Los cuatro transductores toman turnos en el envío y recepción de impulsos para cubrir todas las eventualidades de la dirección del viento. Un microprocesador incorporado combina las mediciones de los cuatro sensores para calcular la velocidad del viento y la dirección resultante. El dispositivo NM150 controla la temperatura del aire, para compensar el hecho de que la velocidad del sonido en el aire cambia con la temperatura. Esto lo hace por medio de una placa de aluminio que se calienta para evitar las que se enfríe el aire y haya humedad que pueda de alterar las lecturas de viento. El dispositivo NM150 fue calibrado en un túnel de viento para compensar las variaciones en la producción, así como la asimetría en el canal de flujo de aire.

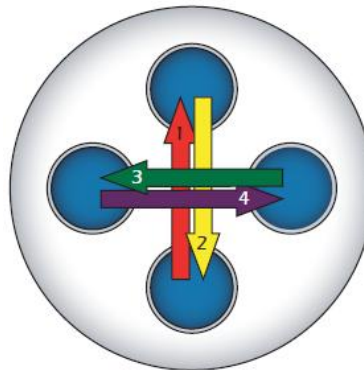
En la Figura 5[60] se observa la ubicación de las partes mencionadas anteriormente:

Figura 5: Dispositivo NM150 y ubicación de partes para la medición de viento



En la Figura 6[60] se indica cómo se maneja el envío de señales entre los transductores ultrasónicos:

Figura 6: Transmisión y recepción de señales ultrasónicas para la medición de viento



Las flechas indican la dirección de transmisión y recepción

La ecuación que utiliza el dispositivo NM150 para calcular la velocidad del viento se muestra en la Ecuación 10:

$$V = \frac{(t1 - t2) * L}{2 * t1 * t2}$$

Ecuación 10: Velocidad del viento en relación a t1 y t2

Como se observa la ecuación de velocidad del viento es independiente de la temperatura; sin embargo el calentamiento en la placa siempre es útil ya que si existe

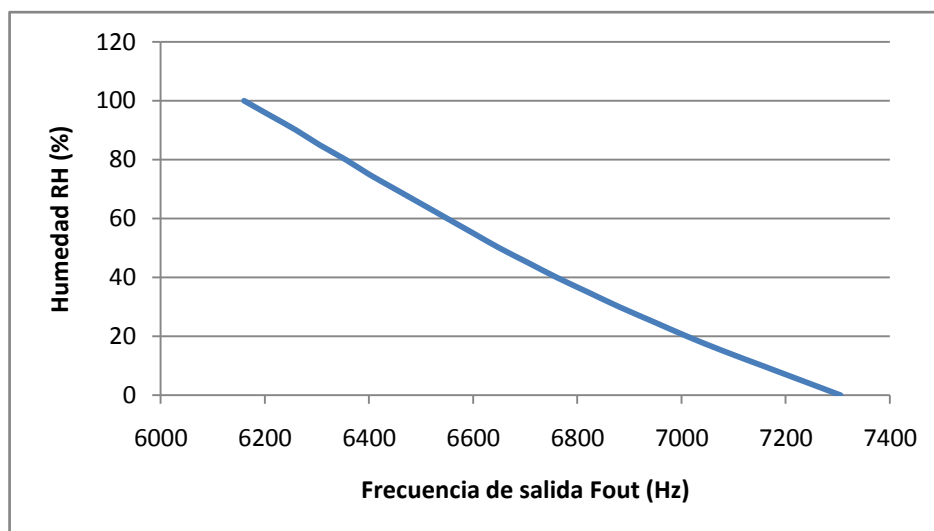
humedad en la placa los pulsos ultrasónicos podrían no llegar al destino, o llegar con variaciones. Con este dato se podría calcular la temperatura del viento, sin embargo por el calentamiento que tiene la superficie de aluminio esta temperatura no será la temperatura ambiental real.

4. SENSOR DE HUMEDAD. La humedad se mide por medio del dispositivo NM150; este tiene incorporado en su interior un sensor de humedad relativa HS1101LF. El cual utiliza una celda capacitiva para la medición de humedad relativa del ambiente, no requiere calibración, en caso haya estado sometido mucho tiempo a humedad tiene un mecanismo de des-saturación de la humedad para realizar mediciones correctas.

Este sensor proporciona una salida a distintas frecuencias, dependiendo de la capacitancia que tiene en el momento de la medición. Sin embargo el dispositivo no mide la capacitancia, sino la frecuencia de salida de un circuito temporizador astable, que varía su frecuencia dependiendo de la capacitancia del sensor.

En la Figura 7 se muestra el comportamiento la humedad relativa con las variaciones de frecuencia, las cuales son analizadas por un microcontrolador dentro del NM150 para proporcionar el dato de humedad relativa.

Figura 7: Relación entre frecuencia de salida y humedad relativa



5. MEDICIÓN DE TEMPERATURA DE ROCÍO. La temperatura de rocío no se midió directamente con sensores; sino que se calcula en base a las mediciones de la temperatura ambiental y la humedad relativa. La Ecuación 11[43] se utiliza para realizar este cálculo:

$$Dp(T, RH) = \frac{\lambda * \left(\ln \left(\frac{RH}{100} \right) + \frac{\beta * T}{\lambda + T} \right)}{\beta - \left(\ln \left(\frac{RH}{100} \right) + \frac{\beta * T}{\lambda + T} \right)}$$

Ecuación 11: Temperatura de rocío con relación a la temperatura y humedad relativa

Dónde:

- $\alpha=6.112$ hPa
- $\beta=17.62$
- $\gamma=243.12^{\circ}\text{C}$
- T es la temperatura en $^{\circ}\text{C}$
- RH es la humedad relativa en %.

6. SENSOR DE PRESIÓN. La presión será medida por medio del dispositivo NM150, este cuenta con un sensor piezoresistivo de presión. Este, al igual que los anemómetros ultrasónicos, está compensado a cambios en la temperatura; ya que la presión varía en una relación directamente proporcional con la temperatura. Por lo que esta compensación hace que la medición de presión sea exacta.

Además la presión es compensada con la altitud con respecto al nivel del mar, como se observó en el marco teórico, la presión es dependiente de la altitud donde se encuentra el sensor, es por esto que el dispositivo NM150 cuenta con un sistema de posicionamiento satelital GPS; mediante el cual obtiene la altitud con respecto al nivel del mar y permite calcular la presión barométrica correcta.

7. SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS). El dispositivo NM150 cuenta con un sistema integrado de posicionamiento global, incluyendo su propia antena, receptor y la electrónica necesaria para la recepción de información. El receptor GPS recibe señales de radio de una constelación de satélites en órbita. Para obtener los datos, el

GPS lo que hace es medir con precisión el tiempo que toma a una transmisión en viajar desde el satélite hasta el receptor, con esto puede obtener la distancia entre el satélite y el receptor.

Cuando se conoce la distancia de tres satélites, la unidad es capaz de calcular la longitud y latitud del receptor. A esto se le conoce como una solución 2D.

Si se conoce la distancia de cuatro o más satélites, la unidad es, además, capaz de calcular la altitud del receptor. Esta altitud es la que se utiliza en el cálculo de la humedad relativa. A esto se conoce como una solución 3D.

El receptor GPS en el dispositivo NM150 tarda aproximadamente un minuto, en promedio, para lograr una fijación de posición después de que se encendió por primera vez. Esto se conoce como el "tiempo hasta el primer ajuste."

El receptor GPS se sincroniza con los relojes atómicos a bordo de cada satélite. Esto permite al receptor GPS para determinar con precisión la fecha y la hora actual.

8. DETECCIÓN DE SISMOS. Con la detección de sismos se tuvo varias limitaciones. La principal de ellas es que no se cuenta con varios instrumentos para realizar la triangulación respectiva para poder calcular la distancia del epicentro del sismo; lo que no permite el cálculo de la Magnitud en escala de Richter.

Por esta razón se decidió que solamente realizaría mediciones de intensidad en escala de Mercalli Modificada. Debido a que estamos en Guatemala, la intensidad se calculará en base a los niveles establecidos por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH).

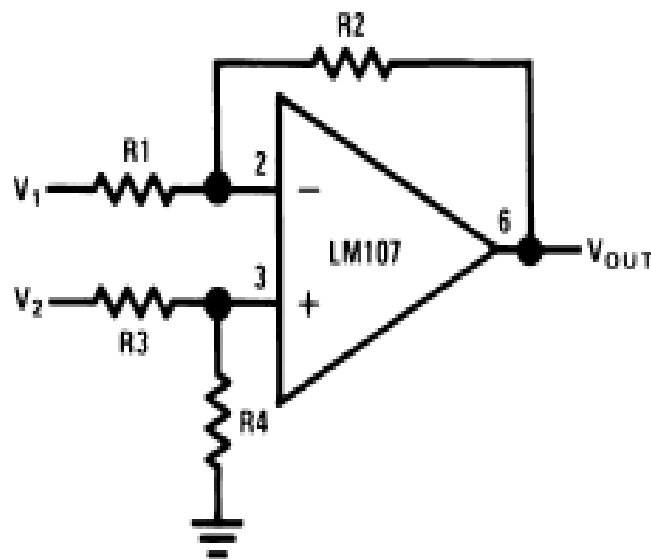
El instrumento que se utilizó para calcular la intensidad fue el acelerómetro ADXL335, el cual nos permite encontrar la aceleración pico del suelo en el momento del sismo y determinar el nivel de intensidad del sismo.

Éste proporciona salidas amplificadas. Tiene alimentación es de 3V, y los voltajes que genera están en función de la aceleración en G (Gravedades). Permite obtener un rango desde -3G hasta 3G. Por lo tanto, como el voltaje de referencia es 3,

teóricamente el 0G debería de encontrarse en 1.5V; sin embargo se realizaron las pruebas para determinar el 0G, manteniendo sin movimiento el sensor y midiendo el voltaje de salida en cada uno de los ejes. Se obtuvo que el 0G se encuentra en 1.48V.

Para el eje X y el eje Y no se tuvo problema, sin embargo el eje Z se ve afectado por la fuerza de la gravedad, por lo que su estado inicial es 1G, por lo que su salida de voltaje era de 1.81 V. Para esto se realizó un circuito restador de voltaje como muestra en la Figura 8[1]:

Figura 8: Restador de voltajes por medio de un amplificador operacional



Este circuito da el voltaje de salida en función de V_1 , V_2 y las resistencias que se observan. La ecuación que se obtiene del voltaje de salida es:

$$V_{out} = \left(\frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_4} \right) * \frac{R_4}{R_1} * V_2 - \frac{R_2}{R_1} * V_1$$

Ecuación 12: Voltaje de salida del circuito restador (Ecuación general)

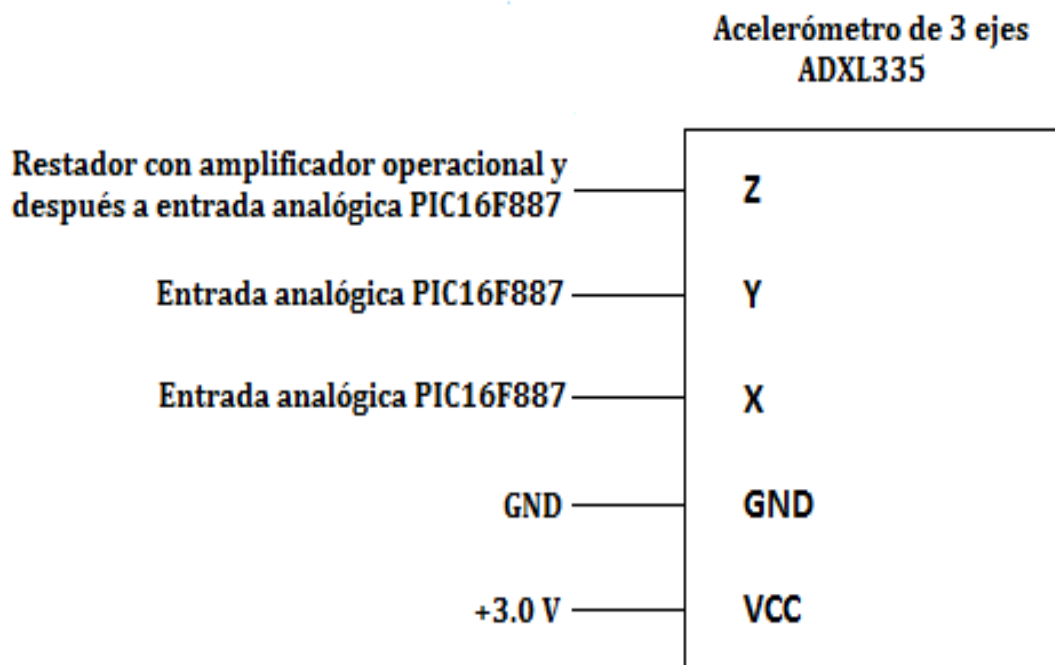
En el caso que $R_1=R_3$ y $R_2=R_4$, se obtiene la siguiente ecuación:

$$V_{out} = \frac{R2}{R1} * (V2 - V1)$$

Ecuación 13: Voltaje de salida del circuito restador con R1=R3 y R2=R4

Donde se seleccionó R2=R1, V2 es el voltaje de salida del eje Z y V1 se realizó un divisor de voltaje para que fuera 0.33V. Con esta ecuación se le realiza una resta a la salida del eje z, así se encuentra a la misma escala que el eje X o el eje Y; esto para poder realizar la conversión del dato con la misma referencia.

Figura 9: Esquemático de la interconexión entre el acelerómetro ADXL335 y el microcontrolador PIC16F887



La medición de estas variables se realizó inicialmente con el ADC del PIC16F887, con referencias Vcc y Vss. Sin embargo se observó que la resolución para esta escala era muy baja; por lo que se recurrió a cambiarle los voltajes de referencia al ADC; se puso como voltajes de referencia: 1.2V como límite inferior y 1.73 como límite superior. Estos voltajes se encontraron por medio de la ecuación de la recta encontrada para la aceleración con respecto al voltaje, en la siguiente tabla se muestra esta como se encontró la ecuación.

Tabla 6: Voltaje de salida máximo y mínimo en relación a 1G de aceleración

Cálculo de voltaje máximo y mínimo.		
Descripción	Voltaje (X)	G (Y)
Punto 1	1.48	0
Punto 2	1.81	1
Pendiente	3.030303	
Ecuación obtenida	$Y=3.030303(X-1.48)$	

Con esta ecuación se obtuvo la aceleración máxima que el sensor estará limitado a medir. Metiendo $X=1.73$ (Voltaje de referencia superior) se obtiene una G máxima 0.75. Insertando $X=1.2$ (Voltaje de referencia inferior) se obtiene una G mínima de -0.84848. Siempre con el nivel al 1.48, que es 0 G.

Estos niveles se eligieron ya que en Guatemala el sismo de mayor intensidad que se ha registrado es de intensidad VII en escala de Mercalli Modificada.

Mientras que con esta escala definida por las referencias de voltaje se pueden detectar hasta nivel XI.

Se encontraron problemas de ruido al realizar pruebas de este acelerómetro, ya que aún sin movimiento registraba cambios en la aceleración que abarcaban hasta nivel X de la escala de Mercalli Modificada. Por lo cual se le aplicó un filtro digital:

El microcontrolador promedia 8 datos y devuelve el resultado, esto para eliminar las pequeñas variaciones por el error tipo gaussiano en la detección de la aceleración.

Por último se le realizó una modificación al programa del PIC16F887 para que al iniciar tomara el valor cero (no movimiento) de los acelerómetros, para que al devolver el resultado solamente mostrara la diferencia entre el nuevo valor y el valor inicial; con esto es más fácil calcular cuanta aceleración tuvo el sismo.

9. DISPOSITIVO DE MEDICIÓN NEW MOUNTAIN INNOVATIONS NM150. Se eligió este dispositivo para realizar la medición de: Dirección del viento, velocidad del viento, presión y humedad relativa. Este sensor se eligió ya que financieramente, era la mejor opción.

El precio del dispositivo es de Q.6700.00. La otra opción que se tenía era comprar sensores individuales para la medición de cada variable meteorológica.

Sin embargo, al realizar la investigación financiera, el precio de estos, para obtener la misma exactitud que el dispositivo NM150 en todas las variables meteorológicas era de Q. 10,435.62

C. RESULTADOS

Para analizar los resultados se utilizaron dos métodos diagramas de caja y estadística descriptiva [57]. Además de comparaciones gráficas de las variables estudiadas.

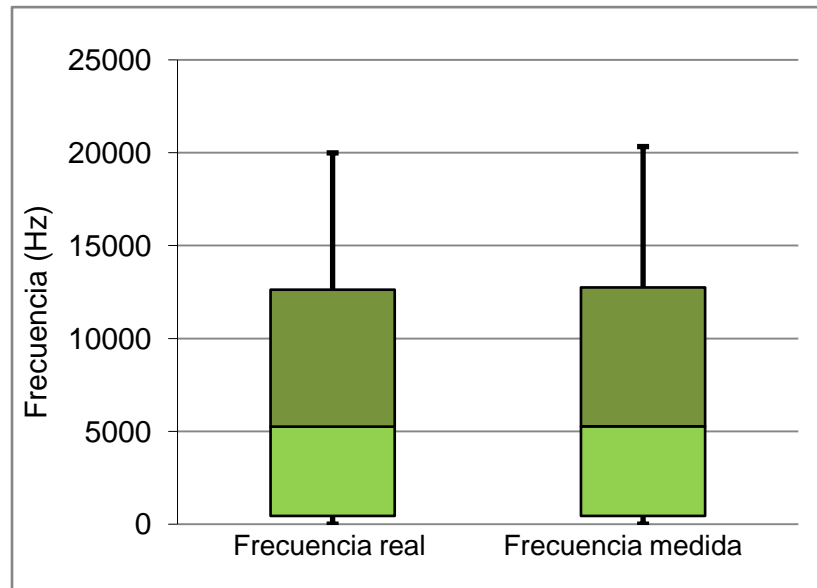
1. **RADIACIÓN SOLAR.** Para analizar los datos que envía el sensor TSL230BR-LF se eligió utilizar el medidor de frecuencia por medio de software; utilizando el PIC16F887.

Las pruebas del medidor de frecuencia se realizaron utilizando un generador de señales, para que la frecuencia fuera estable.

Los datos se muestran en la tabla: Tabla 77- Medición de frecuencia y porcentaje de error de las medicionesTabla 77- Medición de frecuencia y porcentaje de error de las mediciones de radiación solar.

Para ejemplificar visualmente los resultados obtenidos, se realizó un diagrama de caja comparativo entre la frecuencia obtenida por el medidor de frecuencia y la frecuencia proporcionada por el generador de funciones.

Figura 10: Diagrama de cajas comparativo entre la frecuencia real y la frecuencia medida.



Se dividió la población en tres rangos de frecuencias, y realizó un análisis descriptivo que compara la frecuencia real y la frecuencia medida por el instrumento, para cada rango; esto se realizó para poder observar cómo varía la respuesta del instrumento a distintas frecuencias. Los resultados se observan en la Tabla 7:

Tabla 7: Estadística descriptiva del porcentaje de error entre la frecuencia real y la frecuencia medida.

Estadística descriptiva del porcentaje de error	
Media	0.515096
Error estándar	0.067067
Mediana	0.352803
Desviación estándar	0.519498
Varianza	0.269878
Curtosis	-0.47946
Asimetría	0.834235
Rango	1.774344
Valor mínimo	0.001
Valor máximo	1.775344
Tamaño de la muestra	60

Como se observa el porcentaje de error más alto es de 1.78% el cual al observar la tabla -Tabla 77- Medición de frecuencia y porcentaje de error de las mediciones de radiación solar, se observa que se da a los 19500Hz; sin embargo el sensor de radiación llegará a un máximo de 15 kHz, por lo que el porcentaje de error máximo real será del 1.02%.

Por la estadística descriptiva realizada al porcentaje de error se observa que se obtuvo una distribución normal platicúrtica asimétricamente positiva; con una desviación estándar del 0.52% y una media del 0.51%. Por estos resultados se muestra que el medidor de frecuencia fue exitoso.

Debido a que el fabricante no proporcionó una relación frecuencia-radiación; se procedió a encontrarla por medio de la comparación del sensor contra la medición de un sensor calibrado. Esta medición se llevó a cabo en la pista de aterrizaje del aeropuerto La Aurora, lugar en el que se tiene la estación meteorológica “La Aurora” por parte del INSIVUMEH. El sensor se colocó en un lugar cercano a esta estación y se realizó la medición simultánea de la radiación solar. Después se procedió a encontrar la ecuación que relaciones radiación solar y frecuencia. Para una mayor exactitud del instrumento se definieron tres distintos niveles de frecuencia, obteniendo para cada nivel una ecuación distinta de relación radiación-frecuencia.

Para cada nivel de frecuencias se le aplicó una linealización por medio de la ecuación de la recta, y seguido a esto se le aplicó una división por un factor obtenido por medio del método de mínimos cuadrados. A continuación se muestran los resultados obtenidos para cada nivel de frecuencia analizado:

- a. FRECUENCIAS MAYORES A 1000 HZ.** La ecuación final que se obtuvo para este nivel de frecuencias fue la siguiente:

$$X = \frac{\frac{Y-1092.9963}{7.2460} + 123.5110}{0.95374}$$

Ecuación 14: Linealización de la radiación (Frecuencias mayores a 1000 Hz)

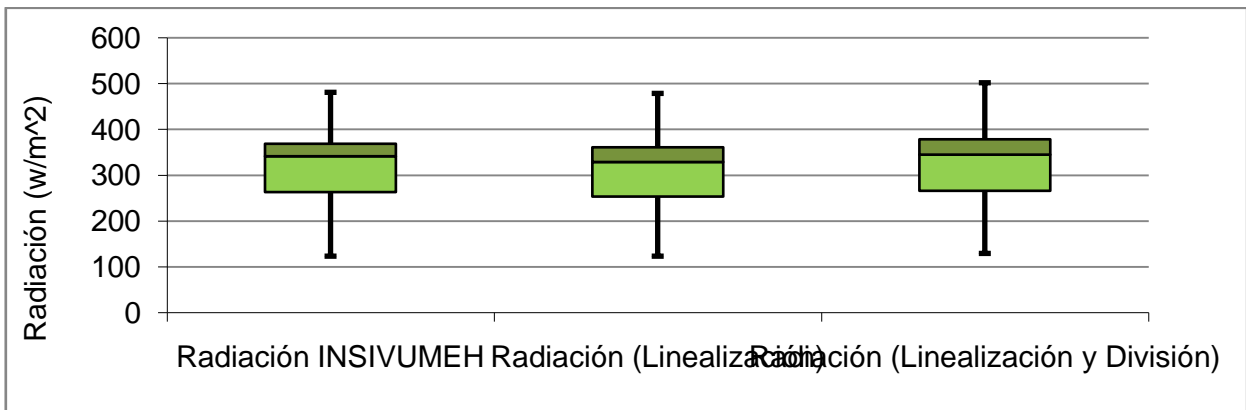
Dónde:

- X es la radiación final obtenida después de la linealización y división.
- Y es la frecuencia obtenida por el instrumento de medición

Esta ecuación se obtuvo en base a los cálculos realizados con los datos de la tabla: Tabla 79- Obtención de radiación a partir de la frecuencia (frecuencias >1000Hz).

Para ejemplificar visualmente los resultados se realizó una comparación por medio de un diagrama de cajas de la radiación real, la radiación obtenida por la linealización y la radiación final (obtenida por la linealización y división), esta comparación se muestra en la Figura 11.

Figura 11: Diagrama de cajas comparativo en los resultados de radiación para frecuencias mayores a 1000 Hz.



Como se observa en la Figura 11: Diagrama de cajas comparativo en los resultados de radiación para frecuencias mayores a 1000 Hz. el mejor resultado se obtiene con la linealización y división pues la mediana y los cuartiles se asemejan más a los obtenidos con la radiación real (INSIVUMEH), mientras que la linealización bajó la mediana y los cuartiles.

Se realizó también una estadística descriptiva comparativa entre la radiación real y la radiación obtenida por la linealización, al igual que entre la radiación real y la radiación obtenida por la linealización y división; los resultados se muestran en las tablas: Tabla 8 y Tabla 9.

Tabla 8: Estadística descriptiva del porcentaje de error de la radiación obtenida de la linealización

Estadística descriptiva del porcentaje de error de la radiación solamente con linealización	
Media	3.884561
Error estándar	0.605334
Mediana	3.3719
Desviación estándar	3.203124
Curtosis	-1.03046
Asimetría	0.521907
Valor mínimo	0
Valor máximo	9.2518
Tamaño de la muestra	28

Tabla 9: Estadística descriptiva del porcentaje de error de la radiación obtenida de la linealización y división

Estadística descriptiva del porcentaje de error final de la radiación (Linealización y división)	
Media	2.945329
Error estándar	0.3223
Mediana	3.60305
Moda	4.8496
Desviación estándar	1.705452
Varianza	2.908567
Curtosis	-1.58601
Asimetría	-0.36117
Valor mínimo	0.2266
Valor máximo	4.8508
Tamaño de la muestra	28

Como se observa en la estadística descriptiva en las tablas: Tabla 8 y

Tabla 9, el mejor resultado se obtuvo con la linealización y división; obteniendo un error máximo del 4.85%, una media del 2.94% de error y una desviación estándar del 1.7%, a comparación del resultado obtenido solamente de la linealización que tiene un error máximo del 9.25%, una media del 3.8% de error y desviación estándar del 3.2%. Por lo tanto se utilizará la linealización y división.

Esto nos muestra que se tiene una medición exitosa de la radiación cuando el instrumento da una respuesta de más de 1000 Hz. Para el porcentaje de error de la linealización y división se obtuvo una distribución normal platicúrtica con una asimetría negativa mínima.

b. FRECUENCIAS ENTRE 250 HZ Y 1000 HZ. La ecuación final que se obtuvo para este nivel de frecuencias fue la siguiente:

$$X = \frac{\frac{Y-604.7417}{7.5051} + 87.881}{1.0512}$$

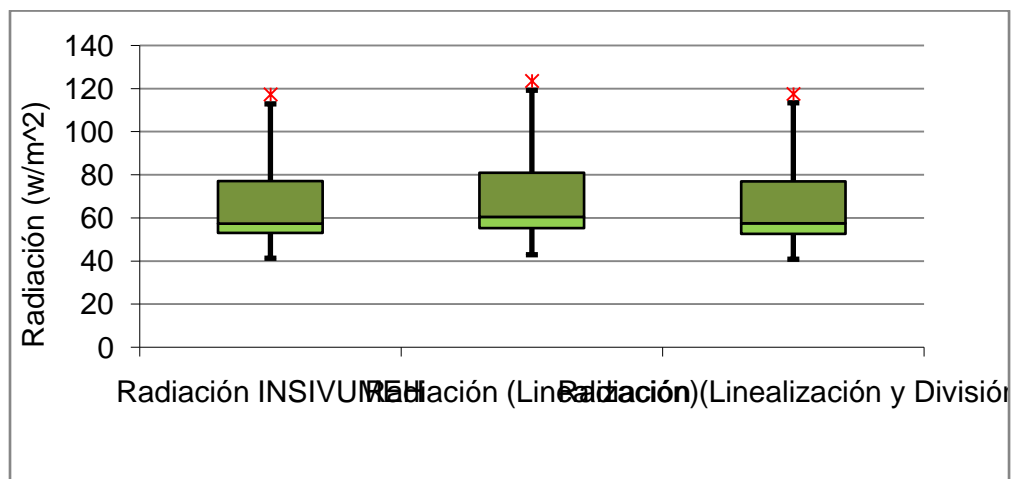
Ecuación 15: Linealización de la radiación (Frecuencias entre 250 Hz y 1000 Hz)

Dónde:

- X es la Radiación Final obtenida después de la linealización y división.
- Y es la Frecuencia Obtenida por el Instrumento de Medición

Esta ecuación se obtuvo en base a los cálculos realizados con los datos de la tabla: . Para ejemplificar visualmente los resultados se realizó una comparación por medio de un diagrama de cajas de la radiación real, la radiación obtenida por la linealización y la radiación final (obtenida por la linealización y la división), esta comparación se muestra en la Figura 12.

Figura 12: Diagrama de cajas comparativo en los resultados de radiación para frecuencias entre 250 Hz y 1000 Hz



Como se observa en la Figura 12 el mejor resultado se obtiene con la linealización y división pues la mediana y los cuartiles se asemejan más a los obtenidos con la radiación real (INSIVUMEH), mientras que la linealización bajó la mediana y los cuartiles.

Se realizó también una estadística descriptiva a la radiación obtenida por la linealización y otra a la radiación obtenida por la linealización y división, ambas comparadas contra la radiación real; los resultados se muestran en las tablas: Tabla 10 y Tabla 11.

Tabla 10: Estadística descriptiva del porcentaje de error de la radiación obtenida de la linealización

Estadística descriptiva del porcentaje de error de la radiación solamente con linealización	
Media	3.395785
Error estándar	0.5674
Mediana	3.9643
Moda	No Existe
Desviación estándar	2.04579
Varianza	4.185256
Curtosis	-0.58937
Asimetría	-0.96271
Rango	5.3848
Valor mínimo	0
Valor máximo	5.3848
Tamaño de la muestra	13

Tabla 11: Estadística descriptiva del porcentaje de error de la radiación obtenida de la linealización y división

Estadística descriptiva del porcentaje de error final de la radiación (Linealización y división)	
Media	1.734223
Error estándar	0.514263
Mediana	1.1053
Desviación estándar	1.854203
Varianza	3.438067
Curtosis	-0.48619
Asimetría	1.0776
Valor mínimo	0.1113
Valor máximo	4.8763
Tamaño de la muestra	13

Como se observa en la estadística descriptiva en las tablas: Tabla 10 y Tabla 11, el mejor resultado se obtuvo con la linealización y división; obteniendo un error máximo del 4.88%, una media del 1.73% de error y una desviación estándar del 1.85%, a comparación del resultado obtenido solamente de la linealización que tiene un error máximo del 5.38%, una media del 3.39% de error y desviación estándar del 2.04%. Por lo tanto se utilizará la linealización y división.

Esto nos muestra que se tiene una medición exitosa de la radiación cuando el instrumento da una respuesta entre 250 y 1000 Hz.

Para el porcentaje de error de la linealización y división se obtuvo una distribución normal platicúrtica con una asimetría positiva.

c. **FRECUENCIAS MENORES A 250 HZ.** La ecuación final que se obtuvo para este nivel de frecuencias fue la siguiente:

$$X = \frac{\frac{Y-223.49}{6.6502} + 35.7310}{1.0529}$$

Ecuación 16: Linealización de la radiación (Frecuencias menores a 250 Hz)

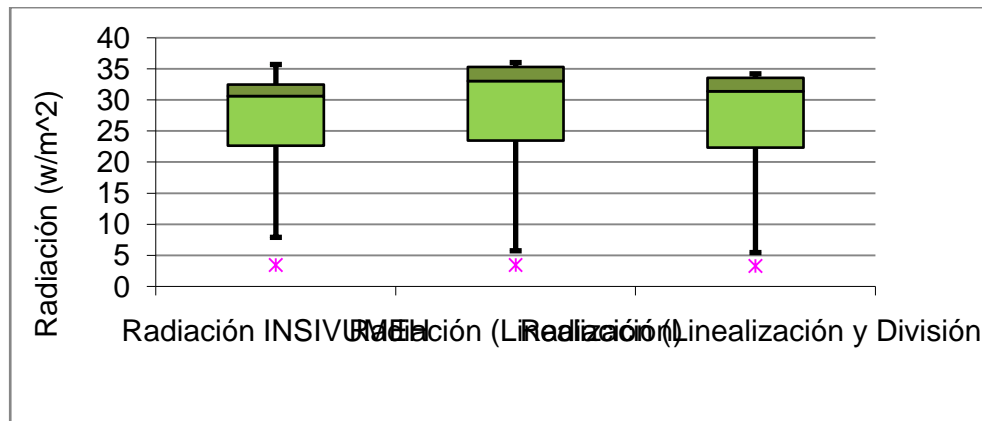
Dónde:

- X es la radiación final obtenida después de la linealización y división.
- Y es la frecuencia obtenida por el instrumento de medición

Esta ecuación se obtuvo en base a los cálculos realizados con los datos de la tabla: Tabla 10.

Para ejemplificar visualmente los resultados se realizó una comparación por medio de un diagrama de cajas de la radiación real, la radiación obtenida por la linealización y la radiación final (obtenida por la linealización y la división), esta comparación se muestra en la Figura 13.

Figura 13: Diagrama de cajas comparativo en los resultados de radiación para frecuencias menores a 250 Hz



Como se observa en la Figura 13 el mejor resultado se obtiene con la linealización y división pues la mediana y los cuartiles se asemejan más a los obtenidos con la radiación real.

Se realizó también una estadística descriptiva al porcentaje de error de la radiación obtenida por la linealización a la radiación obtenida por la linealización y división, ambas comparadas contra la radiación real; los resultados se muestran en las tablas: Tabla 12 y Tabla 13.

Tabla 12: Estadística descriptiva del porcentaje de error de la radiación obtenida de la linealización

Estadística descriptiva del porcentaje de error de la radiación solamente con linealización	
Media	5.054771
Error estándar	1.618748
Mediana	6.9863
Desviación estándar	4.282806
Varianza	18.34242
Curtois	-2.08613
Asimetría	-0.21509
Valor mínimo	0
Valor máximo	10.4458
Tamaño de la muestra	7

Tabla 13: Estadística descriptiva del porcentaje de error de la radiación obtenida de la linealización y división

Estadística descriptiva del porcentaje de error final de la radiación (linealización y división)	
Media	3.534743
Error estándar	0.53828
Mediana	3.1262
Desviación estándar	1.424155
Curtosis	-2.09153
Asimetría	-0.0132
Valor mínimo	1.6047
Valor máximo	5.0302
Tamaño de la muestra	7

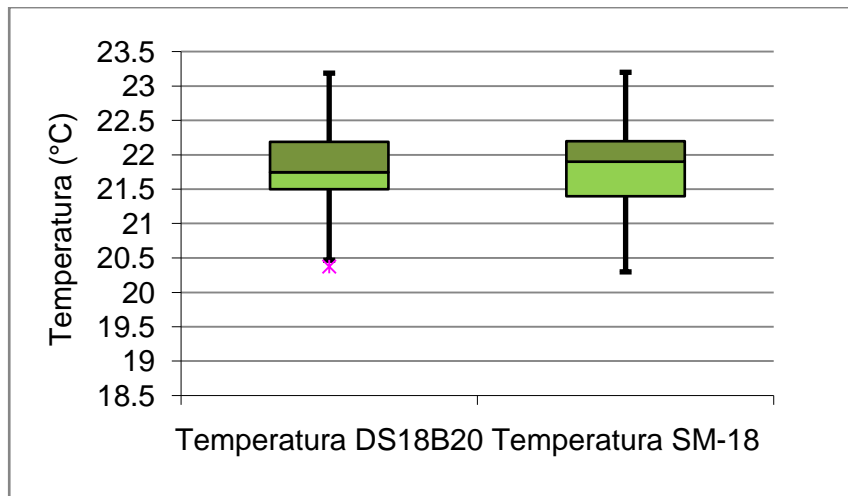
Como se observa en la estadística descriptiva en las tablas: Tabla 12 y Tabla 13, el mejor resultado se obtuvo con la linealización y división; obteniendo un error máximo del 5.04%, una media del 3.53% de error y una desviación estándar del 1.42%, a comparación del resultado obtenido solamente de la linealización que tiene un error máximo del 10.45%, una media del 5.05% de error y desviación estándar del 4.28%. Por lo tanto se utilizará la linealización y división.

Esto nos muestra que se tiene una medición exitosa de la radiación cuando el instrumento da una respuesta menor a los 250 Hz. Para el porcentaje de error de la linealización y división se obtuvo una distribución normal platycúrtica simétrica.

2. TEMPERATURA. Para validar el funcionamiento del sensor DS18B20 se realizó una medición simultánea con el sensor de temperatura SM-18 (Speedtech Instruments), el cual está calibrado y realiza mediciones correctas de temperatura. Los resultados de la comparación entre estos instrumentos se muestran en la tabla: Tabla 12 y 13

Para ejemplificar visualmente los resultados se realizó una comparación por medio de un diagrama de cajas de los dos sensores de temperatura utilizados. Este diagrama se muestra en la Figura 14.

Figura 14: Diagrama de cajas comparativo entre los sensores de temperatura DS18B20 y SM-18



Como se observa en la figura 14, el sensor de temperatura DS18B20, tiene cuartiles, mediana, máximo y mínimo similares al sensor de temperatura SM-18, el cual fue utilizado como base para esta comparación.

Tabla 14: Estadística descriptiva del porcentaje de error de la comparación de los sensores DS18B20 y SM-18

Estadística descriptiva del Porcentaje de Error entre DS18B20 y SM-18	
Media	1.18456
Error estándar	0.134229
Mediana	1.136364
Moda	2.272727
Desviación estándar	0.722845
Varianza	0.522504
Curtosis	-0.88231
Asimetría	0.309887
Rango	2.502939
Valor mínimo	0.053879
Valor máximo	2.556818
Tamaño de la muestra	29

Como se observa en la estadística descriptiva en la Tabla 14, se obtuvo un porcentaje de error máximo del 2.55%, una media del 1.18% de error y una

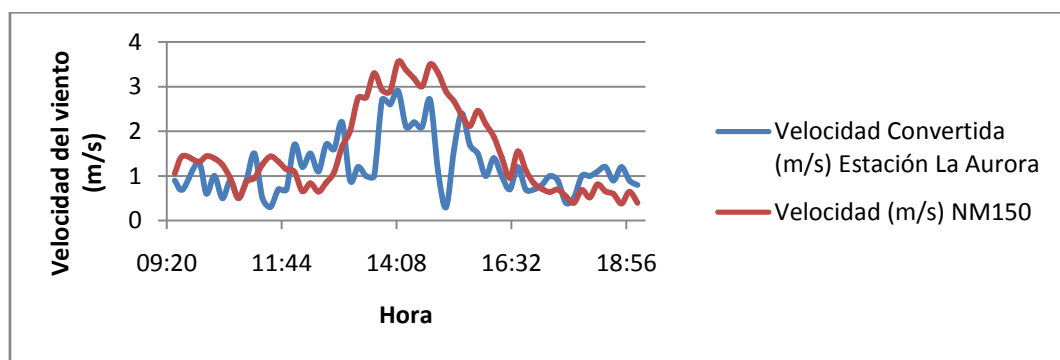
desviación estándar del 0.72%. Estos resultados demuestran que la medición de temperatura se realizó de forma exitosa; y que el sensor DS18B20 proporciona datos exactos de la temperatura del ambiente. El porcentaje de error obtenido tiene una distribución normal platicúrtica con una asimetría positiva.

3. VIENTO. Para comparar la dirección y velocidad del viento no se encontró un dispositivo calibrado para comparar los datos del dispositivo NM150.

El más cercano fue la Estación Meteorológica “La Aurora” del INSIVUMEH, sin embargo el dispositivo NM150 no se pudo colocar lo suficientemente cerca, ni a la altura adecuada, por prohibición de la DGAC (Dirección General de Aviación Civil) y del INSIVUMEH. Sin embargo se realizó la comparación entre los datos del dispositivo NM150 y los datos de la Estación Meteorológica “La Aurora”.

a. COMPARACIÓN DE VELOCIDAD DEL VIENTO. Los resultados de medición de la velocidad del viento entre las dos estaciones meteorológicas se muestran en la tabla: Tabla 14. Para visualizar los resultados visualmente se realizó una gráfica comparativa de la velocidad del viento entre las dos estaciones meteorológicas. Esta se muestra en la Figura 15.

Figura 15: Comparación de velocidad de viento Estación La Aurora y NM150

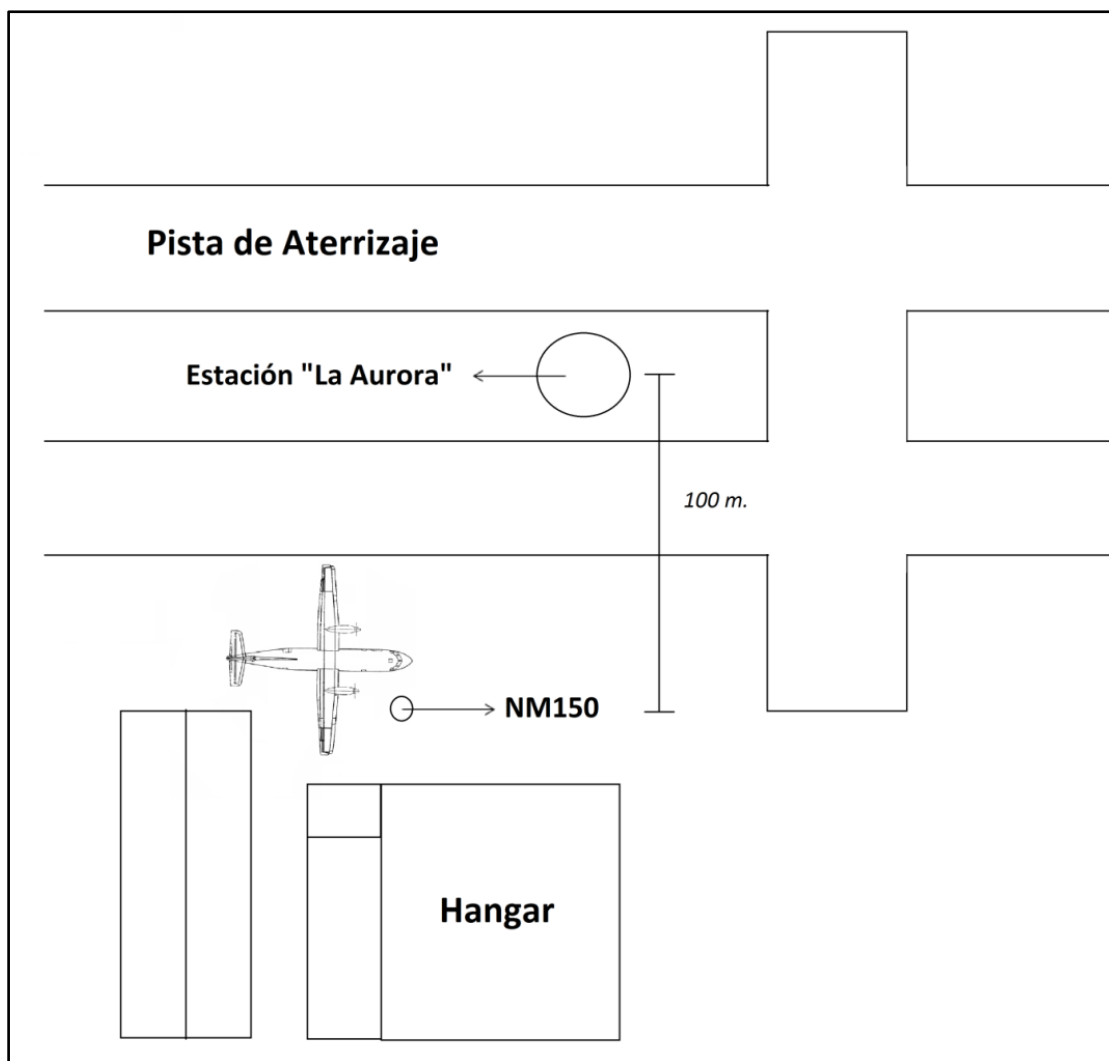


Como se observa en la tabla y en la gráfica anterior, los datos no son iguales, sin embargo ambas estaciones siguen el mismo patrón, esto se debe a que se encontraban en la misma área, sin embargo no en las mismas condiciones. Eso ya que la Estación meteorológica “La Aurora” se encuentra situada en el centro de la pista de aterrizaje del Aeropuerto La Aurora, mientras que el dispositivo NM150, solamente se pudo

colocar a un extremo de la pista de aterrizaje. Por lo que el dispositivo NM150 tenía más obstáculos, razón por la cual el aire no llegaba con la misma velocidad.

En la Figura 16: Esquemático de la ubicación de la Estación "La Aurora" en relación al dispositivo NM150, se muestra un esquemático que muestra la ubicación del NM150 y de la estación "La Aurora" a escala, para así poder visualizar la distancia y obstáculos que generaron resultados distintos en ambas mediciones.

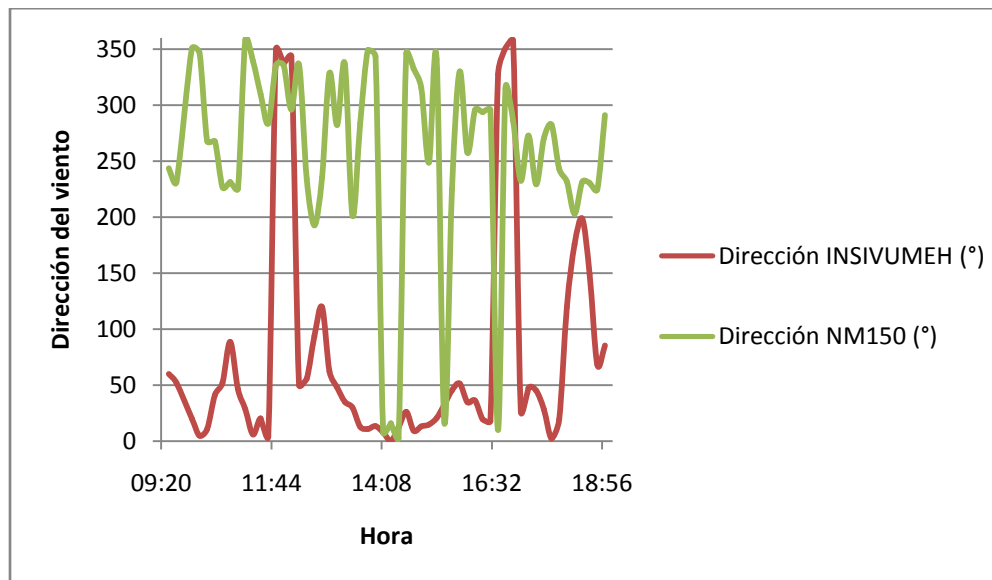
Figura 16: Esquemático de la ubicación de la Estación "La Aurora" en relación al dispositivo NM150



b. COMPARACIÓN DE LA DIRECCIÓN DEL VIENTO. Los resultados de medición de la dirección del viento entre las dos estaciones meteorológicas se muestran en la tabla: Tabla 14.

Para visualizar los resultados visualmente se realizó una gráfica comparativa de la dirección del viento entre las dos estaciones meteorológicas. Ésta se muestra en la Figura 17: Comparación de dirección del viento Estación “La Aurora” y NM150.

Figura 17: Comparación de dirección del viento Estación “La Aurora” y NM150

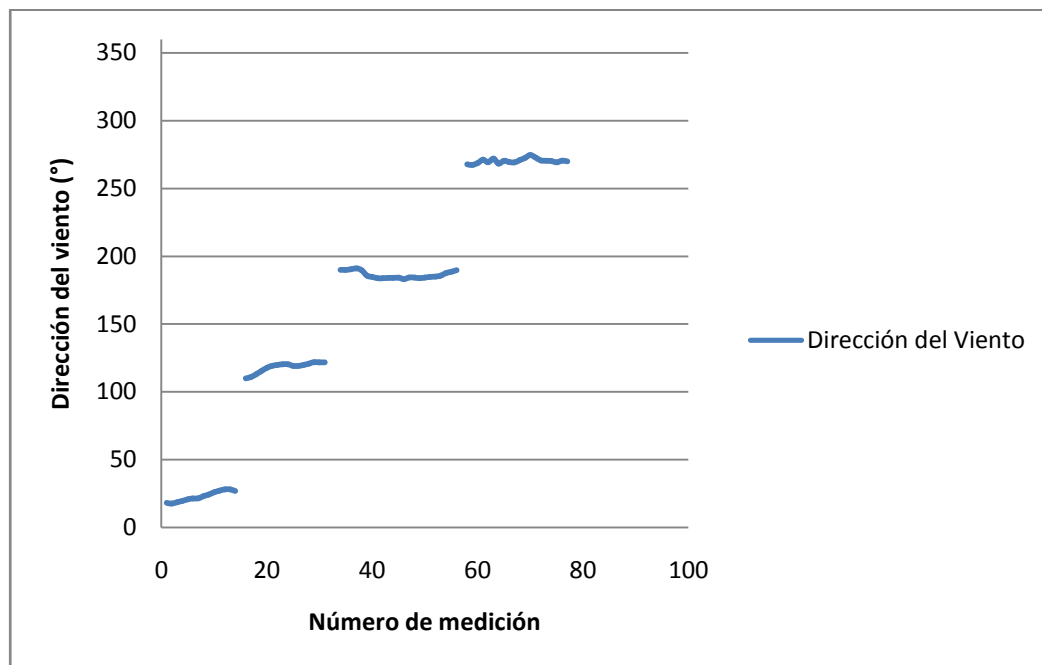


Como se observa en la tabla y en la gráfica anterior, los datos no son iguales ni siguen ningún patrón. Sin embargo lo que se puede observar es que las variaciones bruscas de la dirección del viento se dan en los dos instrumentos. La diferencia en los datos obtenidos se debe a que ambas estaciones se encontraban en distintas condiciones. Eso ya que la Estación meteorológica “La Aurora” se encuentra situada en el centro de la pista de aterrizaje del Aeropuerto La Aurora, mientras que el dispositivo NM150, solamente se pudo colocar a un extremo de la pista de aterrizaje, por lo que el dispositivo NM150 tenía más obstáculos; por esta razón el viento cambia de dirección por el impacto con los obstáculos. La dirección también varió por la distancia a la que se encontraban ambas estaciones, ya que las corrientes de aire no eran las mismas pues no fueron tomadas en el mismo punto.

Por esta razón se procedió a la realización de otro tipo de prueba para la dirección del viento. En esta prueba se generó un ambiente controlado donde se podía variar la dirección del flujo de aire. Se realizaron dos distintas pruebas en este ambiente:

1) VARIACIÓN INTERRUMPIDA DE LA DIRECCIÓN DEL VIENTO. En esta prueba se realizó la toma de datos de cuatro distintas direcciones del flujo del viento, interrumpiendo la medición en el momento de realizar un cambio de dirección del flujo del viento. Los resultados se muestran en la tabla: Tabla 15. Para visualizar los resultados se realizó una gráfica, esta se muestra en la Figura 18.

Figura 18: Dirección del viento en ambiente controlado (Interrumpida)

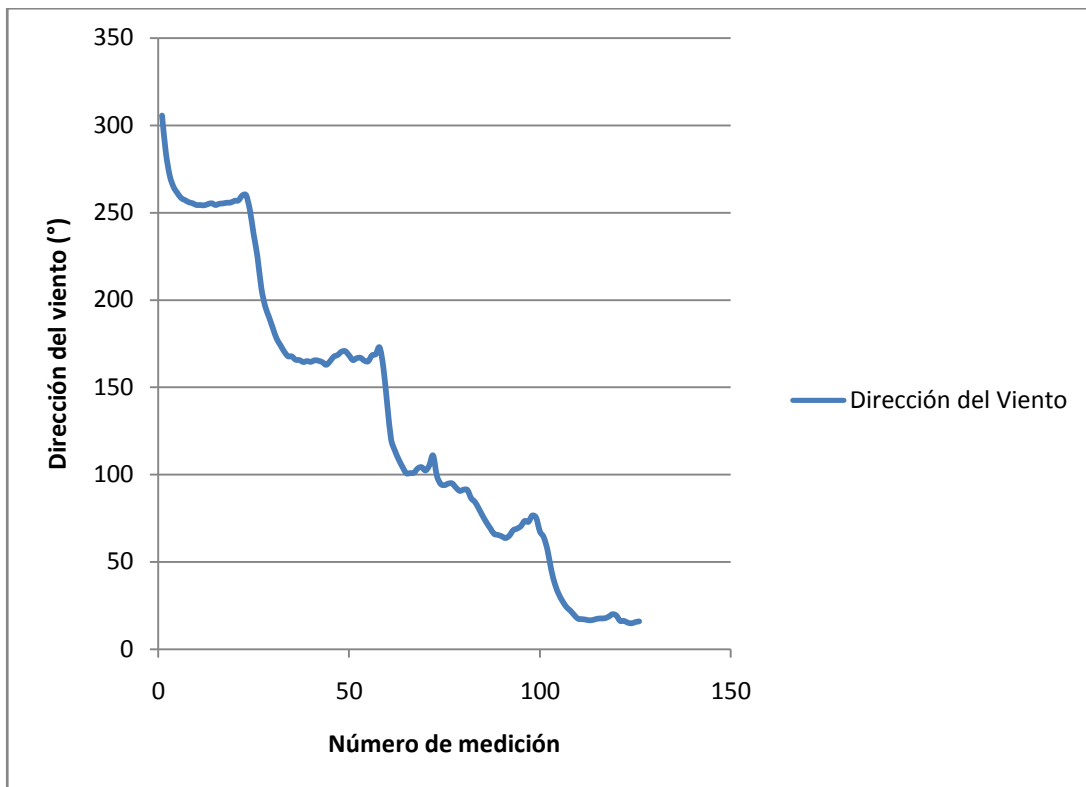


Como se observa en la gráfica, al variar la dirección del flujo de viento de dirección el dispositivo NM150 detecta el cambio por medio de sus sensores ultrasónicos. La gráfica anterior muestra que el sensor de dirección de viento funciona correctamente.

2) VARIACIÓN ININTERRUMPIDA DE LA DIRECCIÓN DEL VIENTO. En esta prueba se realizó la toma de datos de cuatro distintas direcciones del flujo del viento, sin interrumpir la medición en el momento de realizar un cambio de dirección del flujo

del viento. Esto permitirá observar cómo son detectados los cambios en la dirección del flujo del viento instantáneos por el dispositivo NM150. Los resultados se muestran en la tabla: Tanla 16. Para visualizar los resultados se realizó una gráfica, esta se muestra en la Figura 19.

Figura 19: Dirección del viento en ambiente controlado (Ininterrumpida)

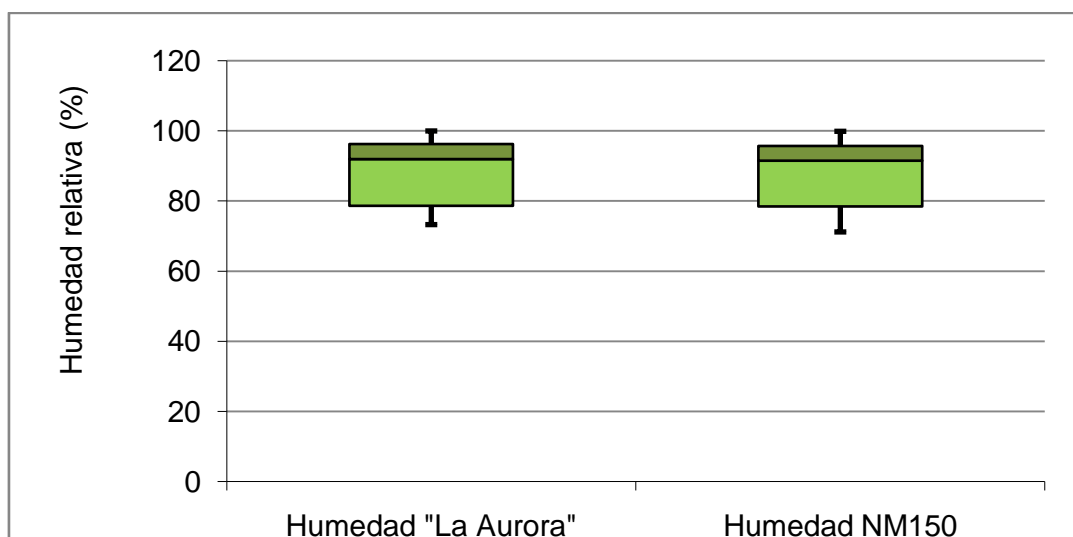


En la Figura 19 se observa que el dispositivo NM150 funciona correctamente con cambios instantáneos en el cambio de dirección del viento.

4. HUMEDAD. Los datos de humedad fueron comparados contra los de la Estación Meteorológica “La Aurora”; los resultados se muestran en la Tabla 16.

Para ejemplificar visualmente los resultados se realizó una comparación por medio de un diagrama de cajas de las mediciones de humedad entre el NM150 y la humedad medida por la Estación “La Aurora” Este diagrama se muestra en la Figura 20.

Figura 20: Diagrama de cajas comparativo entre la Estación "La Aurora" y el dispositivo NM150



Como se observa en la Figura 20, el dispositivo NM150 tiene cuartiles, mediana, máximo y mínimo similares a la humedad registrada por la Estación Meteorológica "La Aurora", el cual fue utilizado como base para esta comparación.

Tabla 15: Estadística descriptiva porcentaje de error entre la humedad del dispositivo NM150 y la Estación "La Aurora"

Estadística descriptiva porcentaje de error humedad NM150 y "La Aurora"	
Media	1.419508
Error estándar	0.13947
Mediana	1.321562
Desviación estándar	1.052977
Varianza	1.108761
Curtosis	-0.10261
Asimetría	0.759243
Rango	4.101695
Valor mínimo	0.063198
Valor máximo	4.164893
Tamaño de la muestra	57

Como se observa en la estadística descriptiva en la Tabla 15, se obtuvo un porcentaje de error máximo del 4.16%, una media del 1.41% de error y una desviación estándar del 1.05%. Estos resultados demuestran que la medición de humedad se realizó de forma exitosa; y que el dispositivo NM150 proporciona datos

exactos de la humedad relativa del ambiente. El porcentaje de error obtenido tiene una distribución normal con una asimetría positiva.

5. TEMPERATURA DE ROCÍO. Para la temperatura de rocío se comparó el resultado del cálculo del punto de rocío de la Estación Meteorológica "La Aurora" contra el cálculo del mismo punto de rocío pero utilizando la Ecuación 11. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla: Tabla 17.

Se realizó una estadística descriptiva del porcentaje de error entre la comparación de la temperatura del punto de rocío de la Estación "La Aurora" y la temperatura del punto de rocío calculado por medio de la Ecuación 11. Los resultados de esta estadística descriptiva se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16: Estadística descriptiva del porcentaje de error del P. Rocío Estación "La Aurora" y Ecuación 11

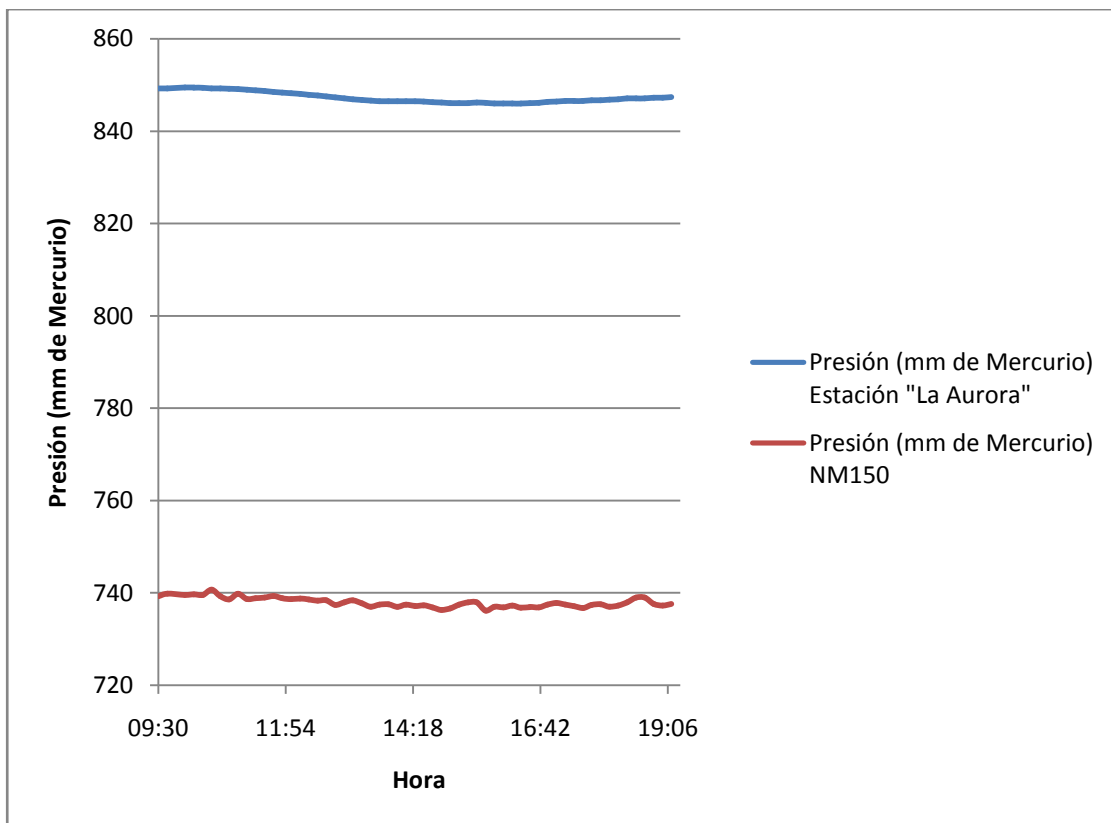
Estadística descriptiva porcentaje de error P. Rocío "La Aurora" y Ecuación 11	
Media	0.075882
Error estándar	0.007975
Mediana	0.053876
Moda	0
Desviación estándar	0.061773
Varianza	0.003816
Curtosis	-1.43866
Asimetría	0.343777
Rango	0.188154
Valor mínimo	0
Valor máximo	0.188154
Tamaño de la muestra	60

Como se observa en la estadística descriptiva la Tabla 16, se obtuvo un porcentaje de error máximo del 0.18%, una media del 0.07% de error y una desviación estándar del 0.06%. Estos resultados demuestran que el cálculo proporcionado para la temperatura del punto de rocío por la Ecuación 11 es un aproximado casi perfecto a la

temperatura de rocío real. Por lo que la ecuación es lo suficientemente exacta para los propósitos de este megaproyecto y será utilizada para calcular el valor de la temperatura de rocío del ambiente.

6. PRESIÓN. Para la presión se realizó una comparación con la Estación Meteorológica “La Aurora” del INSIVUMEH. Los resultados se muestran en la tabla: Tabla 18. En la Figura 21 se muestran la comparación gráfica de la presión de la Estación “La Aurora” y el dispositivo NM150.

Figura 21: Comparación de presión Estación “La Aurora” y NM150 (Antes de la linealización)



Como se observa, la gráfica tiene el mismo patrón, sin embargo no tiene los resultados correctos, por lo que se procedió a realizar la linealización de la presión obtenida por el dispositivo NM150 por medio de la ecuación de la recta entre los resultados de la presiones. La ecuación resultante se muestra en la Ecuación 17:

$$X = \frac{Y - 739.2556}{0.889599} + 849.215$$

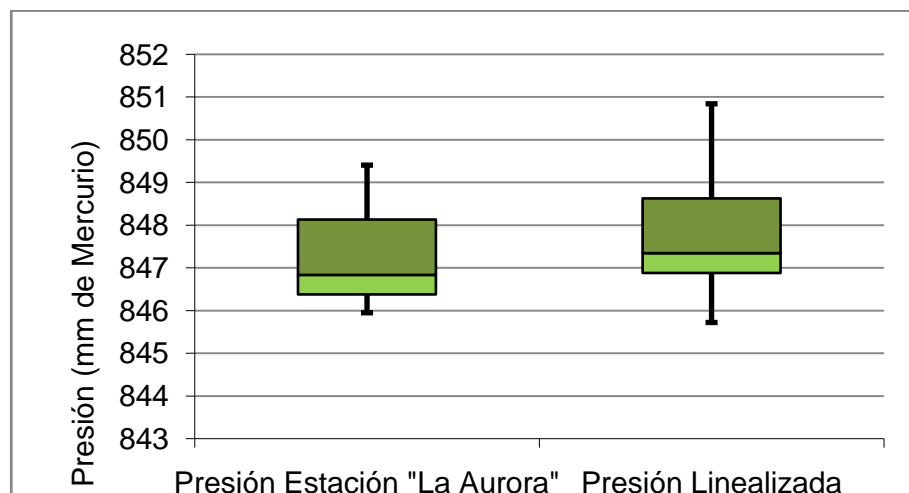
Ecuación 17: Linealización de la presión

Dónde:

- X es la presión resultante final en mm de mercurio.
- Y es la presión obtenida originalmente por el dispositivo NM150 en mm de mercurio.

Se realizó un diagrama de cajas comparativo entre la presión de la estación “La Aurora” y la linealización obtenida de la Ecuación 17, esta se muestra en la Figura 22:

Figura 22: Diagrama de cajas comparativo entre la presión de la estación “La Aurora” y la linealización de la presión por medio de la Ecuación 17



Como se observa en la Figura 22, la linealización de la presión tiene cuartiles, mediana, máximo y mínimo similares a presión registrada por la Estación Meteorológica “La Aurora”, la cual fue utilizada como base para esta comparación. Para complementar estos resultados se realizó una estadística descriptiva del porcentaje de error obtenido en la comparación de la presión registrada por la estación “La Aurora” y la linealización de la presión obtenida por la Ecuación 17, esta estadística descriptiva se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17: Estadística descriptiva del porcentaje de error entre la presión de la estación “La Aurora” y la linealización obtenida con la Ecuación 17.

Estadística descriptiva de porcentaje de error depresión “La Aurora” y linealización	
Media	0.069328
Error estándar	0.00718
Mediana	0.062137
Desviación estándar	0.054685
Curtosis	0.948971
Asimetría	1.152666
Valor mínimo	0
Valor máximo	0.215452
Tamaño de la muestra	58

Como se observa en la estadística descriptiva de la Tabla 15, se obtuvo un porcentaje de error máximo del 0.22%, una media del 0.06% de error y una desviación estándar del 0.05%. Estos resultados demuestran que la medición de presión fue exitosa. El porcentaje de error obtenido tiene una distribución normal leptocúrtica con una asimetría positiva.

7. DETECCIÓN DE SISMOS. Lo primero que se realizó para la medición de sismos fue definir los niveles en relación a la variación de bits de la medición, esto se observa en la Tabla 18:

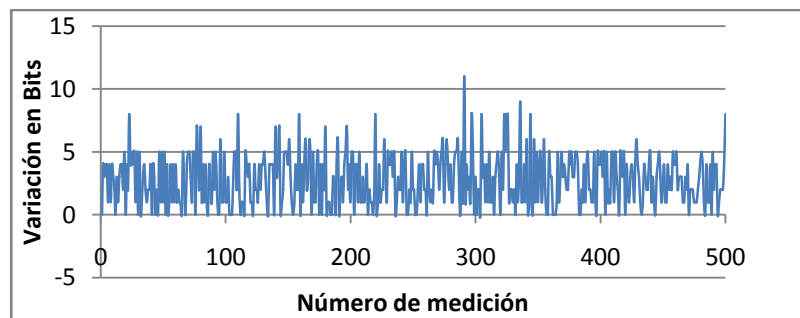
Tabla 18: Variación de bits de lectura en relación a la variación de aceleración.

Nivel intensidad	Galileo (G)	Gravedades (g)	Variación de ADC
I	0.5	0.00051	0.307663
II	2.5	0.002549	1.538314
III	6	0.006118	3.691955
IV	10	0.010197	6.153258
V	20	0.020394	12.30652
VI	35	0.03569	21.5364
VII	60	0.061183	36.91955
VIII	100	0.101972	61.53258
IX	250	0.254929	153.8314
X	500	0.509858	307.6629
XI	1000	1.019716	615.3258
XII	2000	2.039432	1230.652

Por lo que se observa, se tiene un límite de medición por los 512 bits máximos de variación del ADC del PIC16F887, el cual realiza la conversión de voltaje de salida del sensor a un nivel de aceleración. Este límite hace que la intensidad máxima que pueda ser detectada sea de nivel "X" de escala de Mercalli Modificada. Para la detección de sismos se tenía ruido en la señal obtenida del acelerómetro. Por lo que se realizó un filtrado de la señal de cada eje, esto porque el ruido de cada una era muy alto, lo que generaba un error que era interpretado como sismo. A continuación se muestra cómo cada filtro mejoró la señal:

a. SEÑAL SIN FILTRAR

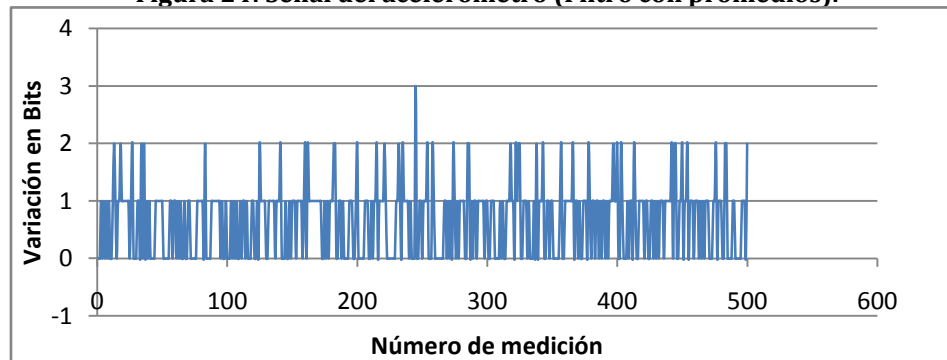
Figura 23: Señal del acelerómetro sin movimiento (Sin filtro).



En la Figura 23 se observa que la mayor variación es de 11 bits, aunque el sensor esté sin movimiento, lo que significaría un sismo de nivel V en la escala de Mercalli modificada.

b. SEÑAL CON FILTRO 1 (PROMEDIO DE DATOS)

Figura 24: Señal del acelerómetro (Filtro con promedios).



Como se observa en la Figura 24 la mayor variación de 3 bits, aunque el acelerómetro esté sin movimiento, lo que significaría un sismo de nivel III en la escala de Mercalli Modificada.

Como se observa de las figuras: Figura 23 y Figura 24 se logró la mejora del ruido del acelerómetro y permitir la medición de dos niveles de intensidad más.

El acelerómetro por lo tanto mide desde nivel de intensidad III hasta nivel de intensidad X. Este rango de niveles es un resultado exitoso de la medición de la intensidad sísmica para este megaproyecto.

8. RESULTADOS FINALES. La exactitud de un instrumento define qué tan cerca este instrumento realiza sus mediciones con respecto al valor real.

Se expresa normalmente en porcentaje. La Ecuación 18 muestra cómo está definida la exactitud de un instrumento de medición [35]:

$$Exactitud = \frac{|A_m - A_a|}{A_{max} - A_{min}} * 100\%$$

Ecuación 18: Exactitud de un instrumento de medición

Dónde:

- A_m es el valor medido por el instrumento de medición.
- A_a es el valor real de la variable medida.
- A_{max} es el límite superior de medición del instrumento.
- A_{min} es el límite inferior de medición del instrumento.

En la Tabla 19 se presenta un resumen de los resultados obtenidos del rango de medición y exactitud (para el peor caso) de cada variable meteorológica.

Tabla 19: Resultados Finales Estación Meteorológica.

Variable meteorológica	Rango de medición	Exactitud
Radiación solar	1.00 a 2143.00 W/m ²	4.76 %
Temperatura	-50 a 150°C	0.28%
Velocidad del viento *	0 a 148 Km/h	4%
Dirección del viento *	0 a 360 °	±2°
Humedad relativa	0 a 100 %	3.22%
Temperatura de rocío	-50 a 150°C	0.018%
Presión	600 a 1100 mmHg	0.51%
Intensidad sísmica *	Grado III a Grado X en la escala de M.M.	La exactitud fue calculada para la aceleración: 1.2%

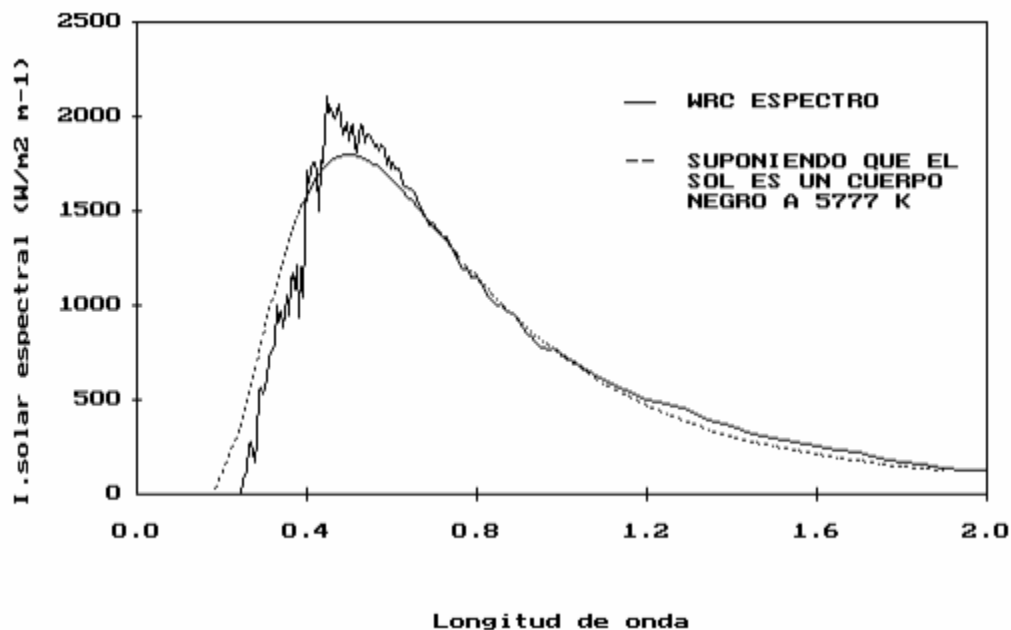
*Obtenidos de las especificaciones técnicas del fabricante, pues no fueron comparados contra sensores calibrados.

IV. CAPÍTULO 2 – MÓDULO DE ALIMENTACIÓN

A. MARCO TEÓRICO

1. RADIACIÓN SOLAR. Cuando los átomos de hidrógeno son fusionados en átomos de helio en el núcleo del Sol, se crea la energía solar. Este proceso calienta el Sol hasta 15 millones de grados Kelvin, creando fotones que viajan en todas direcciones. A los rayos de luz provenientes de los fotones emitidos del Sol, se les llama espectro solar. En la superficie de la Tierra, se recibe diariamente rayos de luz con longitudes de onda de 100 a 1500 nm. Estas abarcan luz blanca visible, rayos infrarrojos y rayos ultravioleta. En la Figura 25, se puede observar el espectro de la radiación solar extraterrestre.[57]

Figura 25- Distribución espectral de radiación solar [57]



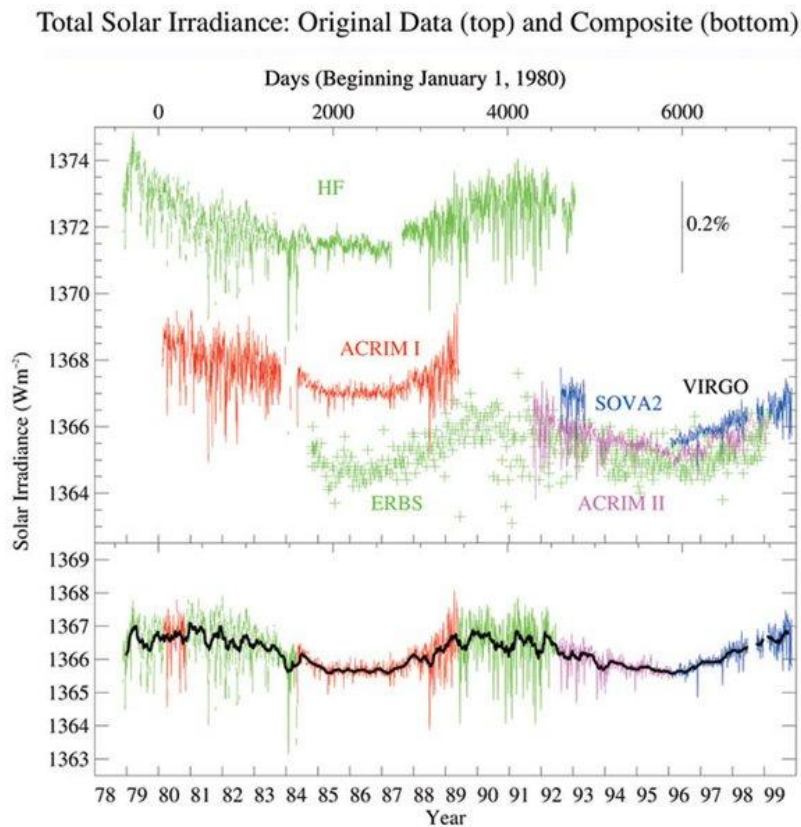
La radiación solar, se puede medir por medio de varios instrumentos como el pirheliómetro y piranómetro. Ambos tienen unidades de medida diferente para cada aplicación. Para este caso, nos interesan las unidades Watt sobre metro cuadrado, las cuales expresan la potencia que el Sol entrega a la Tierra en un instante. Se le define a la constante solar, como la cantidad de energía procedente del Sol que llega por

unidad de tiempo y área, en una superficie perpendicular a los rayos del Sol, con dimensionales $W \cdot h / m^2$. Esta es la integral de la radiación solar por un día. [57]

La radiación que el Sol llega a generar en su superficie, llega a ser hasta 63 millones de watts por metro cuadrado. Ésta viaja hasta la tierra, y debido a las condiciones atmosféricas y la pérdida en la distancia, llega a ser $1,367 \text{ W/m}^2$ en base a cálculos. Adicional a esto, únicamente el 40% de la energía solar que llega al tope de la atmosfera de la tierra, llega a la superficie terrestre.[57]

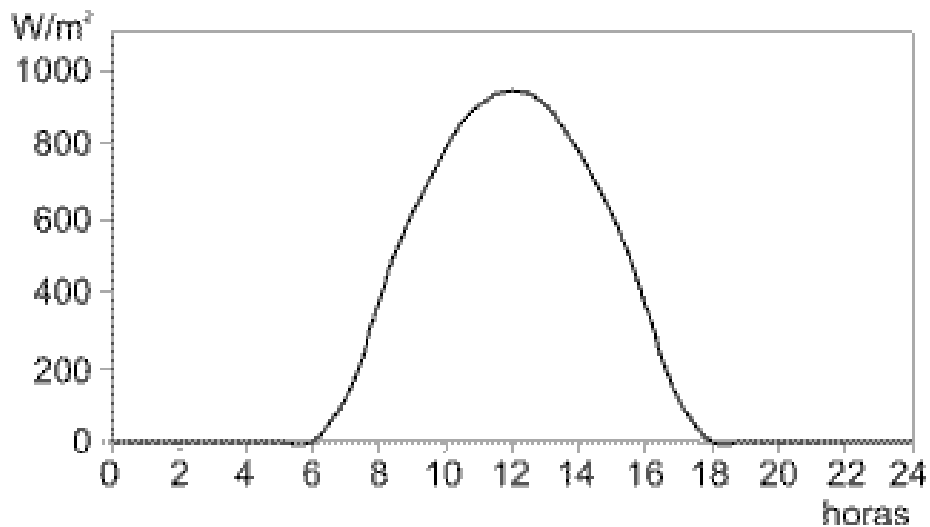
Generalmente, se asume que la radiación del Sol es constante en el tiempo. Esto claramente no es cierto, y se han podido medir estas variaciones. Se puede observar en la Figura 26, cómo ha variado a través de las últimas décadas. Por el uso de diferentes radiómetros, se puede observar cómo se marcan los ciclos del Sol con respecto a la variación de la radiación.[68]

Figura 26- Radiación Solar medida por diferentes instrumentos [68]



La radiación solar, únicamente puede ser absorbida durante cierta cantidad de tiempo en el día, mientras que se reciba la radiación en el punto de absorción. Generalmente suele ser de las 6 a 18 horas en nuestra región, pero puede variar según la época del año y el lugar específico. Así mismo, puede variar la intensidad debido a las condiciones climáticas y posición geográfica. En la Figura 27 se presenta cómo se comporta la radiación en un día promedio.[79]

Figura 27- Radiación promedio diaria [58]



La radiación solar en un día, no será uniforme debido a que ésta puede cambiar según la estación o periodo anual. Esta gráfica puede variar mucho según el día del año en que se esté midiendo, o por las condiciones climáticas en el lugar de medición. Para obtener por lo tanto, cuánto tiempo se obtiene de radiación, es decir, que cantidad de horas pico se tendrán para la recolección de energía con un panel solar, se usa un promedio de la radiación en el ambiente durante todo el día. Por lo tanto, esta medida tiene dimensionales de watt*hora/ m^2 diario. [79]

2. RADIACIÓN SOLAR EN GUATEMALA. En Guatemala, la energía solar se ha medido en instituciones públicas y privadas. Para este estudio, se utilizan las mediciones realizadas por el INSIVUMEH. Por medio de registros de la radiación solar medida en la ciudad de Guatemala, se puede observar información característica de la radiación en Guatemala desde enero 2005 hasta diciembre 2010. Los datos se presentan en el Anexo 2 - Mediciones de energía de radiación promedio mensual en

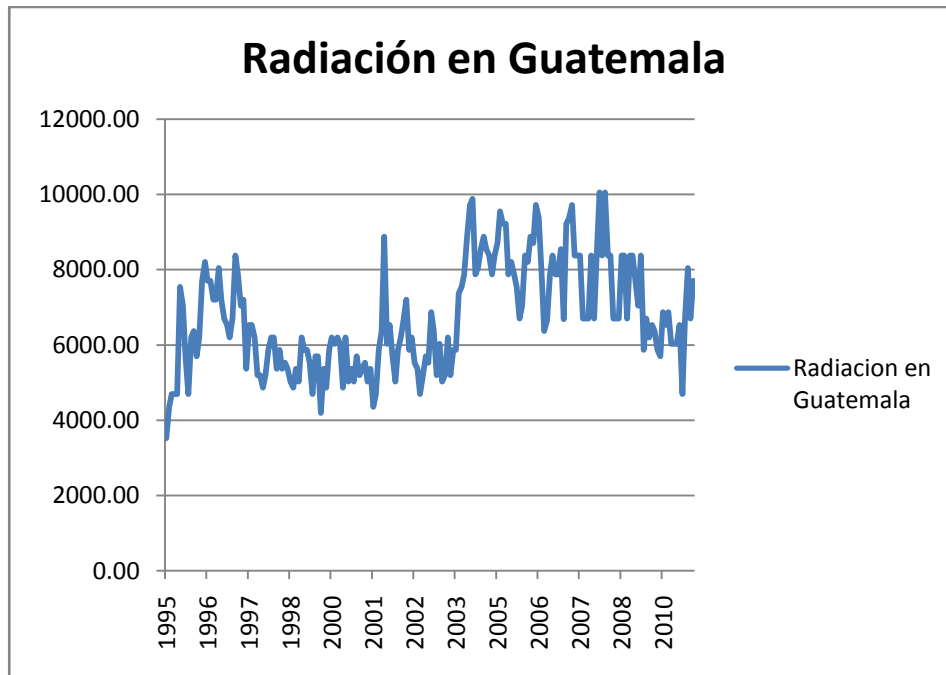
Guatemala. Estos datos relevantes se presentan con base a promedio mensuales. Éstas son:

Tabla 20- Valores de energía de radiación en Guatemala.

Dato	Valor	Dimensional
Radiación máxima	10,048	Watt*Hora/m ²
Radiación mínima	3,517	Watt*Hora/m ²
Radiación promedio	6,732	Watt*Hora/m ²

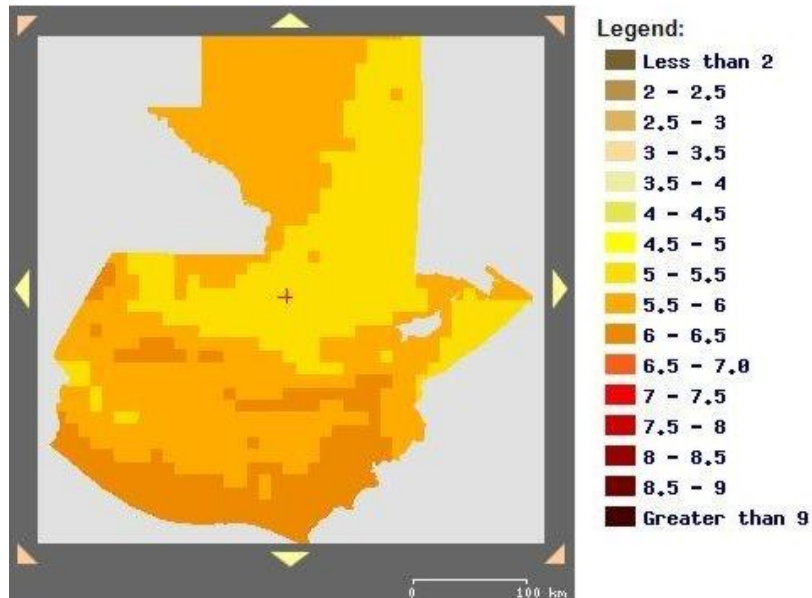
Los valores presentados anteriormente en la Tabla 20- Valores de energía de radiación en Guatemala, son los valores de energía solar promedio que se recibió diariamente, en un mes específico. En la Figura 28, se presentan los datos de las mediciones desde enero de 1995 hasta diciembre 2010.

Figura 28- Energía de radiación promedio mensual medida en Guatemala (W*h/m²) [45].



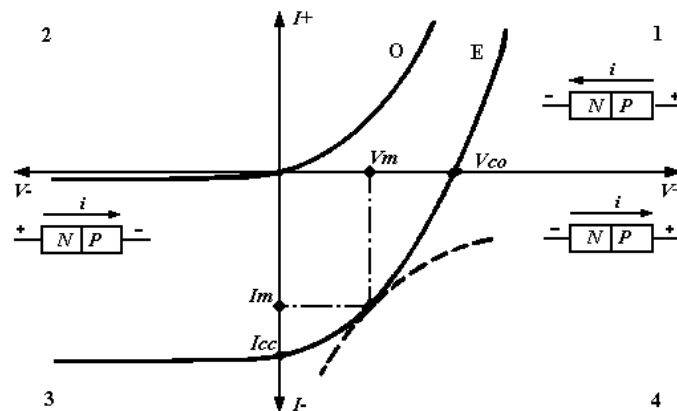
La radiación solar en Guatemala puede llegar a variar según la región en que se esté midiendo. Para esto, se puede observar en la Figura 29, cómo cambia la intensidad de la radiación recibida en cada sector.

Figura 29- Mapa de energía de radiación en Guatemala kW*h/m² [56].



3. CELDAS FOTOVOLTAICAS. Las celdas fotovoltaicas son elementos semiconductores, los cuales al recibir radiación solar producen una corriente eléctrica. Estos elementos están compuestos por una unión P-N en una placa de silicio, las cuales al estar expuestas a la radiación solar, generan un flujo eléctrico. Se puede modelar como un diodo de estado sólido, con la diferencia que en el momento de estar expuesto a la radiación, el flujo de electrones tiene una dirección contraria. [35]

Figura 30- Corriente vs Voltaje en una celda fotovoltaica [35].



En la Figura 30, se puede diferenciar la curva de comportamiento de la celda cuando está en oscuridad (O) y cuando está iluminada (E). Se puede observar que, en la oscuridad, se necesita un voltaje para poder dejar pasar la corriente, similar al diodo. Cuando el panel está iluminado, genera un voltaje negativo, es decir, la corriente fluye en dirección contraria al modelo del diodo. Cuando el voltaje es positivo, se tiene una corriente nominal I_m en el voltaje nominal V_m . Luego, se puede observar una corriente de corto circuito I_{cc} , y el voltaje en circuito abierto V_{co} . Si al panel se le aplica un voltaje, se necesita pasar cierto valor para poder pasar la corriente a la otra dirección, para comportarse similar a un diodo. [35]

Esta Figura 30 nos ilustra cómo debemos limitar la conexión del panel solar al sistema, la cual únicamente se debe estar conectado a la batería, cuando este es capaz de entregar una corriente al sistema, en este caso negativa en la gráfica. Así mismo, se debe conectar con un voltaje positivo, ya que en la aplicación de celdas fotovoltaicas en la estación meteorológica, no es de interés utilizar el panel de otra forma que no sea cuando este es capaz de entregar energía. Cuando hay celdas fotovoltaicas unidas como una serie de arreglos, se les llama comúnmente paneles solares. Estos tienen características de tener voltajes y potencias más altas que una celda fotovoltaica. Usualmente, una celda fotovoltaica tiene 1 watt de potencia, en cambio, un panel solar puede llegar a tener hasta más de 200 watts de potencia.

4. INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS INDEPENDIENTES. En las instalaciones que cuentan con energía solar como la fuente de energía eléctrica, se utilizan varios elementos para poder tener una instalación completa. El panel solar es el elemento encargado de captar la energía del Sol y de transformarla en energía eléctrica que pueda ser utilizada. Junto con los paneles existen otros componentes que se utilizan en las instalaciones como elementos de seguridad o que amplían las posibilidades del uso de la instalación. Los componentes esenciales de una instalación fotovoltaica son: [15]

- **Regulador:** elemento que regula la inyección de corriente desde los paneles a la batería. El regulador interrumpe el paso de energía cuando la batería se halla totalmente cargada, evitando así los efectos negativos derivados de una

sobrecarga. En todo momento, el regulador controla el estado de carga de la batería para permitir el paso de energía eléctrica proveniente de los paneles cuando esta empieza a bajar.[15]

- **Batería:** Almacena la energía de los paneles para los momentos en que no hay sol, o para los momentos en que las características de la energía proporcionada por los paneles no es suficiente o adecuada para satisfacer la demanda (falta de potencia al atardecer, amanecer, días nublados). La naturaleza de la radiación solar es variable a lo largo del día y del año, la batería es el elemento que soluciona este problema ofreciendo una disponibilidad de energía de manera uniforme durante todo el año.[15]
- **Inversores:** El elemento que transforma las características de la corriente de continua a alterna. Los aparatos eléctricos domésticos, usualmente están adaptados para funcionar con corriente alterna, y tanto los paneles como las baterías suministran energía eléctrica en forma de corriente continua. Es por ello, que se hace necesario este elemento para modificar la naturaleza de la corriente y sea apta para su consumo por diversos aparatos.[15]

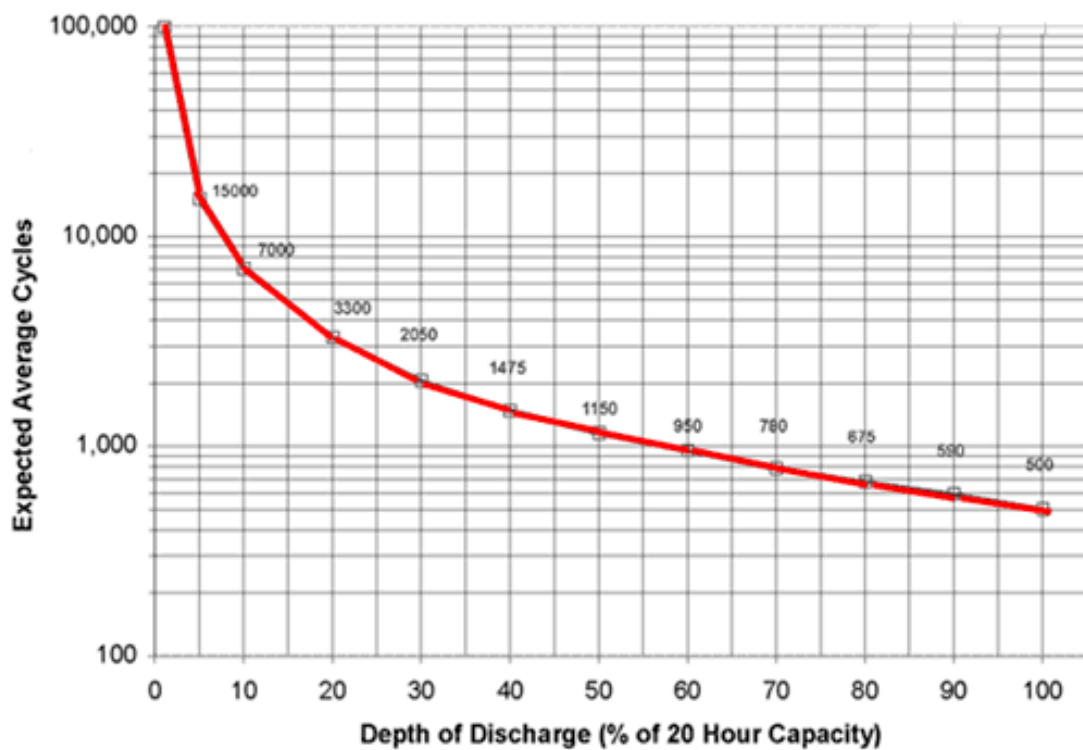
5. BATERÍAS DE CICLO PROFUNDO. El término ciclo profundo, se refiere en general, a las baterías que tienen la capacidad de descargarse completamente cientos de veces, diseñada para proveer una cantidad constante de corriente durante un período de tiempo largo. La diferencia principal de las baterías de ciclo profundo y la de un automóvil convencional, es que la batería del automóvil está hecha para proveer una rápida cantidad de energía miles de veces en su tiempo de vida, mientras que, solamente es capaz de descargarse completamente menos de 50 veces durante su vida y las baterías de ciclo profundo están hechas para descargarse cientos de veces.[16]

La capacidad que tiene una batería se define como la tasa de corriente que puede entregar durante cierta cantidad de tiempo, con las dimensionales Amperios Hora (Ah). La capacidad de descarga de una batería de ciclo profundo, está caracterizada por la cantidad alta de ciclos que tiene descarga, y es deseable que no se descargue más del 90% de su capacidad. La tasa de descarga varía depende de la carga que se le es conectada a ésta, se describe como: $C=t*I$. [16]

Lo que se puede inferir de esta ecuación, es que si el sistema al que la batería está conectado consume una corriente I (Amperio), tiene como duración t (Horas) con una batería de carga nominal C (Amperios hora).

Para determinar la vida que tiene esta batería, se recurre a una gráfica de descarga, determinada por los valores nominales de cada batería. Se muestra en la Figura 31 el tiempo de vida de una batería, en número de ciclos contra el porcentaje de descarga.[20]

Figura 31- Vida de una batería en ciclos por porcentaje de descarga [20]



Si la batería está trabajando a otra capacidad que no sea la nominal, el tiempo de vida de la batería puede variar en su capacidad nominal. Si la batería con capacidad C está operando a menos de $0.05C$, ésta puede llegar a doblar su capacidad.[20]

B. METODOLOGÍA

1. BATERÍA. Para determinar qué fuente de almacenamiento de energía se debe usar en el sistema, primero se determina que debe tener una batería de ciclo profundo sellada. Se utiliza una batería de ciclo profundo, debido al tipo de carga que éste debe

alimentar. Al ser un circuito electrónico que debe tener un funcionamiento continuo, y con una carga periódica, la capacidad que se usa de la batería debe ser baja con respecto a la capacidad nominal. También se determina que es una batería sellada la que se debe utilizar, ya que se tiene como objetivo que la estación meteorológica pueda estar en cualquier lugar durante mucho tiempo, sin que se le tenga que hacer ningún tipo de mantenimiento.

Para poder dimensionar la batería a usar, primero se debe establecer qué carga va a alimentar la batería. Para esto, se usan valores teóricos de consumo que tendrá el sistema.

Tabla 21- Valores de consumo de cada módulo de la Estación Meteorológica

Elemento	Voltaje (Vdc)	Corriente (A)
Sensor	12	0.15
Comunicación	12	0.25
Módulo principal	12	0.1
Módulo mecánico diario	12	0.08
Módulo mecánico anual	12	2

En la Tabla 21, se obtuvo de los módulos de sensores, comunicación y el módulo mecánico. Luego de haber obtenido esos valores, se procede a calcular los valores de potencia y energía, por medio de la Ecuación 19 y Ecuación 20.

$$P = V * I$$

Ecuación 19- Potencia eléctrica

$$E = P * t = V * I * t$$

Ecuación 20- Energía Electrica

Tabla 22- Energía requerida por cada módulo de la Estación

Elemento	Tiempo diario (horas)	Energía diaria (Watt*hora)
Sensor	24	43.2
Comunicación	12	36
Módulo principal	24	28.8
Módulo mecánico diario	12	11.52
Módulo mecánico anual	0.002	0.04

Esto nos da un total de 119.56 Watt*hora de energía, la cual la batería debe entregar diariamente al sistema. Si el sistema se asume en un principio, trabajará siempre a 12 Vdc, entonces se procede a calcular la cantidad de corriente que se consumirá en una energía por hora.

$$C_d = \frac{E}{V} = \frac{119.56 \text{ Watt} * \text{hora}}{12 \text{ V}} = 9.96 \text{ Ah}$$

Ecuación 21- Corriente consumida diaria

Ahora, que se sabe que la batería entregará 9.96 Ah al sistema diariamente, tenemos que determinar con cuantos días de autonomía se debe contar, si se asume que la batería está completamente cargada, y no habrá ningún tipo de carga hacia esta. Se toma un número inicial como diez días. Por lo que, se procede a calcular el valor de capacidad de la batería.

$$C_n = n_{dias} * C_d = 10 \text{ dias} * 9.96 \text{ Ah} = 99.6 \text{ Ah}$$

Ecuación 22- Capacidad nominal

Luego, se debe buscar una batería que tenga valores cercanos a esta capacidad nominal. Por lo que se obtiene el valor 100 Ah para el valor nominal de capacidad de la batería. Para la batería, se tiene que tomar por ultimo un factor; la batería, tendrá una tasa de descarga durante todo el día. Esta oscilara entre 0.58 Ah y 0.25 Ah, según los valores de laTabla 22. Luego, se procede a calcular a la capacidad con la que está trabajando la batería. Se sabe que la capacidad nominal es de 100Ah.

$$\frac{C_n}{C_t} = \frac{0.58 \text{ Ah}}{100 \text{ Ah}} = 0.0058C_n$$

Ecuación 23- Porcentaje de capacidad de trabajo

Si el sistema está entregando energía al sistema a menos del 5% de su capacidad, es decir, a menos de 0.05C, el rendimiento de esta puede aumentar hasta el doble. Por lo que, si la batería está entregando un máximo de 0.0058C, su rendimiento puede llegar a aumentar, hasta llegar al doble de su capacidad. Al subir al doble su capacidad, estaremos subiendo los días de autonomía, de 10 a 20 días.

2. PANEL SOLAR. Este elemento se usará para poder entregar energía a la batería que alimenta todo el sistema. Para poder dimensionar el panel solar, primero se debe determinar qué cantidad de energía se puede obtener en la ciudad de Guatemala.

Como se mencionó anteriormente, en la Tabla 20- Valores de energía de radiación en Guatemala, tenemos un valor promedio de energía solar de 6,735 Watts*hora por día. Este es un valor que se puede tomar como referencia para el dimensionamiento, pero el valor más importante es 3,517 Watts*hora, que fue el promedio mensual de energía más bajo, que se obtuvo entre el año 1995 y 2010.

Para calcular cómo estos valores de radiación en Guatemala influyen en el dimensionamiento del panel, se procede a calcular la potencia nominal de éste, de la siguiente forma:

$$P_n = \frac{STC_{rendimiento} * E_{Consumida}}{E_{solar}}$$

Ecuación 24- Potencia nominal panel solar

Siendo P_n el valor de potencia nominal del panel y $STC_{rendimiento}$ la constante de rendimiento en condiciones estándar, se propone que el panel recupere diariamente, lo que se consumió durante el día. Esta condición se debe cumplir todos los días, así que se inicia con el promedio más bajo obtenido.

$$P_n = \frac{1000 \frac{Wtts}{m^2} * 119.56 Watts * hora}{3517 Watts * hora} = 33.99 Watts$$

Ecuación 25- Calculo potencia nominal

Este valor de potencia nominal obtenido, no se puede encontrar en el mercado. Por lo que, se propone un panel con el valor más cercano a éste, pero que sea mayor. Este es de 50 Watts. Ahora se procede a calcular, en cuánto tiempo se podría cargar por completo la batería, si inicia sin carga y con diferentes valores de energía solar entregada durante un día, con la siguiente fórmula.

$$E_{entregada} = \frac{P_n * E_{solar}}{STC_{rendimiento}} = V * I_{entregado} * t = V * C_{entregada}$$

Ecuación 26- Energía entregada por el panel solar

$$t_{carga} = \frac{C_n}{\frac{C_{entregada}}{dia}}$$

Ecuación 27- Tiempo de carga de la batería

Siendo $C_{entregada}$ la carga entregada diariamente y C_n la capacidad nominal de la batería a usar. Los cálculos se presentan en la Tabla 23.

Tabla 23- Tabla de tiempos de carga de batería, con panel de 50 Watts.

Energía solar (Watt*hora/m ²)	Tiempo carga (días)	% de carga diario
3,000	8.00	12.50%
3,517	6.82	14.65%
4,000	6.00	16.67%
5,000	4.80	20.83%
6,000	4.00	25.00%
6,735	3.56	28.06%
7,000	3.43	29.17%
8,000	3.00	33.33%
9,000	2.67	37.50%
10,000	2.40	41.67%

El valor de tiempo de carga, se calcula con base a la energía solar de la primera columna, dividido la capacidad nominal de la batería (100 Ah). El segundo valor de energía solar, 3,517 Watt*hora/m², es el valor más bajo de radiación promedio por mes. El valor promedio de energía de radiación promedio en los años de medición, es de 6,735 Watts*hora/m². Estos son datos relevantes que nos muestran un valor cercano al real. En este, se tiene un tiempo de carga de ocho días. Inicialmente, se pusieron diez días como máximo tiempo de autonomía, por lo que nos asegura que nunca se va a quedar sin energía, con los valores medidos en la ciudad de Guatemala. Este valor aparenta ser alto, pero en la tabla a continuación, se muestra cómo se comporta si el panel tuviera el valor de potencia nominal anterior, que sería de 25 Watts.

Tabla 24- Tabla de tiempos de carga de batería, con panel de 25 Watts/m²

Energía solar (Watt*hora/m²)	Tiempo carga (días)	% de carga diario
3,000	16.00	6.25%
3,517	13.65	7.33%
4,000	12.00	8.33%
5,000	9.60	10.42%
6,000	8.00	12.50%
6,735	7.13	14.03%
7,000	6.86	14.58%
8,000	6.00	16.67%
9,000	5.33	18.75%
10,000	4.80	20.83%

Esto muestra, que en el mes más bajo tardaría hasta 14 días para cargar por completo la batería, por lo que habrían días en que la batería se descargaría por completo, lo cual es algo inaceptable. Para asegurar de una manera más fuerte que el panel pueda cumplir con los requisitos del problema, se realiza una simulación con los valores de radiación promedio mensuales en Guatemala del Anexo 3 – Simulaciones de carga y consumo.

Esta simulación consiste en generar un valor de radiación diaria, usando el valor promedio de radiación de la Tabla 74– Energía de radiación mensual en Guatemala (Watt*hora/m²) y Tabla 75– Energía de radiación mensual 2 en Guatemala (Watt*hora/m²) según la fecha, más un valor máximo de radiación en Watts*hora/m² por día por un número aleatorio. Este valor de radiación, le suma energía al sistema, y se resta con el consumo de energía diario del sistema. Por último, se realiza un conteo donde la carga de la batería es crítica (menor al 50% de la capacidad) y también cuantos días el sistema se quedó sin energía. Se presentan a continuación, los datos ingresados para hacer la simulación.

Tabla 25- Valores a ingresar en simulación de carga y descarga

Batería (Ah)	Desviación (Watt*hora/m²)	Consumo (Watt*hora)	Potencia (Watt)
100	8000	17	50

Los resultados que se obtienen de la simulación, son:

Tabla 26- Resultados de simulación de carga y descarga

Descargo (días)	Descarga completa (días)	Critico (días)
1086	0	18

A continuación, se presenta una tabla donde se muestran las primeras casillas de la simulación, luego se realiza la descripción de cada campo, para poder entenderla. No se presentan todos los datos, debido a la cantidad muy alta de éstos, únicamente se muestran los resultados en el Anexo 3 – Simulaciones de carga y consumo.

Tabla 27- Ejemplo de simulación de carga y descarga

Fecha	Energía solar (W*h/m ²)	Corriente entregada (Ah)	Corriente almacenada (Ah)	Descargo	Sin Carga	Crítico
			100			
01/01/95	5051	4	100	NO	NO	NO
02/01/95	3206	-4	96	SÍ	NO	NO
03/01/95	6045	8	100	NO	NO	NO
04/01/95	5898	8	100	NO	NO	NO
05/01/95	2086	-8	92	SÍ	NO	NO
06/01/95	6304	9	100	NO	NO	NO
07/01/95	6287	9	100	NO	NO	NO
08/01/95	4308	1	100	NO	NO	NO
09/01/95	1790	-10	90	SÍ	NO	NO
10/01/95	2096	-8	82	SÍ	NO	NO
11/01/95	2624	-6	76	SÍ	NO	NO
12/01/95	4470	2	78	NO	NO	NO
13/01/95	6456	10	88	NO	NO	NO
14/01/95	3253	-3	84	SÍ	NO	NO
15/01/95	2304	-7	77	SÍ	NO	NO
16/01/95	3509	-2	74	SÍ	NO	NO
17/01/95	6367	10	84	NO	NO	NO
18/01/95	2514	-7	77	SÍ	NO	NO
19/01/95	165	-16	61	SÍ	NO	NO
20/01/95	2216	-8	53	SÍ	NO	NO
21/01/95	2133	-8	45	SÍ	NO	SÍ
22/01/95	0	-17	28	SÍ	NO	SÍ
23/01/95	7500	14	42	NO	NO	SÍ

Continuación Tabla #27						
24/01/95	5520	6	48	NO	NO	SÍ
25/01/95	1811	-9	39	SÍ	NO	SÍ
26/01/95	6707	11	50	NO	NO	SÍ
27/01/95	685	-14	36	SÍ	NO	SÍ
28/01/95	2377	-7	29	SÍ	NO	SÍ
29/01/95	1874	-9	20	SÍ	NO	SÍ
30/01/95	4384	1	21	NO	NO	SÍ
31/01/95	2137	-8	13	SÍ	NO	SÍ

- Fecha: Esta columna, contiene las fechas de enero de 1995, hasta diciembre de 2010.
- Energía Solar: En esta casilla se busca el promedio de radiación del mes y año, y se le suma la variación establecida en la Tabla 25- Valores a ingresar en simulación de carga y descarga, multiplicada por un número aleatorio.

$$\text{Energía Solar} = \text{Radiación promedio} + \text{Random}(-.5, .5) * (\text{Variación})$$

- Energía entregada: La diferencia entre energía solar y el consumo diario, ingresado anteriormente.
- Energía acumulada: La energía que debería de tener la batería. No puede pasar de 100 Ah (capacidad de la batería) ni bajar de 0.
- Descargo: Determina si se descargó la batería ese día.
- Sin Carga: Determina si el sistema se descargó completamente, es decir, si se quedó sin energía.
- Crítico: Determina si la energía en la batería es crítica, si tiene menos del 50% de la capacidad.

Según los resultados de la simulación en Anexo 3 – Simulaciones de carga y consumo, se puede observar que con el panel de 50 Watts, se puede tener una carga de hasta 15 Ah, sin tener una pérdida de energía en ningún día, de los 16 años que se simuló esta prueba. Esto es aun cambiando la variación que puede haber todos los días en la simulación.

También se puede observar que al cambiar el panel a uno de 25 Watts, no puede soportar la carga de 10 Ah del sistema, y fallaría varias veces en los 16 años de simulación.

3. REGULADOR DE VOLTAJE. Para poder establecer un sistema eficiente de entrega de energía al sistema, se debe controlar cuándo cada elemento se acciona y cuando se desactiva. Se diferencian tres partes en el sistema: fuente de energía (panel solar), almacenamiento de energía (batería) y carga (sensores, control y comunicación). Se dan varias condiciones, para las cuales se tiene que controlar cuándo se conecta o desconecta todo módulo en el sistema. Estas son:

- El panel solar se conecta a la batería, sólo si el panel tiene un voltaje mayor a la batería. Es decir, el panel solar únicamente carga a la batería, si éste recibe radiación. Si el panel está conectado a la batería, y no está recibiendo radiación, se considera como una carga que consume energía.
- Si la batería ya está cargada al 100% de su capacidad, se debe desconectar del panel solar. Si el panel sigue entregando energía al sistema, y la batería está completamente cargada, puede reducir la vida de la batería.
- Si la batería ha llegado al valor de voltaje más bajo permitido, esta se debe ser desconectada de la carga para evitar una reducción de la vida de la batería.
- Debe haber protección contra corto circuito. Se interpreta como una corriente máxima, de lo contrario, debe ser desconectado.

Luego de establecer las limitaciones que debe tener el sistema, se usa un regulador de voltaje que cumpla con estas funciones. Los parámetros se presentan en la Tabla 28.

Tabla 28- Requerimientos del regulador de voltaje

Voltaje de batería	12 V
Corriente máxima del sistema	3 A
Voltaje de operación del sistema	12 V

Luego de tener listados los parámetros necesarios, se buscó en el mercado un regulador que cumpla con las funciones anteriores, y el indicado fue el regulador LS1024R. Este tiene las características siguientes.

Tabla 29- Especificaciones del regulador LS1024R

Voltaje del sistema	12/24 Vdc
Voltaje de batería	6-36 V
Corriente nominal	10 A
Reducción de voltaje en carga	<0.26 V
Reducción de voltaje en descarga	< 0.15V
Consumo	< 6 mA

El regulador tiene algunas funciones adicionales, las cuales no son necesarias para dimensionar este elemento. Una de ellas, es el control de temperatura. El regulador incluye un sensor de temperatura, el cual al llegar a cierta temperatura, desconecta entre sí todas las partes del sistema. Otra de las funciones útiles para el sistema, es que transmite la carga al sistema por medio de PWM. Este método envía un tren de pulsos de energía, con determinada frecuencia y amplitud, la cual ayuda a incrementar la vida de la batería. Por último, se debe tomar en cuenta la forma de conexión del sistema. Para conectar cada uno de los elementos al regulador, se debe usar un tipo de cable con determinado radio para poder soportar suficiente corriente sin calentar el cable. Se usa el criterio, según el manual del regulador, de usar cables de sección de 3 A/mm^2 . Se procede a encontrar el diámetro.

$$d = 2 * \sqrt{\frac{10 \text{ A}}{\pi * 3 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}}} = 2.06 \text{ mm}$$

Ecuación 28- Diámetro de cable

Por lo que, un cable de 2mm de diámetro, o área de 1 mm^2 como mínimo, nos asegura no tener problemas con este dispositivo.

C. RESULTADOS

1. PANEL SOLAR. El panel solar utilizado fue uno de 50 watts de potencia nominal. Se hicieron varias mediciones para poder medir la potencia entregada durante ciertos

días. Estas mediciones fueron realizadas entre septiembre y octubre del año 2011, para poder observar la cantidad de radiación que el panel solar pudo absorber.

Durante el día, el voltaje es variable para poder entregar la potencia eléctrica, según la absorbida en ese momento. Se puede deducir qué potencia tendrá el panel en ese momento de la siguiente forma.

$$V = I * R$$

Ecuación 29- Voltaje en función de resistencia

$$P = V * I = \frac{V^2}{R}$$

Ecuación 30- Potencia en función de resistencia

Luego se hicieron gráficas por cada día, obteniendo la curva solar diaria. Se posicionó el panel en una dirección horizontal, sin ningún ángulo de inclinación, y se obtuvieron las siguientes mediciones.

Tabla 30- Resultados de mediciones de radiación – panel horizontal

Día	Energía (Watts*hora)	Corriente (Ah)	Radiación (Watt*hora/m ²)
1	129.14	10.76	6457.22
2	240.62	20.05	12031.23
3	167.17	13.93	8358.68
4	183.82	15.32	9191.04
5	168.56	14.05	8428.06
6	211.17	17.60	10558.54
7	193.83	16.15	9691.60
8	82.25	6.85	4112.45
9	122.97	10.25	6148.66

Los resultados, se calcularon de la siguiente forma:

$$Energía = \sum_{t=0} Potencia\ Medida * (t_n - t_{n-1})$$

Ecuación 31- Energía en función de potencia

$$Corriente = \frac{Energía}{12 Vdc}$$

Ecuación 32- Corriente entregada

$$Radiación Absorbida = \frac{Energía}{50 \frac{W}{m^2}}$$

Ecuación 33- Radiación absorbida por el panel solar

Se presentan a continuación los datos estadísticos.

Tabla 31- Estadística descriptiva de los resultados de las mediciones (W*h/m²).

Promedio	Desviación estándar	Máximo	Mínimo
8330.83	1453.32	12031.23	12031.23

Luego, se hicieron mediciones similares a las anteriores, pero con el panel en movimiento, con la implementación del Módulo de Estructura, de la Estación Meteorológica. Las gráficas se presentan en el Anexo 4 – Gráficas de radiación diaria experimental, y se presenta el cuadro de resultados a continuación.

Tabla 32- Resultados de mediciones de radiación - panel en movimiento.

Día	Energía (Watts*hora)	Corriente (Ah)	Radiación (Watt*hora/m ²)
1.00	337.47	28.12	16873.73
2.00	146.31	12.19	7315.49
3.00	335.93	27.99	16796.52
4.00	101.52	8.46	5075.76
5.00	270.67	22.56	13533.74
6.00	366.54	30.55	18327.22

Al igual que los datos con el panel horizontal, se presentan los datos estadísticos del panel en movimiento.

Tabla 33- Estadística descriptiva de los resultados de las mediciones (W*h/m²).

Promedio	Desviación Estándar	Máximo	Mínimo
----------	---------------------	--------	--------

12987.08	2457.35	18327.22	18327.22
----------	---------	----------	----------

Por último, se calcula el porcentaje de incremento de energía con el panel móvil.

$$\%incremento = \frac{12987W * h/m^2 - 8330W * h/m^2}{8330W * h/m^2} * 100 = 55.91\%$$

Ecuación 34- Incremento en radiación

Este porcentaje de incremento llega a ser una aproximación, por los pocos datos que hay, de la energía que se puede recopilar.

2. CARGA. Luego de tener disponible por parte de los demás módulos de la estación meteorológica los elementos utilizados en cada uno, se presenta la tabla elementos eléctricos, junto con cuanto consume y por qué cantidad de tiempo.

Tabla 34- Elementos eléctricos utilizados en la Estación Meteorológica.

No.	Elemento	Voltaje (V)	Corriente (mA)	Tiempo (h)	Energía (W*h)
1	Motor diario	12	350	0.167	0.7
1	Motor anual	12	3200	0.083	3.2
5	Micro controladores	5	50	24	6
1	Sensor temperatura	5	1.5	24	0.18
1	Sensor radiación	5	3	24	0.36
1	Integrador de sensores	12	200	24	57.6
1	Acelerómetro	5	0.35	24	0.042

Por medio de esta tabla, se obtuvo un total de 5.42 Ah diarios. Es mucho menos de lo diseñado, pero se debe a que falta el módulo de comunicación, el cual en esta fase no se llevó a cabo.

D. DISCUSIÓN

Con las mediciones del panel solar, se puede observar que las mediciones, en promedio están mucho más arriba de los 10Ah para los cuales se diseñó en un inicio. Así también, se puede observar como incrementa de una mayor forma la absorción de energía haciendo uso del seguidor de Sol con el panel solar, el cual fue superior al

55%. Esto, justifica en términos energéticos, la realización del módulo de estructura, con el seguidor solar.

Para el funcionamiento normal, la batería pudo haber sido dimensionada con una capacidad más baja, según la simulación de los datos. Pero en este caso, al ser una estación meteorológica independiente, se tomó en cuenta que ésta pueda ser una estación remota en la cual el acceso a la estación no se pueda lograr fácilmente, y se necesitan tener días de autonomía del sistema, en caso que el panel se llegara a desconectar del sistema, existan fenómenos naturales, como huracanes, o haya algún problema con este y no pueda entregar energía. Así mismo, se tomó en cuenta lo que puede consumir el módulo de comunicación, y aun así tener días de autonomía.

Por lo que, con base a los resultados presentados, se puede asegurar que el sistema de alimentación proporcionará en todo momento energía a la estación meteorológica.

V. CAPÍTULO 3 – MÓDULO DE ESTRUCTURA

A. MARCO TEÓRICO

1. TIPOS DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS. Un gran número de configuraciones pueden ser implementadas en las estaciones meteorológicas, dependiendo del número y tipo de sensores a utilizar, el tipo de alimentación que se utilizará y el tipo de estación que se desea. Entre los principales tipos de estaciones se encuentra la estación fija y la estación móvil.

Una estación fija es la que se encuentra en un lugar determinado y que no se puede mover debido a que sus bases se encuentran fijas en la superficie. Normalmente se utilizan cables de tensión para poder evitar cualquier pandeo provocado por el viento, ya que por lo general estas estaciones tienen una altura considerada. Este tipo de estación cuenta con la ventaja de ser ideal para el estudio de un lugar específico, ya que puede estar recopilando datos en cualquier momento y tener acceso al estado del tiempo en el momento que se desee. También se cuenta con un historial bastante amplio para tratar de realizar modelos que puedan predecir el comportamiento del clima. La Figura 32- Estación meteorológica fija [16] muestra una estación meteorológica fija.

Figura 32- Estación meteorológica fija [16]



Una estación móvil es una estación que tiene la capacidad de ser transportada de un lugar a otro debido a su tamaño y a sus características. Este tipo de estación cuenta con la ventaja de poder hacer recopilaciones rápidas y en distintos lugares. Por lo general su estructura es de un tamaño muy compacto y desarmable para facilitar el movimiento de la misma. La Figura 33 muestra una estación meteorológica móvil.

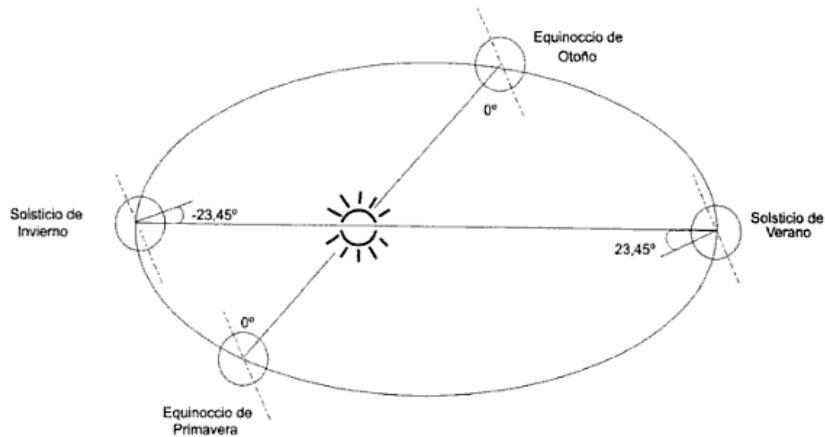
Figura 33- Estación meteorológica móvil[25]



Estas categorías se pueden subdividir en estaciones automátatas y no automátatas. Las estaciones automátatas son las que se proveen de energía por medio propio, utilizando diversos tipos de medios, por ejemplo la utilización de paneles solares para utilizar energía solar o la utilización de generadores eólicos para utilizar energía eólica. Las estaciones no automátatas son las que necesitan de alimentación directa a través del sistema eléctrico para poderse proveer de energía.

2. POSICIÓN DEL SOL. Uno de los principales factores que determina la incidencia de la radiación solar sobre un panel solar es el movimiento aparente del Sol a través de la bóveda celeste a lo largo del día y del año. La Tierra sigue una trayectoria elíptica a través del Sol con una excentricidad del 3%. La línea imaginaria que representa la órbita descrita se llama eclíptica. En su movimiento de traslación, el eje de rotación terrestre forma un ángulo de 23.45 grados con la perpendicular al plano de la eclíptica. El ángulo que forma el plano de la eclíptica con el plano del ecuador varía a lo largo del año. Este ángulo se muestra en la Figura 34.

Figura 34- Angulo entre el plano de la eclíptica con respecto al ecuador[43]



Para que el aprovechamiento del Sol sea óptimo, es necesario que los ángulos de incidencia sean de forma perpendicular al sistema. Al mediodía solar las líneas que describe el Sol en su recorrido por la bóveda celeste alcanzan su punto más alto. Además del movimiento diario solar se encuentra un segundo movimiento aparente, que es el movimiento solar por día del año. La posición del Sol se puede representar en dos sistemas de coordenadas, las coordenadas horarias y las coordenadas horizontales.

3. COORDENADAS HORARIAS. Las coordenadas horarias son un tipo de coordenadas que se utilizan para localizar un punto en la bóveda celeste que depende de la ubicación del observador. Para esto se utilizan los paralelos celestes y los círculos horarios. Se determina por dos coordenadas las cuales son el ángulo horario y la declinación.

El ángulo horario (ω) es la distancia angular medida hacia el oeste sobre el ecuador celeste, desde el meridiano hasta el círculo horario que pasa a través de un astro.[6] El ángulo horario empieza con el valor de 0 grados a las 12 del mediodía y aumenta 15 grados por cada hora transcurrida. El ángulo horario disminuye 15 grados por cada hora anterior a las 12 del mediodía. Por ejemplo si son las 11 de la mañana ω tiene el valor de -15 grados, y si es la 1 de la tarde ω tiene el valor de 15 grados.

La declinación (δ) es la posición angular del Sol al mediodía solar con respecto al plano del Ecuador terrestre. Esta coordenada no depende de la hora del día si no que solo depende del día del año. La declinación solar depende de la latitud en la que se encuentra el observador. Este ángulo varía entre -23.45 el día del solsticio de invierno y 23.45 el día del solsticio de verano. Para calcular este ángulo se utiliza la Ecuación 35.

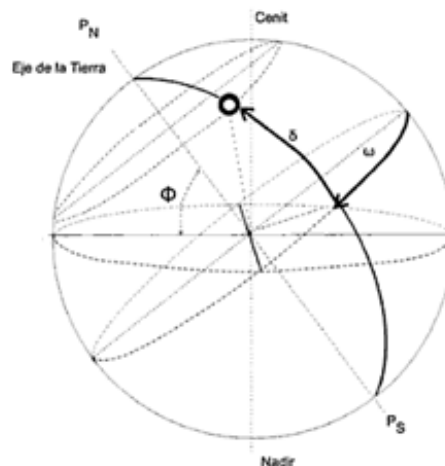
$$\delta = 23.45 * \sin\left(\frac{360 * (284 + J)}{365}\right)$$

Ecuación 35- Cálculo de la declinación solar [10]

En donde δ es el ángulo de declinación y J es el día del año en donde el 1 de enero es el día 1 y el 31 de diciembre es el día 365 o 366. Para saber la declinación exacta del lugar se le debe restar el valor de la latitud del lugar en grados al valor de la ecuación anterior, tomando como punto inicial la línea normal al norte-sur y aumentando los grados hacia el norte. Esta resta se debe a la posición de Guatemala. La

Figura 35 muestra la representación de las coordenadas horarias en el globo terrestre.

Figura 35- Coordenadas horarias [43]



4. SISTEMAS DE SEGUIMIENTO SOLAR. Para aumentar la captación de la radiación solar se implementan varios sistemas, teniendo como principales los que dependen del soporte en el que se encuentra el panel solar. Existen tres tipos de soportes; soporte estático, soporte con seguimiento solar en un eje y soporte con seguimiento solar en dos ejes.

El soporte estático es el más utilizado en la actualidad, el panel solar permanece en una base fija sin movimiento, y la inclinación se debe realizar dependiendo de la latitud del lugar y de la aplicación que se desee. Se puede mejorar el desempeño de éste, realizando un cambio de inclinación dependiendo de la fecha del año. Aunque es el más utilizado no es el óptimo para la captación de la energía solar.

El sistema de soporte con seguimiento solar en un eje se emplea para darle seguimiento al Sol en una sola dirección. La rotación se hace por medio de un eje que puede ser horizontal, vertical u oblicuo. La desventaja es que solo puede seguir al Sol en un movimiento anual o un movimiento diario. Se logra mejorar la captación solar con respecto al sistema estático.

El sistema de soporte con seguidor solar en dos ejes es el sistema óptimo, esto se debe a que la estructura tiene dos grados de libertad, los cuales hacen que el panel solar pueda rotar dependiendo de la hora del día y del día del año. Esto hace que la mayoría del tiempo la radiación solar incida perpendicularmente sobre el panel solar, obteniendo la mayor captación posible.

Para poder seguir el movimiento del Sol se emplean distintos métodos, entre los cuales se encuentran los sistemas mecánicos y los de ajuste automático. Los sistemas mecánicos se realizan por medio de motores y sistemas de reducción de potencia, basándose en la exactitud del movimiento diario y en el conocimiento del mismo, ya que se sabe que cada hora se rota aproximadamente 15 grados y anualmente la inclinación del Sol cambia en 47 grados aproximadamente. El movimiento debe de ser muy preciso para poder obtener un buen desempeño.

El movimiento por ajuste automático se da por medio de la utilización de sensores que detectan cuando la radiación no incide perpendicularmente sobre el panel solar, corrigiéndose la posición por medio de actuadores. Los sensores proporcionan una retroalimentación la cual es la encargada de hacer funcionar los actuadores hasta que se dé el movimiento deseado. A este tipo de sistemas en los que se tiene como fuente de decisión la retroalimentación se les conoce como sistemas de lazo cerrado.

5. ACTUADORES PARA POSICIONAMIENTO SOLAR. Para poder posicionar adecuadamente el panel solar, se deben de utilizar métodos que ayuden al mismo, utilizando actuadores para realizar el movimiento deseado. Existen muchos tipos de actuadores que van a depender de la forma en cómo se controlan, la alimentación que consume, la precisión del movimiento y el torque que puede entregar.

Los actuadores más comunes en este tipo de aplicaciones son los motores que se alimentan por corriente directa (DC), teniendo como ejemplos; el motor paso a paso, servomotores y los motores que se alimentan directamente de corriente directa (motores DC). Cada uno de estos tiene características distintas y ventajas uno en contra de otro.

Un motor de corriente continua es un motor que convierte energía eléctrica en energía mecánica por medio de la interacción de una corriente eléctrica y un campo magnético. Se genera un campo electromagnético el cual hace que se produzca un torque y haga rotar el rotor del motor. El motor gira dependiendo de la dirección de la corriente que se le está aplicando. Debido a esto, no es posible hacer que el motor cambie de dirección sin intercambiar los cables de alimentación o con la implementación de un controlador especial. El controlador que por lo general se utiliza en los motores DC es conocido como puente H. Este controlador, por medio de la polarización de transistores NPN y PNP, logra cambiar la dirección de giro del motor de una manera sencilla. Entre las principales características de un motor DC convencional se encuentran: facilidad de control por medio de un puente H, bajo consumo de corriente, mala precisión de movimiento y torque bajo.

Un motor paso a paso es un motor que puede dividir una rotación completa en un largo número de pasos convirtiendo pulsos digitales en rotaciones del eje. La posición del motor puede ser controlada sin ninguna retroalimentación, ya que cada paso representa un desplazamiento angular fijo. Entre sus principales características se tiene; precisión del movimiento y repetibilidad, alto torque a velocidades pequeñas, consumo considerable de corriente.

Un servomotor DC es un motor de corriente continua que cuenta con retroalimentación. Este motor cuenta con la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación y logra mantenerse estable en dicha posición mientras los pulsos de control se envíen. Se controla por medio de una señal cuadrada de entrada, en donde dependiendo del ancho del pulso que se le envíe, este se mueve a la posición asignada. Entre sus principales características se encuentran: precisión alta del movimiento, limitación del movimiento dependiendo de su rango de operación, bajo torque y consumo considerable de corriente.

6. CONCEPTOS IMPORTANTES DE MATERIALES DE INGENIERÍA. Uno de los conceptos que se debe tomar con gran consideración a la hora de realizar un diseño, es el material a utilizar. El material determina la calidad, la durabilidad y la resistencia del elemento que se está considerando. Existen alrededor de 50,000 materiales disponibles para la ingeniería, por lo que dependiendo de las características que se desean se debe de seleccionar adecuadamente el material que cumple con esas características.

a. MATERIALES DÚCTILES. Los materiales pueden clasificarse como dúctiles o frágiles dependiendo de sus características esfuerzo-deformación unitaria. Un material dúctil es todo material que pueda estar sometido a deformaciones unitarias grandes antes de su rotura. Estos materiales son capaces de absorber impactos o energía y, si sufren sobrecarga, exhibirán normalmente una deformación grande antes de su falla. [41]

Una manera de determinar la ductilidad de un material es tomar en cuenta su porcentaje de elongación en el momento de la fractura (ϵ_f). Los materiales se

clasifican como dúctiles cuando $\epsilon_f \geq 0.05$ y cuando tiene una resistencia a la fluencia identificable que a menudo es la misma en compresión que en tensión. [10]

El punto de fluencia es un punto en el que la deformación unitaria comienza a crecer muy rápidamente sin que se observe un incremento correspondiente en el esfuerzo. Este punto se observa bien en los materiales dúctiles, ya que tienen la propiedad de deformarse bastante. La resistencia a la que se llega en ese punto se le conoce como resistencia a la fluencia (S_y).

b. EL ALUMINIO Y SUS PROPIEDADES. El aluminio es el segundo metal más abundante sobre la Tierra y siempre se presenta en estado combinado, siendo uno de los materiales de ingeniería más ampliamente utilizado y económico. Esto se debe a que posee una combinación de propiedades que lo convierten en un material extremadamente útil. Las aplicaciones se suman por millones, incluyendo botes de bebidas, aplicaciones domésticas, equipo para procesos químicos, componentes mecánicos. [7]

El aluminio puro tiene una densidad de 2.7 g/cm^3 , es decir la tercera parte de la densidad del acero y un módulo de elasticidad de $10 \times 10^6 \text{ psi}$. Tiene resistencia a la tensión baja en comparación con el acero, pero su relación resistencia peso es excelente. Se utiliza este metal cuando el peso es un factor importante. Las propiedades físicas benéficas del aluminio son alta conductividad eléctrica y térmica, comportamiento no magnético y excelente resistencia a la oxidación y a la corrosión. [7]

c. CORROSIÓN. La corrosión se puede definir como el deterioro de un material como resultado de un ataque químico de su entorno, en donde la velocidad depende en cierta medida de la temperatura y de la concentración de reaccionantes y productos, así como el esfuerzo mecánico, la erosión el agua y el ambiente. La corrosión en materiales metálicos se da en gran parte por ataques electroquímicos, ya que los metales poseen electrones libres que son capaces de construir celdas electroquímicas en su interior. [76]

Una de las ventajas con que cuenta el aluminio es que tiene una alta resistencia a la corrosión, esto se debe a que el aluminio reacciona ante el oxígeno, incluso a temperatura ambiente, para producir una capa delgada de óxido de aluminio, la cual protege al material para que no suceda el proceso de corrosión. [7]

d. ALEACIONES DEL ALUMINIO. A pesar de que el aluminio puro tiene poca resistencia, puede ser aleado hasta alcanzar una gran resistencia. En la Tabla 35 se muestran los principales componentes que se utilizan como aleación para mejorar las propiedades del aluminio sin afectar las propiedades que ya tiene.

Tabla 35- Aleaciones del aluminio [93]

Principal aleante	Designación	Tratamiento térmico
Aluminio puro	1xxx	No tratable
Cobre (Cu)	2xxx	Tratable
Manganeso (Mn)	3xxx	No tratable
Silicio (Si)	4xxx	No tratable
Magnesio (Mg)	5xxx	No tratable
Magnesio y silicio	6xxx	Tratable
Zinc (Zn)	7xxx	Tratable
Otras aleaciones	8xxx	-----
Reservado	9xxx	-----

Según la designación que se muestra en la tabla anterior el primer dígito indica el principal aleante, el segundo dígito indica las modificaciones que se le han realizado a la aleación, sabiendo que cuando el dígito es cero no se ha realizado ninguna modificación y es la aleación original. Los últimos dos dígitos no tienen significado especial pero se utilizan para identificar las diferencias de las aleaciones en el grupo.

Las ventajas que se obtienen con las aleaciones van a depender de cuál es la aleación que se realizó, por ejemplo el zinc (Zn) aumenta la resistencia a la corrosión, el magnesio (Mg) produce alta resistencia tras el conformado en frío y el silicio (Si) combinado con magnesio logra mayor resistencia mecánica. La serie 6xxx está compuesta por silicio y magnesio en proporciones tales que se obtiene silicato de

magnesio, haciendo que esta aleación pueda ser tratada térmicamente. Esto mejora de una gran manera la resistencia mecánica. [93]

Entre los tratamientos térmicos que se realizan al aluminio se encuentra el templado. Existen dos procesos de temple; el tratamiento térmico de solución y el templado con posterior envejecimiento. Los temples básicos se designan con las letras W, H y T seguidos por un número o dos refiriéndose a las subdivisiones. El temple se realiza enfriando bruscamente el material hasta llevarlo a temperatura ambiente, mejorando sus propiedades. Para aumentar aún más sus propiedades, a partir de temples estables, se suele realizar endurecimiento por precipitado o envejecimiento que consisten en la precipitación de partículas de material de la aleación, ya sea a temperatura ambiente o a temperatura controlada. Estos tratamientos se indican con la letra T seguida de uno o dos dígitos que tienen relación con el tipo de envejecimiento. [93] Por ejemplo el T5 es un templado que es enfriado desde su temperatura de fabricación y envejecido artificialmente, en cambio el T6 es un templado tratado por solución y envejecido artificialmente.

7. CONCEPTOS IMPORTANTES DE MECÁNICA. La mecánica es la parte de la ingeniería que es la encargada de estudiar a los cuerpos en estado de reposo, en movimiento o conocer las causas que lo producen. Es la encargada de optimizar las formas en que se está transmitiendo la energía y hacer que las fuerzas que están actuando no sean superiores a la resistencia del cuerpo. Existen varios conceptos que ayudaran a entender de una mejor manera cada uno de los puntos mencionados anteriormente.

a. MECANISMO DE CUATRO BARRAS. Un mecanismo es una combinación de cuerpos resistentes conectados por medio de articulaciones para formar una cadena cinemática cerrada con un eslabón fijo y cuyo propósito es transferir el movimiento.[68]

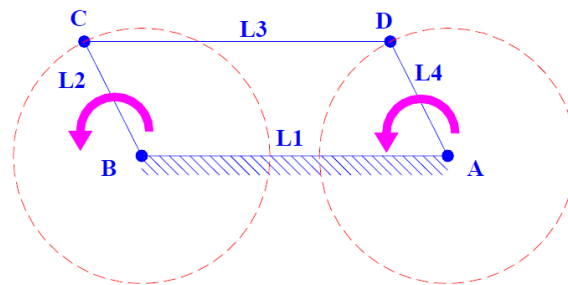
En un mecanismo las articulaciones se denominan juntas y los cuerpos resistentes eslabones. En un mecanismo de cuatro barras al eslabón fijo se le conoce como tierra, al eslabón que impulsa el movimiento se le llama eslabón de entrada, al eslabón que da el movimiento de salida se le llama eslabón de salida y al eslabón que

une el de entrada con el de salida eslabón de unión. El comportamiento que se da cuando rota un mecanismo de cuatro barras se puede predecir por medio de la condición de Grashof, la cual solo necesita saber la longitud de los eslabones que conforman el mecanismo y con esto se puede saber el tipo de movimiento que puede realizar.

Sea S la longitud del eslabón más pequeño, L la longitud del eslabón más grande y P y Q los eslabones restantes, la condición de Grashof dice que; Si $S+L < P+Q$ el mecanismo es Grashof y al menos uno de los eslabones tiene la capacidad de realizar una rotación completa con respecto al plano de tierra. Se le conoce como un mecanismo Grashof Clase I. Si no se cumple la desigualdad el mecanismo es no Grashof y ningún eslabón puede dar una revolución completa. Se le conoce como mecanismo Clase II. El caso especial se da cuando $S+L = P+Q$, a este tipo de mecanismo se le puede conocer como Clase III, y tiene la particularidad que cuando todos los puntos están colineales existe la posibilidad de que pueda cambiar de dirección. El comportamiento en estos puntos no se puede predecir.[60]

Un ejemplo de este tipo de configuración es el paralelogramo articulado, en donde los eslabones opuestos tienen las mismas medidas. Los dos eslabones que están en contacto con el eslabón de tierra se comportan como manivelas. Este sistema se utiliza cuando se desea que se mantenga un paralelismo en distintas partes del sistema, se tiene la misma velocidad de entrada que de salida y las ventajas mecánicas no cambian en ningún sentido. La Figura 36 muestra un mecanismo paralelogramo articulado.

Figura 36- Paralelogramo articulado [93]



b. ANÁLISIS DE UN CUERPO SOMETIDO A CARGAS ESTÁTICAS. A la hora de realizar un análisis en un cuerpo sometido a cargas estáticas se deben de considerar muchos factores, teniendo como principal la resistencia del material que se desea utilizar en cada uno de los elementos que se están diseñando y la ubicación de cada una de las cargas que afectan al cuerpo.

La resistencia es una propiedad de un elemento mecánico que depende del material y el proceso con que fue hecho. Es la capacidad que tiene un elemento para resistir la acción de las fuerzas. Una carga estática es una fuerza estacionaria o un par de torsión que se aplica a un elemento. Ésta no debe cambiar su magnitud, el punto de aplicación y su dirección. El esfuerzo es la distribución de fuerza que actúa en un punto, el cual es una función de la carga, la geometría, la temperatura y el proceso de manufactura. [10]

Al ser un cuerpo sometido a cargas tiene la posibilidad de que su resistencia sea menor al esfuerzo, por lo que se genera una falla en el cuerpo. Falla es la separación en dos o más piezas o la distorsión permanente de un cuerpo al ser sometido por un esfuerzo mayor a su resistencia. Esto se debe evitar en cualquier lugar del elemento, ya que si esto ocurre el diseño está mal.

Para reconocer en dónde pueden ocurrir estas fallas se toman en consideración los puntos en donde se dan concentraciones de esfuerzos. Las concentraciones se dan por lo general en cualquier discontinuidad del elemento, en hombros o cambios de secciones abruptas.

En el diseño se utiliza un factor que es determinante para saber si ocurre o no la falla. Se le conoce como factor de diseño, siendo éste el cociente entre la resistencia del material y el esfuerzo calculado que se tiene en un punto en específico. Este número debe ser siempre mayor que uno, ya que si no se cumple esto quiere decir que el esfuerzo es mayor a la resistencia del material y se tiene una falla. Por lo general se dan como valores aceptados factores de seguridad entre 1.6 y 3 como valores mínimos.

Existen muchas teorías que ayudan a determinar si el elemento puede llegar a fallar dependiendo de las cargas estáticas a las que se está sometiendo, en donde depende en gran manera de si el material del elemento es frágil o dúctil.

c. TEORÍA DE LA ENERGÍA DE DISTORSIÓN PARA MATERIALES DÚCTILES. La teoría de la energía de distorsión es uno de los criterios más utilizados para determinar si un elemento puede llegar a fallar o no en los materiales dúctiles.

Esta teoría dice que la falla ocurre cuando la energía de deformación total por unidad de volumen alcanza o excede la energía de deformación por unidad de volumen correspondiente a la resistencia a la fluencia en tensión o compresión del material. [10]

La teoría de la distorsión permite que un estado de esfuerzos pueda representarse con un solo esfuerzo equivalente también conocido como el esfuerzo de von Mises (σ').

Este esfuerzo equivalente puede compararse entonces con la resistencia a la fluencia y la resistencia a la fatiga para ver si no se ha sufrido falla en el elemento.

Al conocer este esfuerzo y el material que se está utilizando se puede llegar a determinar el factor de diseño, representado en la Ecuación 36.

$$\sigma' = \frac{S_y}{n}$$

Ecuación 36- Relación factor de diseño y esfuerzo de Von Mises [10]

En donde σ' es el esfuerzo de von Mises, S_y es el esfuerzo de fluencia y n es el factor de seguridad.

d. ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS. Los componentes mecánicos se pueden analizar por medio de métodos básicos de la mecánica que proporcionan soluciones aproximadas. Sin embargo, los componentes reales rara vez son tan sencillos, y se tiene que realizar aproximaciones menos eficaces. En diseño mecánico, donde el

software de diseño asistido por computadora se utiliza de manera considerable, el método de análisis utilizado es el análisis de elementos finitos (FEA por sus siglas en inglés). Existe una gran cantidad de aplicaciones del FEA tales como; análisis estático y dinámico, análisis de esfuerzo y de deflexión, etc. [10]

Un componente mecánico real es una estructura elástica continua, en donde el FEA discretiza la estructura en pequeñas subestructuras de tipo elástico, bien definidas pero finitas. Al emplear funciones polinomiales, en conjunto con operaciones matriciales, el comportamiento elástico continuo de cada elemento se desarrolla en términos del material y las propiedades geométricas del elemento. Las cargas se pueden aplicar dentro del elemento, en la superficie del elemento o en los nodos del mismo.[10]

Los nodos son las entidades fundamentales de gobierno del elemento, en la medida en que el nodo es donde se conecta un elemento con los otros, donde finalmente se establecen las propiedades elásticas de los mismos y donde se aplican las fuerzas. Un nodo posee grados de libertad, los cuales son los movimientos independientes de rotación y traslación que pueden existir. Como máximo, un nodo puede tener tres grados de libertad rotacionales y tres traslacionales. Cuando cada nodo se encuentra definido en forma matricial, los elementos se ensamblan globalmente a través de sus nodos en común en una matriz global del sistema. Las cargas aplicadas se especifican entonces y mediante operaciones matriciales se determinan los valores de todos los grados de libertad de desplazamiento desconocidos. Una vez que se ha realizado esto, es algo simple hacer uso de estos desplazamientos para determinar las tensiones y esfuerzos por medio de las ecuaciones obtenidas. [10]

e. FLECHAS Y EJES. Una flecha es un elemento rotatorio, por lo general de sección transversal circular, que se emplea para transmitir potencia o movimiento, constituyendo el eje de rotación u oscilación de elementos como engranes, poleas, manivelas, catarinas, etc. Un eje es un elemento no giratorio que no transmite par de torsión y que se utiliza para soportar ruedas giratorias. [10] Por facilidad se usará él

término eje para referirse a una flecha, ya que es el término utilizado en el ámbito mecánico.

La configuración de un eje para acomodar los elementos que lo conforman, debe especificarse en los primeros pasos del proceso de diseño, esto se debe de realizar para poder encontrar lugares críticos y hacer su dimensionamiento. Por lo general un eje es un cilindro escalonado, con hombros para dividir las secciones en donde se encuentran cada uno de los componentes y para poder fijarlos adecuadamente. Un hombro también proporciona un soporte sólido para minimizar la deflexión y vibración del componente. Además de los hombros se utilizan tornillos de fijación, cuñas y pasadores y anillos de retención para evitar el movimiento de los componentes a los que se les va a transmitir el movimiento o el par de torsión a través del eje.

Existen varias consideraciones que ayudan al diseño de un eje, por ejemplo resulta mejor apoyar los componentes que soportan carga entre cojinetes, en lugar de colocarlos en voladizo, ya que las fuerzas de reacción se dividen en lugar de tener solo una en voladizo. Los ejes no deben de ser largos, esto para minimizar los momentos flexionantes y las deflexiones. Se debe considerar el método de ensamblado de los componentes en el eje, por lo general se hace que el diámetro en el centro del eje sea el más grande y los diámetros sean más pequeños progresivamente hacia el exterior.

Al realizar el análisis de un eje es suficiente considerar los esfuerzos resultantes en ubicaciones críticas. Estas ubicaciones por lo general se localizan en la superficie exterior, en ubicaciones axiales donde el momento flexionante es grande, donde el par de torsión está presente o donde existen concentraciones de esfuerzos. [10]

f. COJINETES. Un cojinete es un elemento de sustentación que sirve como punto de apoyo por lo general de ejes para que puedan girar libremente y reducir la fricción entre el eje y el punto de apoyo. Estos se fabrican para que puedan soportar cargas radiales puras, cargas axiales o la combinación de ambas. Un cojinete se compone de cuatro partes; anillo interno, anillo externo, bolas o elementos rodantes y el separador. Existen varios tipos de cojinetes; cojinetes de bolas, cojinetes de rodillos

cónicos, cojinetes de aguja, etc. Dependiendo de la aplicación deseada se selecciona el cojinete a utilizar. El tipo de cojinete más utilizado es el cojinete de bolas [10].

Cuando rotan las bolas de los cojinetes, se desarrollan esfuerzos de contacto en el anillo interior, en las bolas y en el anillo exterior. Como la curvatura de los elementos en contacto en la dirección axial es diferente a la curvatura de la dirección radial, las ecuaciones de los esfuerzos son muy complicadas. Se ha comprobado que si el cojinete se utiliza adecuadamente, la única causa de falla que puede existir es la fatiga del metal. Las medidas para determinar la vida del cojinete son: el número de revoluciones del anillo que gira y el número de horas de uso a una velocidad angular estándar. [10]

Para seleccionar el cojinete adecuado, se utiliza la relación que existe entre la carga - vida y confiabilidad, y la representación de cargas combinadas axiales y radiales que actúan sobre el cojinete. La relación carga-vida y confiabilidad se representa con la Ecuación 37.

$$C_{10} = a_f * F_d * \left[\frac{X_d}{X_0 + (\theta - X_0)(1 - R)} \right]^{1/a}$$

Ecuación 37- Relación carga-vida y confiabilidad [10]

En donde C_{10} es la carga dinámica, a_f es el factor de aplicación, F_d es la carga deseada, X_d es la variante adimensional de la medida, X_0 es el valor garantizado de la variable, θ es el valor característico que corresponde al 63.2121 del percentil, R es la confiabilidad y a es un valor obtenido por ensayos dependiendo del tipo de cojinete seleccionado. Los valores de X_0 y θ son proporcionados por el fabricante, a_f depende de la aplicación deseada, R la confiabilidad deseada y X_d se define por la Ecuación 38.

$$X_d = \frac{L_d n_d 60}{L_r n_r 60}$$

Ecuación 38- Variante adimensional de la vida [10]

En donde L_d es el número de horas deseadas de vida, n_d son las revoluciones a las que gira el cojinete y, L_r y n_r son valores nominales proporcionados por el fabricante.

Al obtener este valor se hace comparación con tablas que son proporcionadas por el fabricante, y que nos ayudan a definir si el cojinete seleccionado es el indicado.

Este análisis se considera solo cuando fuerzas radiales están actuando, por lo que se tiene que hacer alguna relación entre la fuerza axial y la fuerza radial para obtener una fuerza equivalente. La relación se presenta en la Ecuación 39.

$$F_e = X_i V F_r + Y_i F_a$$

Ecuación 39- Fuerza equivalente [10]

En donde F_e es la fuerza equivalente, F_r es la fuerza radial, F_a es la fuerza axial, V es el factor de rotación y X_i e Y_i son valores que dependen de tablas proporcionadas por el fabricante. Al encontrar esta fuerza equivalente, se sustituye en la Ecuación 37 por F_d y se calcula nuevamente C_{10} , en donde este valor debe ser menor al C_{10} de la tabla del fabricante para que el cojinete sea el indicado.

B. METODOLOGÍA

Debido a que el módulo de estructura cuenta con dos objetivos completamente distintos, no es posible definir una metodología general para estos. Es por esto que se incluye para cada uno de ellos un diseño experimental, siendo siempre dependientes entre sí. En la Figura 37 se presenta un diagrama de bloques de las etapas que se tuvieron que realizar por separado, siendo siempre dependientes entre sí.

Figura 37- Diagrama de bloques del módulo de estructura



En los siguientes capítulos se profundizará más acerca de la descripción de cada uno de los bloques que se mencionaron anteriormente, explicando los métodos y los cálculos realizados, los resultados obtenidos y la discusión de los mismos. En la discusión se explicará el motivo de las decisiones tomadas en el diseño experimental.

C. RESULTADOS

1. POSICIÓN Y ORIENTACIÓN DEL PANEL SOLAR. Este capítulo explica detalladamente la primera etapa del módulo de estructura. Se explica a detalle la forma que se realizó para saber cuál es la posición en la que el Sol se mueve a través de la bóveda celeste en Guatemala, cuál es la orientación que debe tener y los grados de libertad del panel solar.

a. DISEÑO EXPERIMENTAL. En este trabajo el primer paso importante fue investigar acerca de los tipos de seguimiento solar que existen. Los tipos de seguimiento solar se clasifican por los grados de libertad disponibles, siendo el de posición fija (grado de libertad 0) el más utilizado aunque no es el óptimo. Para poder optimizar la captación de energía solar por un panel se debe hacer que el Sol incida de forma perpendicular al panel. Esto se llega a lograr teniendo un panel solar móvil. Se seleccionó un seguidor que tuviera dos grados de libertad para lograr optimizar la percepción del Sol.

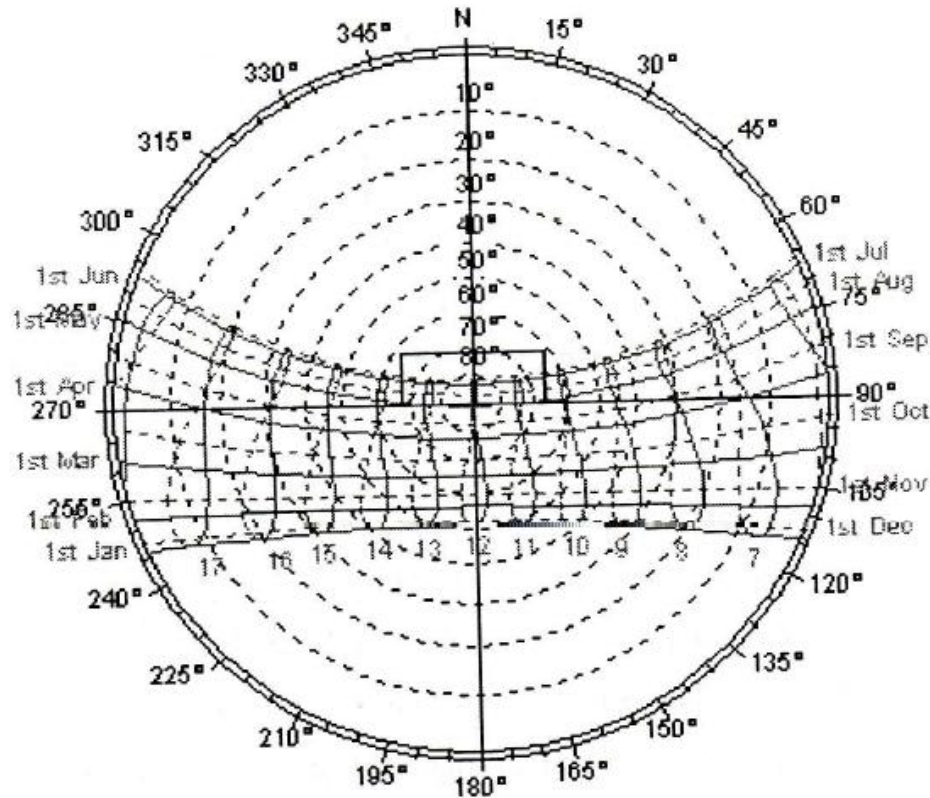
Contando con la cantidad de grados de libertad a implementar, se investigó acerca del posicionamiento de un cuerpo en la bóveda celeste, dependiendo del día del año y de la hora del día. Se logró establecer que existen dos tipos de coordenadas para poder referenciar un cuerpo en la bóveda celeste, las coordenadas horarias y las coordenadas horizontales. Se seleccionó para poder ubicar el panel solar las coordenadas horarias.

El ángulo horario se determinó dependiendo de la hora del día, en donde al mediodía tiene un valor de 0 grados y va aumentando 15 grados por cada hora transcurrida. Este ángulo disminuye 15 grados por cada hora anterior al mediodía. La orientación para este movimiento se debe de dar de este a oeste.

Para calcular el ángulo de declinación solar se utiliza la Ecuación 35, sabiendo que los máximos valores se dan en los días de solsticio de verano y de invierno. La orientación que debe tener este movimiento es de sur a norte, tomando como

referencia para la orientación la trayectoria solar en Guatemala. La Figura 38 muestra la trayectoria solar que tiene Guatemala dependiendo del mes del año.

Figura 38- Trayectoria solar en Guatemala [68]



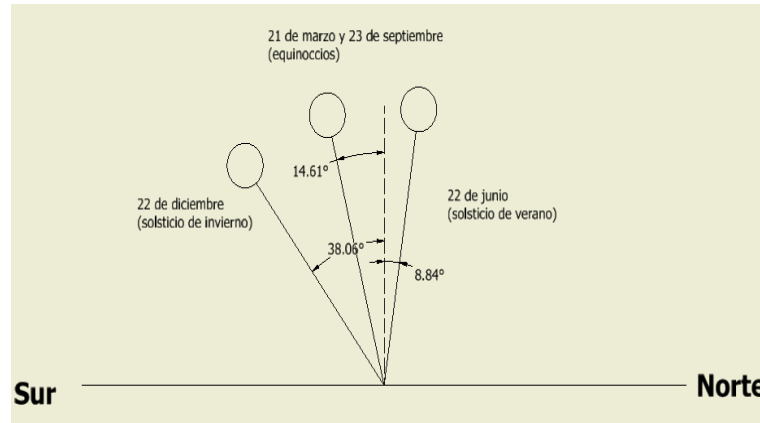
b. **RESULTADOS.** En la Tabla 36 se observan los resultados obtenidos para la posición solar en coordenadas horarias.

Tabla 36- Resultados obtenidos de la posición del Sol para Guatemala

Cantidad	Valor
Grados de libertad del movimiento	2
Ángulo de declinación máximo (Ecuación 35, J=173)	23.45 °
Ángulo de declinación mínimo (Ecuación 35, J=356)	-23.45 °
Latitud en Guatemala(fuente google maps)	14° 37' 15"
Ángulo de declinación máximo para Guatemala	-38.06 °
Ángulo de declinación mínimo para Guatemala	8.84°
Barrido del ángulo de declinación	46.9°
Ángulo horario mínimo	-45°
Ángulo horario máximo	45°

En la Figura 39 se puede observar la declinación y la orientación solar para Guatemala dependiendo de la fecha del año.

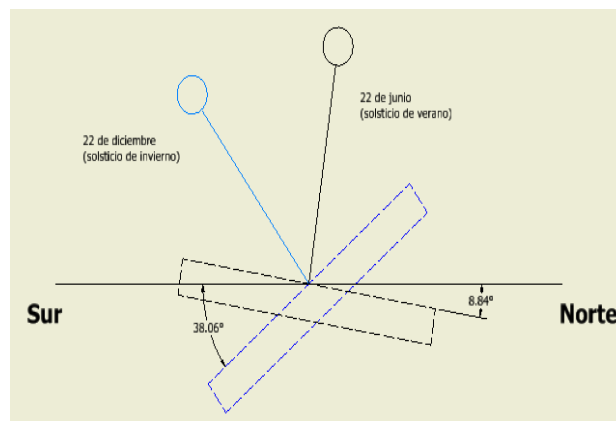
Figura 39- Ángulos con respecto a la vertical, orientación y días que corresponde



Los ángulos de declinación obtenidos son los que hacen que el Sol incida de forma perpendicular sobre el panel. El panel se debe de posicionar con orientación sur-norte como se muestra en la Figura 39.

La posición del panel dependiendo del ángulo de declinación en el movimiento anual se muestra en la Figura 40. Nótese que esta declinación corresponde a la ubicación en Guatemala.

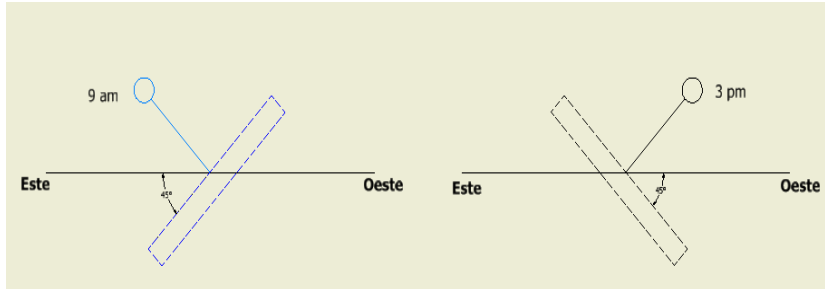
Figura 40- Inclinación del panel en su movimiento anual



Los valores de los ángulos horarios que se seleccionaron harán que el Sol incida perpendicularmente desde las 9 am hasta las 3 pm. Para horas menores o mayores, el sol no incidirá en un 100% perpendicularmente, pero si se obtendrá un mejor valor de

incidencia que teniéndolo en una posición fija. La Figura 41 muestra el movimiento que tiene el panel solar en su movimiento horario. La orientación será de este a oeste.

Figura 41- Incidencia del Sol en el panel solar, ángulo horario



c. **DISCUSIÓN.** Al investigar acerca de los tipos de seguimiento solar que existen, se determinó que el movimiento que optimizaba el desempeño de un panel solar es el movimiento en dos ejes (2 grados de libertad), esto se debe a que el posicionamiento de un cuerpo en la bóveda celeste depende de dos coordenadas, por lo que para poderse posicionar en esas dos coordenadas se necesitan dos movimientos, o dos grados de libertad.

Analizando las coordenadas existentes para posicionar un cuerpo en la bóveda celeste, se determinó que las coordenadas horarias son las que logran ubicar al cuerpo con mayor facilidad. Las coordenadas horarias tienen varias ventajas con respecto a las coordenadas horizontales. Una ventaja que se tiene con las coordenadas horarias es que los movimientos se realizan referenciándose a los cuatro puntos cardinales, por lo que es mucho más fácil realizar estos movimientos y encontrar la orientación adecuada dependiendo del día del año y de la hora del año.

Al seleccionar las coordenadas de referencia, se orientaron cada una de estas coordenadas dependiendo de la ubicación geográfica de Guatemala, ya que como se mencionó anteriormente la ubicación de un cuerpo celeste depende de la posición del observador. La orientación del ángulo de declinación depende de la latitud de Guatemala y del hemisferio en el que se encuentra. Conociendo la latitud de Guatemala que es 14.61° y el hemisferio que es el norte, se pudo establecer cuáles eran los ángulos mínimos y máximos (Tabla 36), y la orientación de sur-norte (Figura

40), haciendo referencia a la trayectoria solar que se muestra en la Figura 38. Se puede observar en la Figura 40 que debido a la proximidad de Guatemala con el ecuador terrestre, llegan momentos en el año en que el panel se orienta de sur a norte o de norte a sur, pasando por el momento en que se encuentra el panel totalmente horizontal.

La orientación del ángulo horario solo depende de la rotación de la tierra. Debido a que la tierra gira en contra de las manecillas del reloj, el Sol tiene un movimiento aparente de este a oeste, empezando el Sol en las mañanas por el este y ocultándose en las tardes por el oeste. Se seleccionó como ángulo horario mínimo -45 grados y como máximo 45. Esto debido a que si es mayor el ángulo, las dimensiones de los apoyos tienen que ser mayores, además con el ángulo que se está seleccionando se garantiza que el Sol no se bloquee por algún cuerpo que se encuentre en la trayectoria posible del Sol. Por otro lado, cuando el ángulo que se necesite sea menor o mayor a las cantidades establecidas, el Sol no incide en un 100% perpendicularmente sobre el panel, pero lo hace en un porcentaje alto. Por ejemplo la incidencia que tendrá a las 7 am cuando el ángulo horario es de -75 grados será de 67%. Con estas consideraciones se seleccionaron los ángulos y las orientaciones.

2. SISTEMA PARA MOVIMIENTO DEL PANEL SOLAR. Esta parte del módulo es la encargada de la implementación del movimiento de la estructura que sostiene el panel solar, logrando así optimizar la captación de la radiación a través del ángulo de incidencia. Se deben seleccionar los motores a utilizar, el sensor para detección de posicionamiento solar y los métodos de transmisión de movimiento y potencia que optimizan el movimiento. Cabe resaltar que para la determinación de los motores que se utilizaron y los métodos de transmisión de movimiento, se hizo referencia al trabajo; “módulo de alimentación” [54], ya que la parte del movimiento del panel solar es dependiente del panel solar seleccionado en este módulo. El diseño experimental y los cálculos realizados en este capítulo fueron desarrollados únicamente para los resultados que se obtuvieron en el módulo mencionado anteriormente. Si se desea cambiar por ejemplo de panel solar, estos resultados no serían los mismos obtenidos,

aunque se podría seguir el mismo diseño experimental y la metodología para obtenerlos.

a. DISEÑO EXPERIMENTAL. El diseño experimental se dividió en tres secciones, las cuales son; seguimiento del movimiento aparente solar, actuador para el movimiento diario y actuador para el movimiento anual. A continuación se detalla cada una de las secciones.

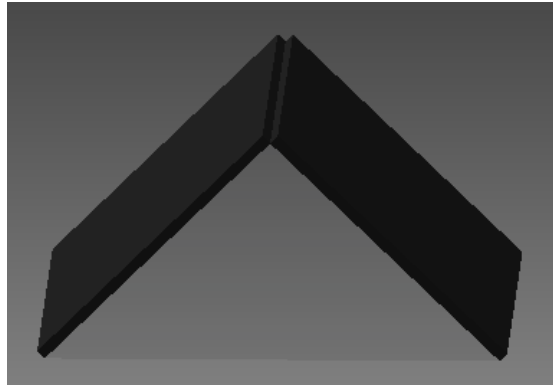
1) SEGUIMIENTO DEL MOVIMIENTO APARENTE SOLAR. Como se mencionó en el capítulo de marco teórico, existen dos formas para desarrollar el movimiento de un panel solar, a través del movimiento automático que se realiza por medio de sensores, y el mecánico que se realiza por medio del conocimiento del movimiento diario aparente del Sol.

Considerando lo anterior se seleccionó una de las dos formas para hacer el movimiento, seleccionando el movimiento automático.

Ya que la forma de movimiento del panel solar se es automática, se investigó acerca de los tipos de sensores que se utilizan para posicionamiento del Sol. Entre los principales sensores que se utilizan para posicionamiento solar están: fotoresistencia, la célula foto eléctrica, fotodiodo y sensores comerciales. El tipo de sensor que se seleccionó fue el sensor de célula foto eléctrica (panel solar).

Para la correcta incidencia del Sol sobre el panel solar principal, se utilizaron cuatro paneles solares, cada uno orientado hacia cada uno de los puntos cardinales. Para la detección del movimiento solar diario, se orientaron los paneles solares en dirección este y en dirección oeste, puestos a contra cara sobre una superficie a 45 grados. Para el movimiento anual, se orientaron los paneles en dirección norte y sur puestos de manera similar a los de detección de movimiento diario. El diseño de la estructura para los paneles solares se muestra en la Figura 42.

Figura 42- Estructura para paneles solares y posiciones a 45 grados



Cada uno de los voltajes de los paneles es una señal de entrada en un controlador (PIC 16F887), en donde los voltajes son convertidos de analógico a digital por medio del ADC que contiene el controlador. Este voltaje varía dependiendo de la incidencia solar sobre él, siendo esto una ventaja para la orientación. Para el movimiento diario, se hace una resta de las conversiones ADC correspondiente al panel direccionado al este y al del oeste, en donde si el valor de la resta es positivo, el panel solar se debe mover hacia el este, si es negativa la resta se debe mover hacia el oeste y al momento de que la resta esté muy cercada a cero, el panel solar principal se encuentra perpendicular al Sol y no se debe generar ningún movimiento. Para que el movimiento no sea muy sensible a cambios, el valor de la resta debe ser mayor a 50 valores ADC para que se realice algún movimiento. Para el movimiento anual se llevó a cabo el mismo procedimiento que se mencionó anteriormente con la diferencia que se debe realizar la resta en los paneles que están orientados de norte a sur y su diferencia debe ser de 100.

Debido a que el movimiento diario está limitado para que solo sea de 45 grados y de -45 grados, existe la posibilidad de que durante las horas que el ángulo horario no está en ese rango se necesite realizar un movimiento, característica que no se debe de cumplir, ya que el diseño tiene limitantes en cada uno de los extremos. Por lo que se necesita algún dispositivo que indique el momento en que se obtienen esos valores mínimos y máximos. Se utilizaron 2 interruptores de final de carrera ubicados en las posiciones críticas, que en el momento en que se llegan a esas posiciones son activados para indicar que ya no se debe realizar movimiento Estas posiciones se

alcanzará cuando el ángulo horario sea mayor a 45 grados (después de las 3 de la tarde) y cuando sea menor a -45 grados (antes de las 7 de la mañana). Ya que el Sol sale por el este y en las tardes el panel solar queda direccionado hasta el oeste, la transición de oeste a este se realizará al amanecer por medio de la detección de más voltaje en el panel solar de posicionamiento que esta direccionado hacia el este. El motor se activará y dejará de girar hasta que llegue al final de carrera que se encuentra direccionado hacia el este. Además se debe considerar el ahorro de energía, por lo que otra consideración para no realizar movimiento debe ser cuando los paneles solares no obtengan suficiente energía o un 10% en suma de los voltajes de los paneles a contra cara. Para el movimiento anual se realizó el mismo procedimiento, con la diferencia de que los ángulos mínimos y máximos son distintos, siendo de 8.84 y -38.06 grados.

Como se mencionó anteriormente el controlador que se utilizó fue el PIC 16F887, en donde por medio del lenguaje de programación MikroC se pudo implementar el diagrama de flujo diseñado y cargar al controlador el programa encargado del movimiento del panel solar principal. En el capítulo de apéndice se muestra el programa implementado.

La muestra el diagrama de flujo utilizado para la elaboración del programa controlador.

Variables utilizadas en el diagrama de flujo y su significado:

AH_EN1 y AH_EN2: Variables que determinan si el sensor detecta por lo menos el 10% de energía.

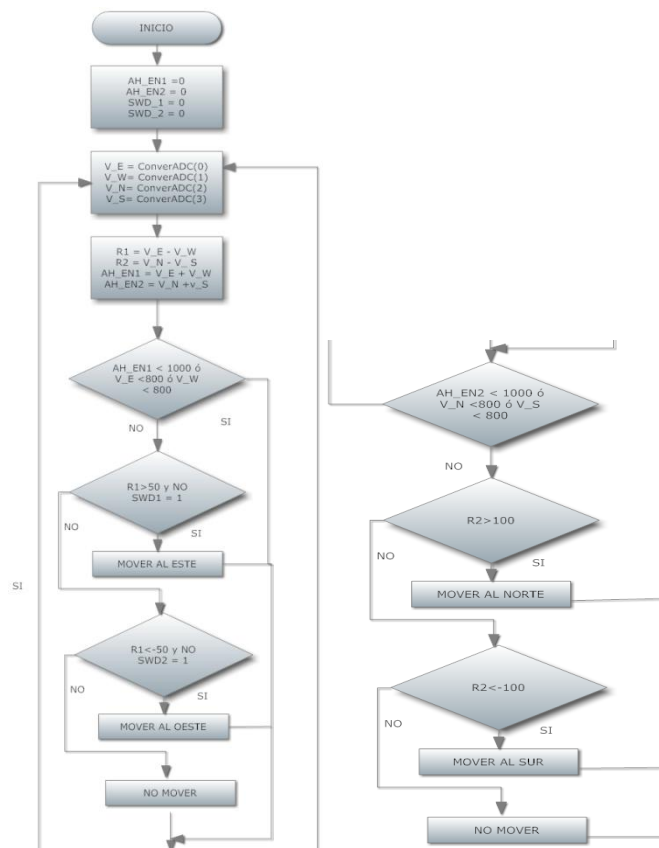
SWD_1, SWD_2: Interruptores para detener el movimiento en caso se llegue a las posiciones máximas.

V_E, V_N, V_W, V_S: voltajes digitales que se obtienen de los paneles solares direccionados en dirección, este, norte, oeste y sur respectivamente.

R1: Diferencial de voltaje entre los voltajes del este y oeste para el movimiento diario.

R2: Diferencial de voltaje entre los voltajes del norte y el sur para el movimiento anual.

Figura 43- Diagrama de flujo de programa



Debido a que el controlador permite como máximo valor de entrada 5V, se utilizaron paneles solares que proporcionan un voltaje analógico de 0 a 5 V.

Como siguiente paso se seleccionaron los actuadores para cada uno de los movimientos. Las principales características que se deben tener en consideración son: bajo consumo energético, precisión de movimiento y torque alto, teniendo como

prioridad el consumo energético. Para cada uno de los movimientos se deben analizar cada una de las características mencionadas anteriormente.

2) ACTUADOR PARA MOVIMIENTO DIARIO. Para el movimiento diario, se consideró que la prioridad es el consumo eléctrico, por lo que la opción de un motor paso a paso o un servo motor quedó descartada. Se consideró que la mejor opción es un motor DC convencional. La siguiente característica que se tiene que considerar es el torque requerido mínimo para realizar el movimiento.

Este torque depende de varios factores como el tipo de movimiento que se desea hacer, el torque que se deben vencer para generar el movimiento, el lugar en donde se aplicará la fuerza transmitida y el método de transmisión de la fuerza. El movimiento que se debe realizar es rotar el panel solar, por lo que el mejor punto para hacerlo rotar es sobre su centro de gravedad.

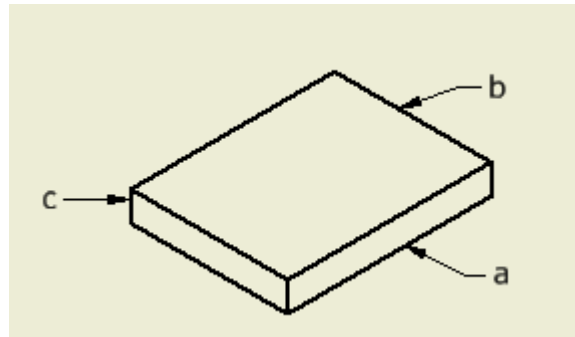
El pivote será sobre el centro de gravedad, evitando que el peso sea una fuerza que realice un torque en contra o a favor del movimiento. Usando esto se puede calcular el torque requerido para realizar la rotación. La Ecuación 40 determina la condición en dinámica de rotación para la rotación de un cuerpo dependiendo del torque.

$$\sum \tau = I\alpha$$

Ecuación 40- Condición para rotación por torques en dinámica de rotación [76]

En donde τ es el torque, I es el momento de inercia y α es la aceleración angular. Según la Ecuación 40, el torque necesario depende del momento de inercia del cuerpo y de la aceleración angular. Para minimizar el torque requerido para hacer rotar el cuerpo, el momento de inercia y la aceleración angular deben ser mínimos. El cuerpo que se desea rotar es el panel solar, que se puede simular como un paralelepípedo de masa M y de dimensiones a , b y c . (Figura 44).

Figura 44- Paralelepípedo



El momento de inercia de un paralelepípedo depende del eje de rotación por el cual se desea rotar, y se representa con la Ecuación 41.

$$I = \frac{1}{12} ml^2$$

Ecuación 41- Momento de inercia de un paralelepípedo [10]

En donde m es la masa del cuerpo y l es la longitud del lado paralelo al eje de rotación seleccionado. Con la Ecuación 41 se pudo determinar que para minimizar el momento de inercia el eje de rotación debe de ser el de menor longitud. Para determinar un valor concreto, se utilizaron los valores del panel solar principal que se seleccionó en el módulo de alimentación. Se sustituyeron los valores y se obtuvo un momento de inercia. El momento de inercia es teórico y luego de realizar el diseño de la estructura y la simulación a través del software de diseño *Inventor*, se obtendrá un valor más cercano a la realidad.

La aceleración angular es la razón entre la velocidad angular y el tiempo, por lo que para minimizar este valor se necesita que la velocidad angular sea mínima. Este valor va a depender únicamente del motor seleccionado, por lo que se tiene que buscar un motor que sea de bajas revoluciones. La Ecuación 42 muestra la aceleración angular dependiendo de las velocidades angulares.

$$\alpha = \frac{\omega_f - \omega_i}{t}$$

Ecuación 42- Aceleración angular [76]

En donde α es la aceleración angular, ω_f es la velocidad angular final, ω_i es la velocidad angular inicial y t es el tiempo. Con un motor de bajas revoluciones se cumplen varias características buscadas, precisión de movimiento y torque alto. La relación que existe entre la potencia, la velocidad angular y el torque se muestra en la Ecuación 43.

$$H = T\omega$$

Ecuación 43- Relación potencia torque y velocidad angular [10]

En donde H es la potencia, T es el torque y ω es la velocidad angular. Se realizó una investigación sobre motores DC, y se encontró un motor que contaba con caja reductora interna, proporcionando alto torque y velocidad angular baja. Éste fue el motor que se utilizó para el cálculo necesario para hacer mover el panel solar. Ya que el proveedor no proporcionaba el tiempo en que se alcanza su velocidad constante, se asumieron tiempos relativamente pequeños, para obtener la máxima aceleración angular posible. Otro factor que es determinante para el torque requerido es la inclinación del panel. Es máximo cuando se está en el ángulo de inclinación máximo, siendo este ángulo de 45 grados.

Se concluyó que la mejor alternativa para transmitir la potencia del motor era con una caja reductora adicional. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 38.

Al considerar la Ecuación 40 se puede observar que el momento de inercia es el único torque que afecta el sistema en condiciones aisladas, por lo que se tienen que considerar las fuerzas que actúan en el sistema. La única fuerza externa que actúa en el sistema es la velocidad del viento, ya que la fuerza de fricción es mucho menor a la fuerza ejercida por el viento. La fuerza que se genera por la velocidad del viento depende del área de contacto superficial, del ángulo de inclinación de la superficie y de la presión del aire. La Ecuación 44 muestra la fuerza que se genera a partir del aire.

$$F_{aire} = P * A * \sin^2(\alpha)$$

Ecuación 44- Fuerza generada por el aire [17]

En donde A es el área superficial de contacto, α es el ángulo de inclinación y P es la presión de aire. La presión del aire se define:

$$P = \frac{1}{2} \rho * v^2$$

Ecuación 45- Presión del aire [17]

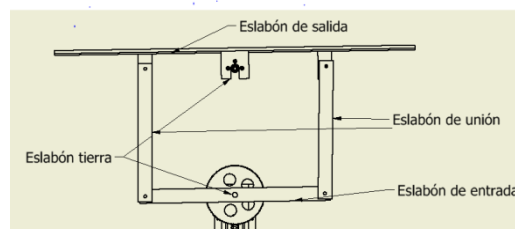
En donde ρ es la densidad del aire y V es la velocidad del viento. Como caso extremo se consideró que esta fuerza provocada por el aire se encuentra en el punto más lejano de la superficie del panel y para facilidad de cálculos se tomó como una fuerza puntual, obteniendo así una representación del torque requerido para la fuerza del viento.

Por medio de la Ecuación 40 se calculó el torque disponible para soportar la fuerza del viento, y conociendo este torque se logró calcular la velocidad del viento que el motor puede resistir.

Para el método de transmisión de movimiento se implementó un mecanismo de 4 barras no Grashof en su caso especial. Se cuenta con una relación uno a uno en la relación de velocidades y la fuerza transmitida de punto a punto depende de la longitud de los eslabones.

Se implementó un mecanismo que fuera 2 paralelogramos articulados, teniendo como eslabón de tierra el eslabón imaginario que existe entre el motor y el panel, eslabones de entrada los eslabones que transmiten el movimiento, el eslabón imaginario del panel es el eslabón de salida y el eslabón que une el de transmisión con el del panel es el eslabón de unión. La Figura 45 muestra lo mencionado anteriormente.

Figura 45- Mecanismo de 4 barras para transmisión de movimiento



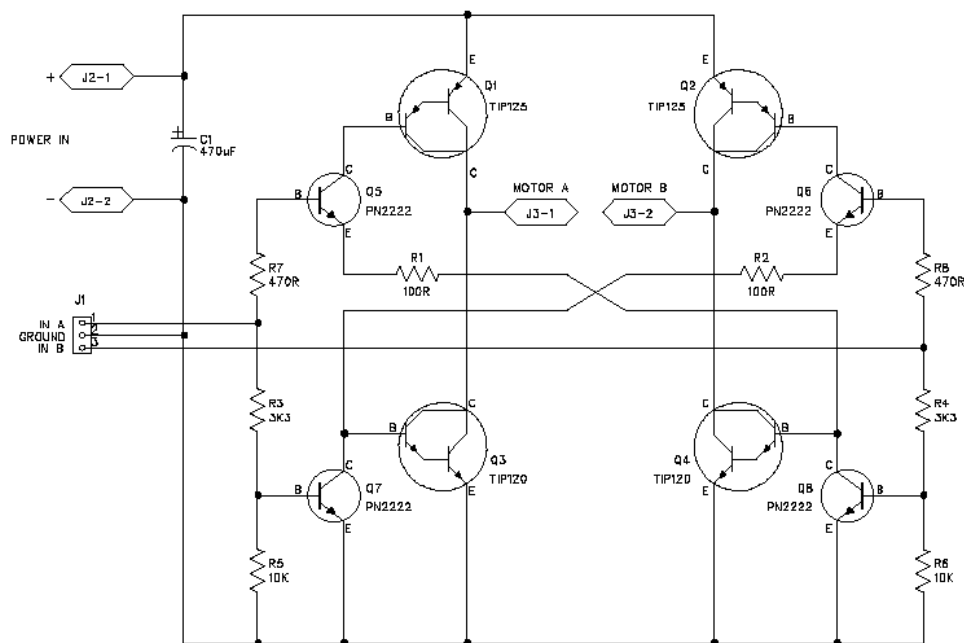
Después de conocer el posicionamiento de los eslabones se tuvo que dar dimensiones a cada uno de ellos. Las dimensiones de los eslabones se basaron en la geometría del movimiento y dependían de las dimensiones seleccionadas para la estructura, por lo que las dimensiones de los eslabones se presentarán en el capítulo de diseño mecánico de la estructura.

Al seleccionar un motor DC se tiene que tener en consideración que para poder controlarlo se necesita un controlador tipo puente H que sirve como mecanismo de transmisión de potencia para el motor.

Por lo que se implementó y se construyó un controlador puente H, el cual con una señal de entrada de 5 V enviada por el microcontrolador 16F887, se establece la dirección de giro que se necesite.

Se simuló el circuito en el software de simulación de circuitos llamado *Multisim* y luego de comprobar que funcionaba el circuito, se diseñó la placa en el software de diseño de placas *PCB Wizard* para luego elaborar la placa físicamente. La Figura 46 muestra el circuito utilizado para construir el puente H.

Figura 46- Circuito controlador puente H [25]



3) ACTUADOR PARA MOVIMIENTO ANUAL. Conociendo la metodología implementada para el movimiento diario, se pudo hacer un diseño experimental similar para el movimiento anual. Tomando en cuenta las características de consumo eléctrico, torque alto y precisión de movimiento, el consumo eléctrico no es la característica principal, esto se debe a que el movimiento anual no se realiza constantemente, si no que se realiza un movimiento mínimo cada día. Las características principales para este movimiento son el torque alto y la precisión de movimiento. Debido al alto torque requerido, se descartó la posibilidad de moverlo por un servomotor y un motor DC convencional, quedando como opción deseada un motor paso a paso.

Al tomar como actuador para el movimiento anual un motor paso a paso, se tuvo que encontrar la forma de transmitir el movimiento, considerándose como solución la implementación de un tornillo sin fin. Al considerar un tornillo sin fin, se debía encontrar la manera de fabricarlo, de acoplarlo al motor y de acoplar la estructura para que se pudiera mover con él. Esta solución no se veía muy viable.

Realizando una investigación acerca de los tipos de mecanismos de transmisión de movimiento similares al mencionado anteriormente se encontró que existen actuadores lineales operados eléctricamente como si fueran un motor DC convencional. Entre sus características se encuentra la precisión de movimiento, el estancamiento en una posición específica incluso sin ser alimentado y la alta fuerza que puede transmitir. Cuenta con seguridad para sus posiciones críticas por lo que no es necesario utilizar finales de carrera para este movimiento. Por lo que esta solución se consideró que era la ideal.

Como se realizó en el diseño experimental del movimiento diario, el tipo de movimiento deseado es de rotación, tratando de hacer que el eje de rotación se encuentre cercano a su centro de gravedad para evitar que el peso genere un torque. El torque requerido va a depender del momento de inercia del cuerpo a rotar, siendo esto algo que no se conoce. Por lo que para tener un valor aproximado, se simulará la

estructura a mover como un prisma rectangular rotando sobre su centro de gravedad. El momento de inercia para un prisma rectangular se muestra en la Ecuación 46.

$$I = \frac{1}{12}m(a^2 + b^2)$$

Ecuación 46- Momento de inercia de un prisma rectangular [10]

En donde m es la masa del cuerpo, a es la longitud del lado paralelo al eje de rotación y b es la altura del prisma. Con esto se pudo determinar un momento de inercia teórico, en donde a la hora de realizar el diseño de la estructura completo a través del software de diseño *Inventor*, se obtendría un valor más cercano a la realidad. La Tabla 40 muestra las características del cuerpo que se está haciendo rotar.

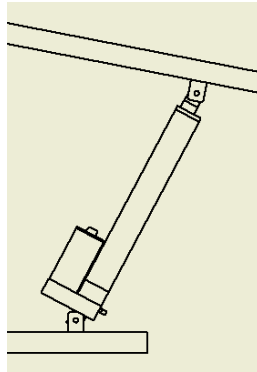
Como se mencionó en el diseño experimental del movimiento diario, para obtener un torque pequeño, la aceleración angular debe ser mínima. Se debe de considerar un movimiento lento para hacer girar el cuerpo. El tipo de actuador lineal que se está considerando, tiene la ventaja de realizar un movimiento lineal lento, obteniendo así una aceleración angular pequeña. Debido a que el movimiento es lineal, se tuvo que seleccionar un punto en donde se aplicara la fuerza. Este punto fue la posición más lejana al pivote. Al igual que el movimiento diario, el proveedor no proporcionaba el tiempo en que se alcanza su velocidad constante, por lo que se asumió un tiempo relativamente pequeño. La inclinación máxima se da cuando la estructura se encuentra a un ángulo de 38.06 grados, siendo este la posición crítica del movimiento. Existen varios tipos de actuadores lineales y se tuvo que seleccionar entre ellos. La Tabla 41 muestra los resultados obtenidos.

El sistema planteado presenta como único torque externo el torque generado por la velocidad del viento, ya que al estar ubicado en su centroide la gravedad no genera ningún torque. El torque es dependiente de la fuerza, y como se mencionó anteriormente esta fuerza depende de la densidad del aire, el ángulo de inclinación y la presión del aire. Como caso extremo, la fuerza se consideró aplicada en el punto más lejano del área de contacto y para facilidad de cálculos se tomó como una fuerza

puntual. Con la Ecuación 40 se logró obtener el torque disponible para soportar la fuerza generada por el viento y solucionando la Ecuación 41 y la Ecuación 42 se logró calcular la velocidad máxima que puede resistir el actuador lineal sin que la fuerza aplicada sea mayor a la fuerza generada. En la Tabla 42 se observan los resultados obtenidos.

Para el acoplamiento entre la estructura y el actuador lineal se utilizaron dos soportes de montaje, los cuales fueron proveídos por el fabricante, logrando así obtener la forma para transmitir el movimiento. La Figura 47 muestra el acoplamiento sugerido para el movimiento de la estructura.

Figura 47- Ensamble actuador lineal estructura



Ya que es un motor DC el actuador lineal, su forma de controlarlo y transmitir la potencia es a través de un puente H.

La diferencia que se tuvo con este puente H es el alto consumo de corriente que necesita el actuador lineal, por lo que la implementación de un puente H como el utilizado en el movimiento diario no era una opción. Se investigó acerca de distintos puentes H comerciales y se encontró uno que cumplía con las características deseadas. Este puente H se controla por un PWM, en donde dependiendo del ancho del pulso enviado se sabe si el motor debe de girar en un sentido, en otro sentido o permanecer sin moverse. Con esto se obtiene el movimiento deseado para el actuador lineal.

La Tabla 43 muestra los valores utilizados del ancho del pulso de entrada para el H.

Para que el puente H no se encuentre prendido siempre, el controlador manda una señal de salida cuando el puente H necesita estar prendido. Esta señal activa un transistor que funciona como interruptor permitiendo el paso del voltaje al puente H.

b. RESULTADOS

La Tabla 37 muestra las propiedades del panel solar principal utilizado.

Tabla 37- Propiedades panel solar principal

Característica	Valor
Ancho panel solar principal	30.5625 pulgadas
Largo panel solar principal	26.0625 pulgadas
Espesor panel solar principal	1.53125 pulgadas
Masa	17 lbm
Eje de rotación	Paralelo a 26.0625 pulgadas
Inercia panel principal (Ecuación 41)	0.28 kg*m ²

En la Tabla 38 se muestran los resultados obtenidos agregándole al motor del movimiento diario una reducción a través de una caja reductora.

Tabla 38- Resultados obtenidos con motor y caja reductora

Característica	Valor
Relación de engranajes (del proveedor)	8.45
Velocidad obtenida (del proveedor)	0.71 rpm
Torque obtenido (torque del motor * relación de engranajes)	66.33 N*m
Velocidad angular final (velocidad motor * relación de engranajes)	0.0744 rad/s
Velocidad angular inicial (inicial del reposo)	0 rad/s
Tiempo en alcanzar su velocidad final (se asume)	0.0125 s
Aceleración máxima (Ecuación 42)	5.95 rad/s ²
Torque para mover el panel no inclinado (Ecuación 40)	1.66 N*m
Torque para mover el panel inclinado a 45° (Ecuación 40)	2.36 N*m
Torque necesario > Torque del motor	No, transmisión satisfactoria

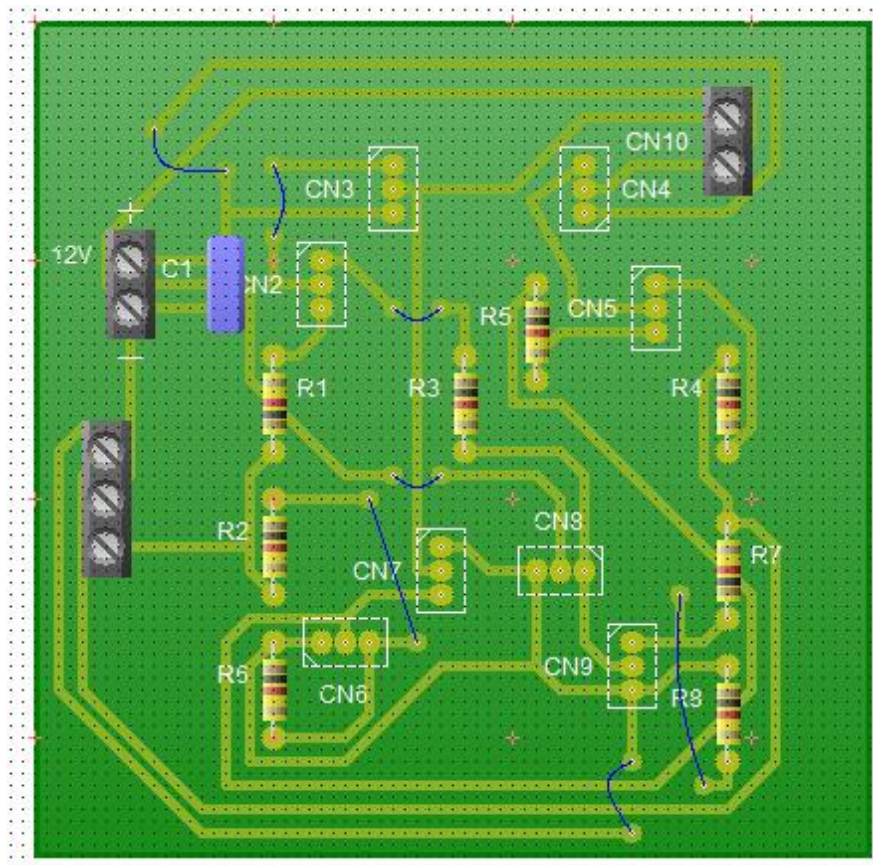
La Tabla 39 muestra los resultados de la velocidad máxima que puede soportar el torque del motor del movimiento diario.

Tabla 39- Valores obtenidos para cálculo de torque generado por la velocidad del viento movimiento diario

Característica	Valor
Torque disponible para fuerza del viento (torque motor menos torque para mover el panel)	63.97 N*m
Área superficial de contacto del viento (área del panel)	0.51216 m ²
Densidad del aire @ 1530 msnm [17]	1.1 kg/m ³
Ángulo de inclinación máximo del panel	45 grados
Distancia de la fuerza al centro	0.33 m
Velocidad máxima que soporta el torque del motor (Ecuación 44 y Ecuación 45)	133.56 km/h

La Figura 48 muestra el diseño de la placa del puente H que controla el motor DC del movimiento diario.

Figura 48- Placa desarrollada en PCBWizard para puente H



La Tabla 40 muestra los valores usados para calcular la inercia teórica de la estructura a mover en el movimiento anual.

Tabla 40- Resultados obtenidos para el movimiento del prisma rectangular (se asume)

Característica	Valor
Longitud del lado a	0.8 m
Altura del prisma rectangular	0.4 m
Masa	15 kg
Eje de rotación	Paralelo a 0.8 m
Inercia panel principal (Ecuación 46)	1 kg*m ²

La Tabla 41 muestra los valores obtenidos para el actuador lineal seleccionado.

Tabla 41- Valores obtenidos para el actuador lineal seleccionado

Característica	Valor
Velocidad lineal del actuador lineal (del proveedor)	0.59 pulg/s
Radio de giro (ancho del panel solar principal)	15 pulgadas
Fuerza del actuador lineal (del proveedor)	115 lbf (511N)
Distancia de aplicación de la fuerza (ancho del panel solar)	0.38 m
Torque del motor(fuerza del actuador multiplicado por la distancia de la aplicación de la fuerza)	194.89 N*m
Velocidad angular del actuador lineal final (velocidad lineal dividido el radio)	0.039 rad/s
Velocidad angular del actuador lineal inicial (del reposo)	0 rad/s
Tiempo en alcanzar su velocidad final (se asume)	0.0125 s
Aceleración máxima (Ecuación 42)	3.15 rad/s ²
Torque para mover el prisma no inclinado	3.15 N*m
Torque para mover el prisma inclinado (38.06°)	5.1 N*m
Torque necesario > Torque del motor	No, actuador adecuado

Los valores utilizados para los resultados obtenidos en la Tabla 40 y Tabla 41 fueron valores teóricos, en donde después de realizar el diseño se recalcularon y se obtuvieron valores más cercanos a la realidad. La Tabla 42 muestra la velocidad del viento máxima que puede resistir el actuador lineal antes de ceder.

Tabla 42- Valores obtenidos para cálculo de torque generado por la velocidad del viento movimiento anual

Característica	Valor
Torque disponible para fuerza del viento (torque motor menos torque para hacer el movimiento)	189.79 N*m
Área superficial de contacto del viento (área del prisma)	0.54 m ²
Densidad del aire @ 1530 msnm[17]	1.1 kg/m ³
Ángulo de inclinación máximo del panel	38.06 grados
Distancia de la fuerza al centro	0.394 m
Velocidad máxima que soporta el torque del motor	235.26 km/h

La Tabla 43 muestra los valores utilizados para generar los pulsos en el puente H que se utilizó para controlar el actuador lineal.

Tabla 43- Valores enviados al puente H del movimiento diario

Característica	Valor
Frecuencia de trabajo	50 Hz
Pulso para giro positivo, negativo y apagado	1.75 ms, 1.25 ms y 1.5 ms

La Figura 49 muestra las mediciones tomadas con el osciloscopio de los pulsos utilizados para cambiar el giro del actuador lineal.

Figura 49- Anchos de pulso obtenidos para control de dirección de giro en puente H



c. DISCUSIÓN. Para la determinación del tipo de forma en que se desarrollaría el movimiento del panel solar, se tuvieron en consideración varios factores que ayudaron a la selección del movimiento automático. Este se basa en la retroalimentación para la toma de decisión de hacia dónde se debe de mover el panel solar, por lo que es un método mucho más sencillo estar controlando la señal de entrada que es la retroalimentación, que estar controlando la hora del día y el día del año.

Para la selección del tipo de sensor que se utilizaría para el seguimiento solar, se consideraron los cuatro casos que se mencionan. Para una fotoresistencia y un fotodiodo, se debe considerar la implementación de un circuito eléctrico, el cual variando cada uno de los valores de corriente o voltaje da a conocer si el posicionamiento es el correcto. La diferencia que se tiene con el sensor comercial es

que este sensor ya cuenta con el circuito integrado, utilizando los mismos componentes para la detección solar. Estos sensores necesitan alimentación para su funcionamiento, característica que se tenía que tratar de evitar debido a que es una estación automática, por lo que no se consideraron ninguno de los casos mencionados anteriormente. La solución más óptima es una célula fotoeléctrica (panel solar), ya que es un transductor que convierte la energía solar en energía eléctrica, generando una señal analógica dependiente de la incidencia del Sol en el panel.

Para determinar el tipo de actuador que se implementó para el movimiento diario, se tuvo como prioridad el consumo energético, ya que este motor funciona durante varios intervalos de tiempo en las 6 horas que se mueve el panel solar. De los motores DC conocidos, el motor DC convencional es el que tiene menor consumo energético, por lo que se seleccionó este tipo de motor. Debido a que el movimiento que se desea realizar es de rotación, el mejor punto para hacerlo es sobre su centro de gravedad. Esto se debe a que ese punto es el punto en donde se concentra toda la masa de un cuerpo, evitando que la masa genere un torque que pueda hacer rotar al cuerpo. Para facilidad de cálculos se consideró el panel como un paralelepípedo rotando a través de su centro de gravedad. Al analizar la Ecuación 40 se pudo determinar que para obtener un torque mínimo el momento de inercia debe de ser pequeño y la aceleración angular también. Para minimizar el momento de inercia se analizó la Ecuación 41, en donde se pudo determinar que para minimizar el momento de inercia el eje de rotación debe de ser el de menor longitud, ya que la longitud es lo único variable. Según los resultados la longitud de menor magnitud en donde se puede hacer rotar es de 26.0625 pulgadas.

Para minimizar la aceleración angular, se seleccionó un motor que tuviera velocidad angular baja, esto debido a que la aceleración angular es directamente proporcional a la velocidad angular. La ventaja que se tiene en un motor DC con bajas revoluciones es la precisión en el movimiento, detalle que se buscaba para tener un movimiento preciso en el panel. Además un motor DC para aumentar su torque sacrifica la velocidad, por lo que un motor lento tiene muchísimo más torque, característica que también se buscaba. Esto se debe a la relación que existe entre la

potencia, la velocidad angular y el torque que se muestra en la Ecuación 43. La potencia del motor es constante, por lo que si la velocidad angular es baja el torque es alto, pero si la velocidad angular es alta el torque es bajo. Los cálculos obtenidos para el motor diario DC con caja reductora se muestran en la Tabla 38.

Los cálculos realizados anteriormente son cálculos que se efectuaron para hacer rotar el panel solar dependiendo únicamente de su inercia y de su aceleración angular. Esto no es cierto, ya que existen otras fuerzas que actúan en el sistema (fuerza del viento y fuerza de fricción). Por facilidad de cálculos la única fuerza que se consideró fue la fuerza generada por el viento. Para facilitar los cálculos, la fuerza del viento se simuló como una fuerza puntual aplicada en el extremo de la superficie, esto para generar el torque de mayor magnitud. Según la Ecuación 45, los cálculos dependen de la densidad del aire, por lo que se investigó acerca de la densidad del aire que podría existir en Guatemala. Esta fuerza se puede dividir en componentes en cada uno de los planos tridimensionales, pero para estos cálculos lo único importante es la magnitud de la fuerza, por lo que no se consideraron las componentes de la fuerza.

Para la transmisión del movimiento se seleccionó un mecanismo de 4 barras llamado paralelogramo articulado debido a que con este mecanismo se garantiza el paralelismo del movimiento del motor con el movimiento del panel. No se cuenta con ventaja mecánica, pero no era necesaria debido a que con la selección del motor se puede obtener esa ventaja. Se implementó el mecanismo como dos paralelogramos articulados, esto para lograr dividir el torque transmitido en dos fuerzas en distintas partes, reduciendo las concentraciones de esfuerzos en cada uno de ellos.

Para transmitir la potencia al motor DC utilizado, se implementó un puente H elaborado en circuito. Estos puentes H por lo general son utilizados para controlar motores que no consuman mucha corriente, en donde la corriente que puede proporcionar el circuito depende del tipo de transistor utilizado. Los transistores que se utilizaron fueron transistores tipo Darlington NPN y PNP, siendo estos transistores capaces de controlar corrientes de hasta 1 amperio. El consumo del motor según pruebas puede llegar hasta 350 mA dependiendo de la carga, por lo que la

implementación del puente H con ese tipo de transistores es la mejor opción. Las señales de entrada para el puente H son las salidas del microcontrolador, en donde al encender la señal de entrada A (Figura 46) el motor gira en un sentido, al encender la señal de entrada B, el motor gira en el sentido opuesto y al no encender ninguna el motor permanece estancado. Lo que hacen estas señales es polarizar transistores, los cuales funcionan como interruptores, permitiendo el paso del voltaje de alimentación a cada una de las terminales del motor e intercambiando la polarización dependiendo de la señal de entrada que se tiene.

Para la selección del actuador para el movimiento anual, el consumo de energía ya no es una característica que se desea reducir, esto se debe a que el desplazamiento es mínimo diariamente. Ya que el ángulo de barrido para todo el año en Guatemala es de 93.8 grados, se establece que cada día el movimiento que se debe de hacer es menor a 0.3 grados. Por lo que el consumo energético no es un factor que sobresalga para la decisión de seleccionar el tipo de actuador. Las principales características que se deben tener entonces son la precisión de movimiento y el alto torque requerido. Características que ahora son mucho más importantes, debido a que es menor el movimiento y a que el peso a mover es mayor. La solución sugerida fue la utilización de un motor paso a paso que transmitiera el movimiento a través de un tornillo sin fin. La desventaja de esta solución se encontraba en que se tenía que fabricar el tornillo sin fin, encontrar la forma de acoplar el motor al tornillo y la forma de acoplar el tornillo a la estructura. La forma de controlar el motor paso a paso es otra desventaja, ya que para poder controlarlo se necesitan varias salidas del controlador, siendo esto algo ineficiente para el control.

Con la investigación realizada, se pudo determinar que un actuador lineal DC era la solución ideal, ya que éste tiene un funcionamiento similar al tornillo sin fin. Este tipo de actuador se basa en un motor DC que a través de un juego de engranajes y un engranaje tipo cremallera se transmite el movimiento de manera lineal. Debido a que se utiliza este tipo de engranaje, puede permanecer en una posición estable hasta que la fuerza sea mayor a la fuerza transmitida por los dientes de la cremallera. Esta fuerza es determinada por el fabricante.

La consideración de tomar como un prisma rectangular el cuerpo que se desea rotar se realizó por facilidad de cálculos, ya que era la única manera de poder obtener un valor teórico del momento de inercia requerido sin haber diseñado la estructura. Como se mencionó, éste es un valor que se va a encontrar en un rango cercano del valor real, valor que se proporcionara más adelante después de haber diseñado la estructura. Las dimensiones utilizadas para el cálculo del momento de inercia se basaron en las dimensiones del panel solar. La longitud del panel solar fue la dimensión que se tomó como eje de rotación, y la altura del prisma tuvo que ser superior a la componente del panel solar al máximo ángulo de inclinación. La suposición de la masa se basó en aumentar al doble la masa del panel solar.

El torque proporcionado por el actuador lineal es un torque excesivamente grande, esto se debe a la posición en donde se está aplicando la fuerza y a que el proveedor solo ofrecía actuadores lineales de esa capacidad. El actuador lineal que seguía en menor capacidad no cumplió con las características, por lo que se tuvo que seleccionar este actuador. La fuerza se aplicó en el punto más lejano de la estructura, con el fin de aumentar el torque y disminuir la aceleración angular. Por lo mencionado anteriormente, el torque disponible para resistir la fuerza generada por la velocidad del viento es excesivamente grande, haciendo que la velocidad máxima del viento sea muy grande. Para estos cálculos se consideró la fuerza como una fuerza puntual en donde lo único que importaba era su magnitud y no su dirección debido a que se está aplicando sobre una superficie.

El método de transmisión de potencia se realizó a través de un puente H comercial. Se tuvo que realizar de esta manera ya que el consumo máximo de corriente del actuador lineal es mayor al proporcionado por el puente H utilizado para el movimiento diario. El tipo de control para el puente H utilizado se da a través de una señal de entrada tipo PWM, en donde dependiendo del pulso de entrada, el controlador puede saber cuál es la dirección de giro que se desea hacer. La frecuencia de operación seleccionada se basó en las especificaciones mínimas del fabricante, teniendo en consideración que el flanco debía de ser percibido por el puente H. Con una frecuencia de 50 Hz se obtuvieron resultados adecuados. Los pulsos generados

dependían de la dirección de giro que se deseaba hacer, siendo de 1.25 ms para giro inverso, 1.5 ms para modo apagado y 1.75 para giro positivo. El controlador cuenta con un modo PWM para generar estos pulsos, pero debido a que la frecuencia de reloj global es muy grande (4 MHz) no es posible generar con este modo un PWM con frecuencia de 50 Hz. Se tuvo que realizar un PWM utilizando el timer0 del controlador, en donde dependiendo del modo deseado, se mantiene en alto la señal de salida una cuenta determinada y luego se mantiene en bajo hasta llegar al periodo del ciclo.

3. DISEÑO MECÁNICO DE LA ESTRUCTURA. Esta parte del módulo es la encargada de la selección de materiales, las dimensiones utilizadas y el análisis mecánico de la estructura para la estación meteorológica. Al igual que en el capítulo anterior se hizo referencia al trabajo; “**módulo de alimentación**” [54], ya que la estructura depende de las características del panel solar seleccionado en este trabajo. Cabe resaltar que el diseño experimental y los cálculos utilizan los resultados obtenidos en el módulo mencionado anteriormente. Si fuera necesario cambiar algún parámetro, los resultados no serían los mismos, aunque se podría seguir la misma metodología.

a. DISEÑO EXPERIMENTAL. El diseño experimental se dividió en tres bloques; selección de materiales para los elementos de la estructura, geometría de la estructura y análisis mecánico de la estructura, detallando cada uno de los bloques a continuación.

1) SELECCIÓN DE MATERIALES PARA LOS ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA. Para poder determinar los materiales que se tienen que usar, se deben establecer cuáles son los elementos que conforman la estructura.

Los elementos a utilizar se pueden dividir en; barras de la estructura, acoplamiento de la estructura, ejes para transmisión de movimiento y torque, cojinetes para permitir el movimiento de los ejes y soporte de cargas, motores, mecanismos de transmisión de movimiento y caja para guardar los componentes electrónicos. Se pudo seleccionar el material a utilizar para los elementos que se iban

a construir, pero para los elementos que ya estaban fabricados solo se podía proteger o seleccionar algún elemento con las características requeridas. La propiedad física que más entraba en conflicto a la hora de la selección de los materiales era la resistencia a la corrosión. La selección dependió mucho de esta propiedad. Se tuvo que analizar uno por uno los elementos de la estructura.

Para poder determinar el material adecuado para la estructura, se investigó acerca de los tipos de materiales que cumplen con las características que se requerían. Se consideraron varios materiales, por ejemplo metacrilato de metilo (acrílico), acero pintado con pintura anticorrosiva y aluminio. Analizando los materiales mencionados anteriormente se encontró que la solución más óptima sería utilizar aluminio para toda la estructura.

Se realizó una investigación acerca de los proveedores y formas de venta del aluminio que existen en Guatemala, encontrando que el aluminio más económico se vende en forma de perfiles. Por esto el diseño de la estructura tuvo la limitante de utilizar perfiles existentes. Según datos obtenidos por el proveedor, el aluminio con el que trabajan es el aluminio 6063 T5 en todos sus perfiles. El tipo de perfil seleccionado para la elaboración de la estructura fue perfil cuadrado.

Al seleccionar perfiles cuadrados de aluminio para la elaboración de la estructura se tuvo que encontrar la forma de poderlos acoplar entre sí. Se consideró realizarlo por medio de soldadura, pero para soldar el aluminio se necesita de un proceso especial, descartando esta posibilidad. Por lo que se utilizaron esquinas angulares galvanizadas para las uniones de 90 grados y pernos con tuercas para uniones sencillas. El material galvanizado puede proteger durante un tiempo de la corrosión, pero esta resistencia se desea que sea mucho mayor, por lo que se utilizó pintura anticorrosiva para pintar las partes que son de acero galvanizado y así tener una capa adicional de protección.

Los ejes son los elementos que deben ser utilizados para cada uno de los movimientos deseados, siendo dependientes del material a utilizar y de la geometría. En estos elementos si se pudo seleccionar el material a utilizar debido a que son

elementos que tienen que ser fabricados según las características de diseño. El material utilizado para la elaboración de los ejes fue aluminio 6061 T6.

Los siguientes elementos que se analizaron fueron los cojinetes. Estos cojinetes cuentan con la desventaja de ser elementos que ya son prefabricados, por lo que no se puede seleccionar un material para fabricarlos. Se aplicaron métodos para evitar que se corroan fácilmente por ejemplo; sellar los cojinetes a presión y proteger las paredes externas con un sellador anticorrosivo, aplicar lubricante en el anillo interior para evitar corrosión interna.

Otros elementos a los que no se les podían seleccionar el material fueron los actuadores. Para evitar la corrosión en el motor DC convencional se protegió con una cubierta, la cual se introduce a presión en el motor. La parte del motor que no cubre la cubierta se pintó con pintura anticorrosiva cuidadosamente y así se protegió al 100% el motor. La caja reductora y el actuador lineal no tuvieron problema con respecto a la selección del material, ya que contaban con la ventaja de estar prefabricados con materiales anticorrosivos y estaban diseñados para trabajar a la intemperie.

El último elemento que se analizó fue la caja para guardar los componentes electrónicos. Esta caja tenía que ser anticorrosiva e impermeable en un 100%. Se construyó con láminas de acero pintadas con pintura anticorrosiva.

2) GEOMETRÍA DE LA ESTRUCTURA. Para realizar la geometría de la estructura se investigó acerca de los tipos de estaciones meteorológicas que existen. Esto se hizo para poder determinar el diseño, ya que el diseño cambia si la estación seleccionada es móvil o fija. Se seleccionó una estructura fija.

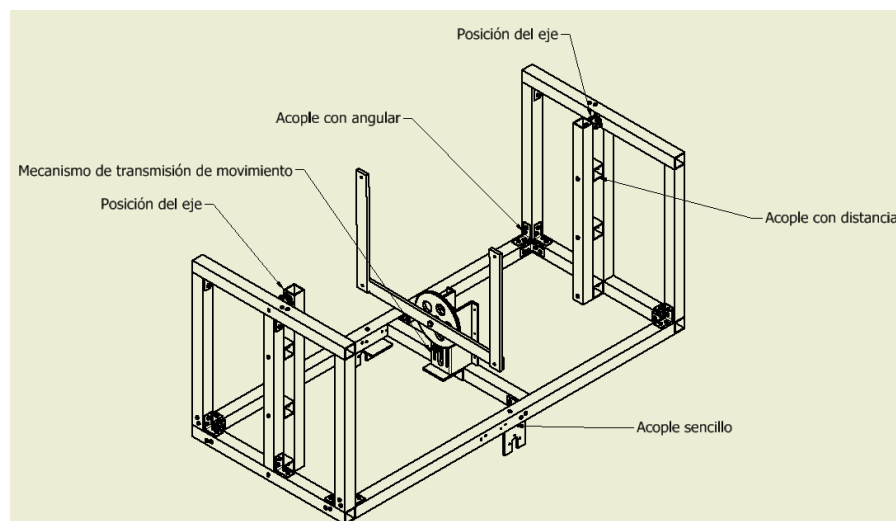
Ya sabiendo que se implementaría una estación fija, la estructura tuvo que tener las características para la toma de datos correctamente. Al conocer el lugar de instalación, se determinó que la altura de la estación no era una característica necesaria, por lo que las dimensiones se tomaron como referencia del panel solar y de los componentes que necesita cubrir.

El diseño estuvo limitado por los materiales seleccionados debido a que estos materiales tienen medidas específicas, por lo que se tomaron dimensiones iniciales para el diseño y con estos valores se trabajó. Después de haber realizado el diseño completo de la estructura, se hizo un análisis a cada una de las partes críticas, esto para determinar si las dimensiones tomadas inicialmente respondían adecuadamente a las cargas aplicadas. Si en algún momento la estructura fallaba, las dimensiones iniciales tendrían que ser cambiadas y se tendría que hacer el mismo diseño y análisis para las nuevas dimensiones. Las medidas iniciales de los perfiles utilizados se muestran en la Tabla 46.

Para elaborar el diseño de la estructura se seleccionaron perfiles cuadrados de aluminio de 1 pulgada de lado y 1/16" de espesor. Las longitudes de los perfiles de la estructura dependían del tipo de movimiento (diario o anual), por lo que se decidió realizar estructuras separadas.

El primer movimiento que se consideró fue el movimiento diario, en donde como primer paso se llevó a cabo un bosquejo del diseño para poder limitar más las dimensiones de la estructura.

Figura 50- Bosquejo de estructura diaria



Luego de realizar el bosquejo, se pudo dimensionar de una mejor manera la estructura. Debido a que es una estructura que debe de permitir el movimiento del panel solar, se deben tomar en cuenta las posiciones críticas que se tendran en el movimiento. Por ejemplo si el panel se encuentra en el movimiento diario a 45 grados bajo la horizontal, el panel tiene que poder realizar este movimiento libremente, sin obstáculos. Conociendo que el panel gira sobre su centro de gravedad, se pudo determinar mediante geometría básica la altura mínima que debe de tener el eje de giro con respecto al plano horizontal. La altura mínima requerida fue de 9.22 pulgadas. Considerando el plano horizontal como el plano en donde se está realizando el giro, la altura seleccionada con respecto a la base horizontal fue de 15 pulgadas.

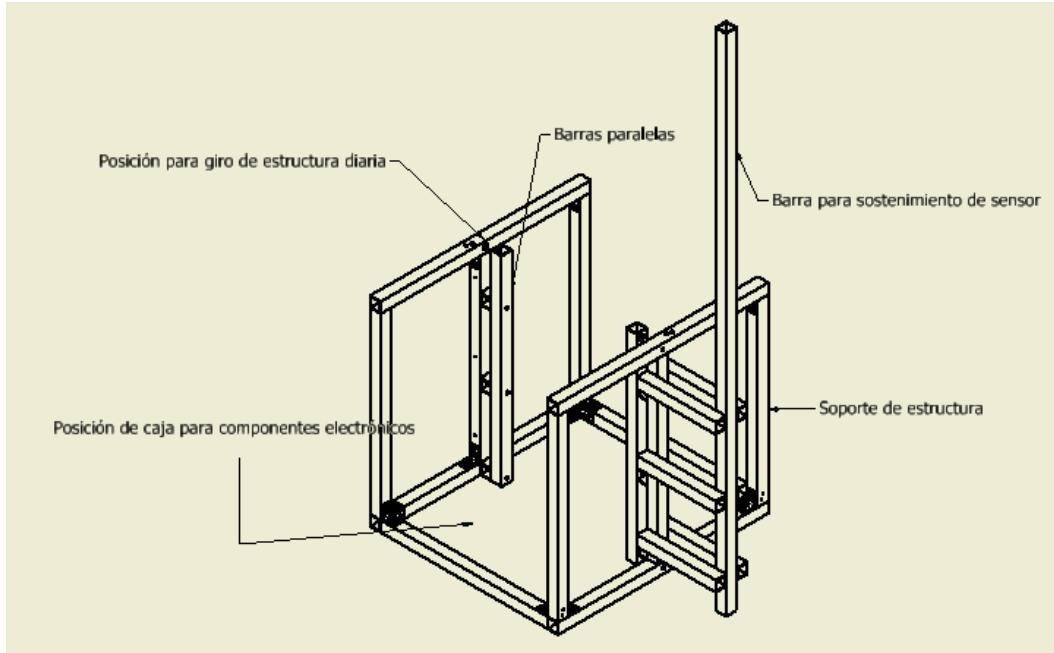
El ancho de la estructura se determinó con base a la longitud del eslabón de entrada y el posicionamiento de la caja reductora. La longitud del eslabón de entrada es de 6.5 pulgadas por cada uno de los lados, por lo que la longitud mínima del ancho era de 11.2 pulgadas. El ancho seleccionado de la estructura fue de 15 pulgadas. Conociendo ya la altura de la estructura, se pudo determinar la longitud de los eslabones de unión, siendo de 9.15 pulgadas. La unión entre los eslabones de unión y el eslabón de salida (panel solar) se realizó por medio de angulares de aluminio acoplados a una platina que se encontraba atornillada al panel solar. La longitud de la platina es igual al ancho del panel solar, 30.5625 pulgadas. Las juntas utilizadas para los eslabones fueron pernos con tuerca, y para evitar que con el movimiento se desenroscaran, se aplicó sellador de rosca en la tuerca y el perno. Para mantener más estables los soportes, se utilizó una barra de unión, cuya longitud fue del ancho del panel solar. La longitud de esta barra fue de 31.44 pulgadas.

El diseño de los soportes de los ejes se implementó a través de una barra paralela a los soportes, esto para que el eje se encontrara sobre dos soportes y las fuerzas sobre el eje se dividan en dos reacciones en ellos. La distancia entre la barra paralela y el soporte fue de 1 pulgada.

Luego de obtener las dimensiones de la estructura diaria, se procedió a obtener las dimensiones para la estructura anual. Como paso inicial se desarrolló un bosquejo

al igual que para elaborar la estructura diaria. La Figura 51 muestra el bosquejo inicial que se realizó para la determinación de las dimensiones de la estructura anual.

Figura 51- Bosquejo de estructura anual



El bosquejo realizado para la estructura anual se implementó considerando varias características; el movimiento anual, los acoples y la colocación de los elementos electrónicos. Para el soporte de los ejes se implementó el mismo diseño que en el mecanismo diario, por lo que la distancia entre soportes fue de 1 pulgada. Los acoples fueron los mismos que en la estructura diaria, ya que el material de la estructura es el mismo.

Ya contando con el bosquejo se pudo realizar el dimensionamiento de la estructura anual. Para determinar la magnitud de la altura, se consideró el ángulo de giro y la forma de transmisión de movimiento. El ángulo de giro que debe tener el movimiento es de 46.9 grados y la distancia de la fuerza aplicada al ángulo de giro es de 16.22 pulgadas. Con estos valores y utilizando la Ecuación 47 se puede encontrar un aproximado de la distancia que se debe de recorrer linealmente para hacer el movimiento.

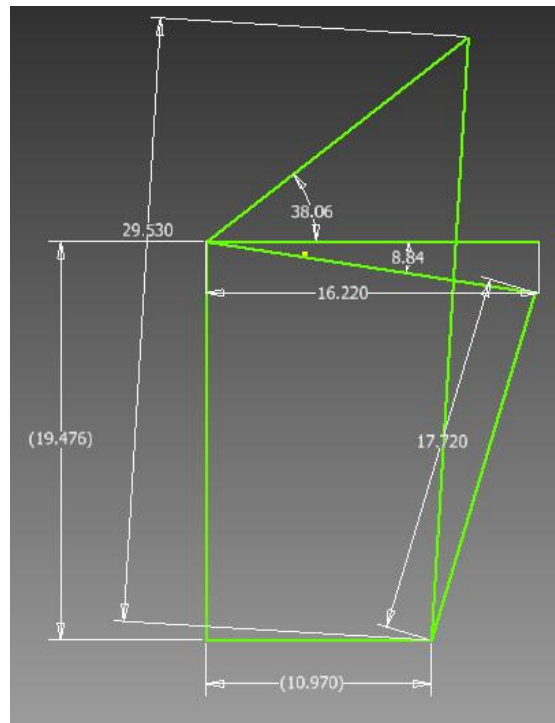
$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc * \cos \alpha$$

Ecuación 47- Ley de cosenos

En donde a es la longitud deseada, b y c son los catetos conocidos, y α es el ángulo opuesto al lado que se desea conocer. Aplicando la ecuación se obtuvo el valor de 12.91 pulgadas.

Con este valor se pudo seleccionar el actuador que se requería. Se seleccionó el más cercano, con una carrera de 11.81 pulgadas y una longitud al momento de estar retraído de 17.72 pulgadas. Al obtener estos valores y con los valores del movimiento se realizó un análisis dimensional con el software de diseño *Inventor* como se muestra en la Figura 52 obteniendo así la medida mínima para la altura

Figura 52- análisis dimensional para estructura anual



Observando el análisis, se pudo determinar que las longitudes eran muy grandes, por lo que se decidió aumentar el ángulo de giro sobre la horizontal. El ángulo propuesto fue de 41.5 grados y la altura fue de 18.56 pulgadas, redondeando se

obtuvo una altura de 19 pulgadas. El ancho mínimo en uno de sus extremos fue de 8.56, y para mantener la simetría se duplico el valor, obteniendo así una distancia de 17.12 pulgadas. Para evitar valores decimales se aumentó la distancia a 18 pulgadas y aumentando las dimensiones del perfil se obtuvo un ancho final de 20 pulgadas. La longitud de las barras de unión dependían del ancho de la estructura diaria, obteniéndose una longitud de 15.41 pulgadas.

Ya que la estructura anual permanece estable sobre la base, se consideró que era la indicada para ubicar los sensores para la toma de datos. Haciendo referencia al trabajo; *“módulo de sensores”*[37], se pudo determinar que el sensor a utilizar es el que se muestra en la Figura 53.

Figura 53- Sensor a utilizar



Se utiliza también un sensor de sismos, el cual debe de estar sobre la base de la estructura, un sensor de temperatura colocado de igual manera en la estructura anual y un sensor de radiación, el cual ya tiene estructura. El sensor que se debe posicionar

adecuadamente sobre la estructura anual es el sensor que se muestra en la Figura 53. Se consideró que este sensor no debía estar bloqueado por ninguna de las partes de la estructura, por lo que debe de estar en una altura mayor a la estructura completa. Según cálculos realizados, la altura a la que ya no se obtiene ninguna obstrucción considerando las posiciones críticas del movimiento se da a 58 pulgadas de la base del suelo. Se utilizó un perfil cuadrado de 58 pulgadas de longitud como base para el sensor y este perfil se unió a la estructura anual por 6 perfiles cuadrados de 7.5 pulgadas de longitud. En la parte superior de la barra que soporta el sensor, se colocó un tubo PVC con rosca para poder acoplar el sensor a la barra.

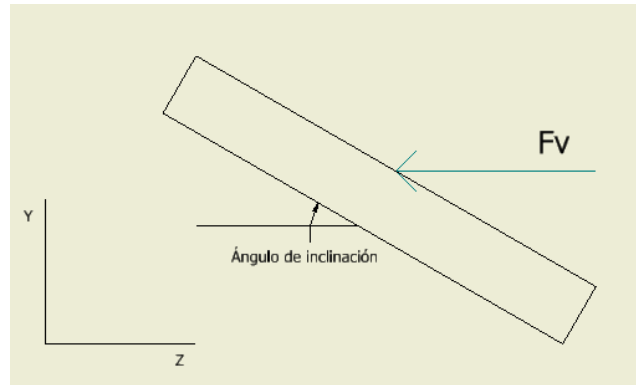
Las dimensiones de la caja para guardar los componentes electrónicos dependían de los elementos a guardar. Con referencia al trabajo; “módulo de alimentación”, se determinó que el elemento más grande a guardar es la batería. Proporcionando espacio para la batería y para los componentes eléctricos, se determinaron las dimensiones que se muestran en el capítulo de apéndice.

3) ANÁLISIS MECÁNICO DE LA ESTRUCTURA. Como siguiente paso de este diseño experimental se llevó a cabo el análisis mecánico de las estructuras que se diseñaron en el bloque anterior. Se debe realizar este análisis debido a que se tomaron dimensiones iniciales, y si estas dimensiones no cumplen con los requerimientos del análisis, las medidas iniciales tendrían que ser cambiadas.

El análisis se realizó a través del software de diseño Inventor, en donde se localizaron las fuerzas en cada una de las partes de la estructura y a través del análisis de elementos finitos se obtuvieron valores como; el esfuerzo de Von Mises mínimo, el factor de seguridad mínimo y la deflexión máxima de los objetos analizados. Como primer paso se consideró la estructura completa y se localizaron las fuerzas actuantes. Las fuerzas que actúan sobre la estructura son la gravedad y la fuerza del viento.

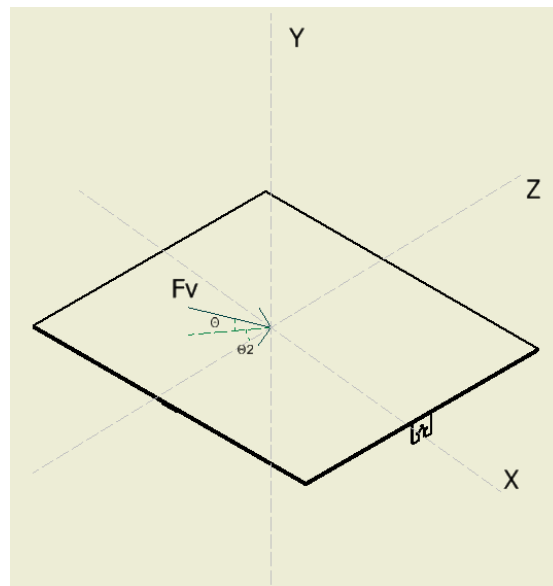
Por facilidad de cálculos la fuerza del viento se consideró como una fuerza puntual que actúa en el centro del panel y que actúa de forma perpendicular al panel. Lo anterior se muestra en la Figura 54.

Figura 54- Ubicación de la fuerza del viento.



La ubicación de la fuerza del viento siempre permanecería en la misma posición, en donde el único parámetro a variar es el ángulo de inclinación. El panel sufre inclinaciones en dos planos, por lo que una mejor representación se observa en la Figura 55.

Figura 55- Fuerza del viento en el espacio



La fuerza del viento se puede representar como un vector dependiente de los ángulos de inclinación, siendo el vector representado con la Ecuación 48.

$$\mathbf{Fv} = (Fv \cos \theta * \sin \theta_2) \mathbf{i} + Fv \sin \theta \mathbf{j} + (Fv \cos \theta * \cos \theta_2) \mathbf{k}$$

Ecuación 48- Representación de la fuerza del viento en vector

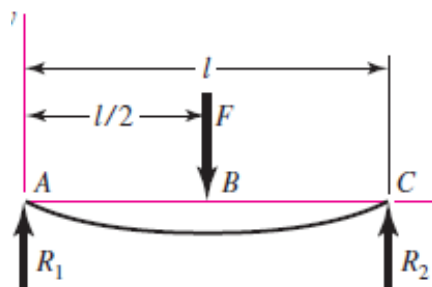
En donde F_v es la magnitud de la fuerza aplicada, $-45 < \theta < 45$ es el ángulo de inclinación diaria, $-8.84 < \theta_2 < 41.5$ es el ángulo de inclinación anual, e i, j y k son los vectores unitarios.

Para nuestros casos críticos se analizarán las posiciones en donde cada una de las fuerzas es máxima. Los casos críticos se dan cuando $\theta = 0$ y $\theta_2 = 41.5$, $\theta = 45$ y cuando $\theta = 0$ y $\theta_2 = 0$. Para no volver el diseño repetitivo se tomarán los 3 casos de manera simultánea, en donde si el elemento no falla con los 3 casos máximos, de forma individual tampoco fallará. La fuerza de la gravedad depende del cuerpo a analizar, por lo que esta fuerza depende de la estructura que se está analizando.

Con estas consideraciones, se realizó el análisis de la estructura diaria, en donde se realizó el análisis de cojinetes, el análisis de los ejes y el análisis de los eslabones. Al asegurarse que estos elementos no fallaron, se corrigió el momento de inercia que se implementó en el capítulo de sistema para movimiento del panel solar.

Como primer paso para el análisis de la estructura diaria se realizó el análisis de fuerzas. Se simuló como una viga de soportes simples con una carga en el centro, en donde el valor de la carga depende del plano en el que se está analizando. La Figura 56 muestra la representación de las fuerzas sobre una viga.

Figura 56- Análisis de fuerza en estructura diaria [10]



El punto A y el punto C corresponden a los puntos en donde están ubicados los ejes. Resolviendo el sistema a través de las ecuaciones de estática $\Sigma M = 0$ y $\Sigma F = 0$, se obtuvo que las fuerzas resultantes son $R_1 = R_2 = F/2$, siendo éstas las fuerzas que actúan sobre los ejes. La Tabla 47 muestra los resultados obtenidos.

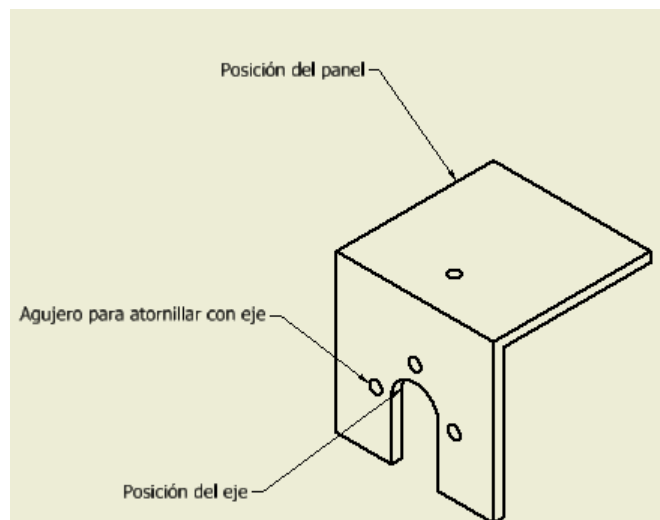
Se realizó la selección de cojinetes, en donde las fuerzas que actúan sobre los cojinetes son la mitad de las fuerzas sobre los ejes. Con estos valores de fuerzas, con las dimensiones del lugar en donde se colocarían los cojinetes y con las ecuaciones mostradas en la sección de cojinetes, se lograron seleccionar los cojinetes a utilizar. En la Tabla 49 se muestran los resultados obtenidos para los cojinetes.

El diámetro interno del cojinete seleccionado es de 0.25 pulgadas y una pared que sobresale de la posición de 0.09 pulgadas. Estas medidas deben ser consideradas para llevar a cabo el diseño de los ejes.

Se procedió a realizar el diseño de los ejes tomando medidas iniciales y consideraciones especiales. Para mantener el eje en su posición, se deben de poner hombros en los puntos en donde estarán ubicados los cojinetes. Los sensores de posicionamiento del Sol deben girar con respecto al plano del panel solar, por lo que se seleccionó que una de las secciones iniciales fuera mucho más larga, y en esa sección se colocó el sensor para que girara dependiendo de la posición del panel solar.

Los ejes deben transmitir el movimiento al panel solar, por lo que el panel solar debe de estar acoplado de alguna manera al eje. Se consideró que dos secciones del eje fueran mucho más grandes y estas dos secciones fueran atornilladas al acople del panel solar. Los acoples implementados se muestran en la Figura 57.

Figura 57- Acoples de estructura a mover y ejes



Conociendo estos detalles se definieron medidas iniciales para los ejes, que luego con el análisis de fuerza y el análisis de elementos finitos, se determinaría si son correctas esas medidas. Las medidas iniciales para el eje diario se muestran en la Figura 58 y la Figura 59.

Figura 58- Longitudes del eje para movimiento diario (pulgadas)

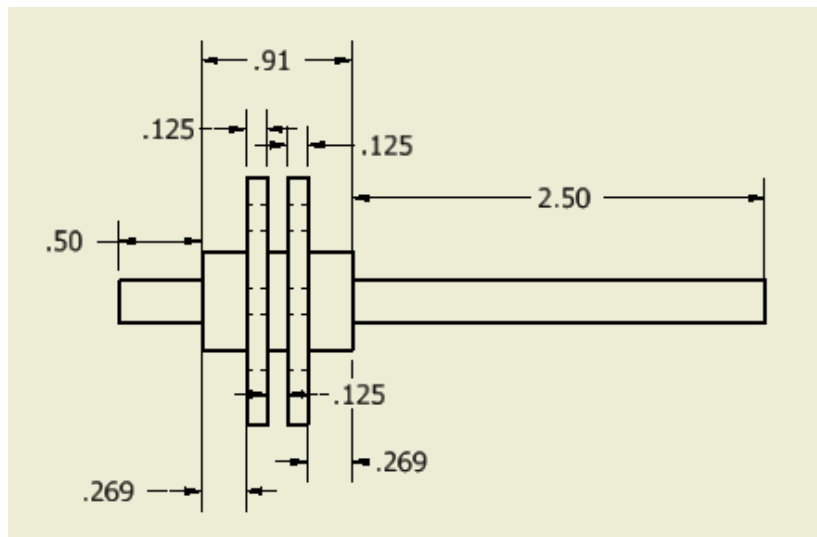
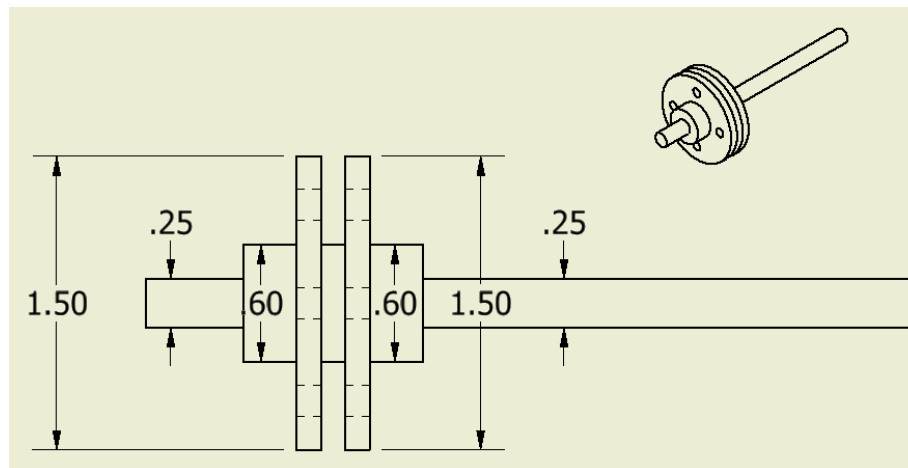


Figura 59- Diámetros del eje para movimiento diario (pulgadas)



Con solo analizar un eje se determinó si los dos ejes son adecuados, ya que las reacciones en los ejes son iguales. En la Tabla 50 se muestran los resultados obtenidos para el eje diario.

Debido a que los ejes contaban con un factor de seguridad muy alto, se implementaron los mismos ejes para el movimiento anual, con la diferencia que no tenían por qué tener la sección más larga para posicionar el sensor de movimiento. La Figura 60 y la Figura 61 muestran las dimensiones de los ejes para el movimiento anual.

Figura 60- Longitudes del eje para movimiento anual (pulgadas)

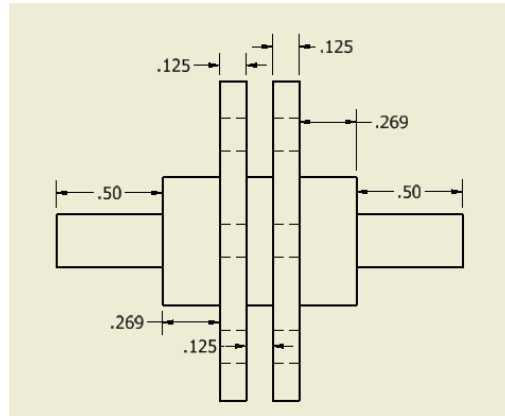
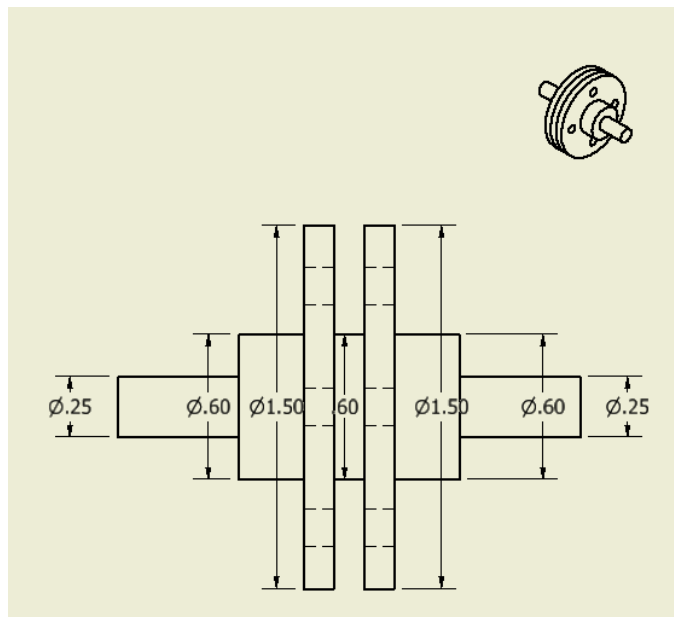


Figura 61- Diámetros del eje para movimiento anual (pulgadas)



Otro análisis que se realizó fue el análisis de los eslabones. Se analizaron el eslabón de entrada y los eslabones de unión por medio del software *Inventor*. En la

Tabla 51 se muestran los resultados del eslabón de entrada y en la Tabla 52 se muestran los resultados de los eslabones de unión.

Con la estructura diaria definida, se procedió a recalculer la inercia del panel solar y la inercia de la estructura diaria a través del software de diseño *Inventor*. Estas inercias establecieron valores más cercanos a la realidad para los cálculos de motores. En la Tabla 53 se muestran los valores de las inercias proporcionadas por *Inventor* y las velocidades del aire que pueden soportar los motores.

Como paso final se procedió a determinar si las dimensiones de la estructura anual son dimensiones que cumplen con las características de diseño. Para esto se consideró la estructura completa (estructura diaria y estructura final), y por medio del análisis de elementos finitos que proporciona *Inventor*, se logró determinar si en alguna parte existe algún peligro de falla. En la Figura 73 se muestran los resultados obtenidos en el análisis de la estructura completa. Este análisis considera la fuerza del viento sobre el panel y sobre la barra que soporta el sensor principal. Se logró determinar que la estructura soporta una fuerza de hasta 133 Km/h sin que sufra falla.

b. RESULTADOS. La Tabla 44 muestra las características obtenidas del aluminio que se utilizó para la elaboración de la estructura.

Tabla 44- Propiedades del aluminio 6063 T5 [7]

Característica	Valor
Aluminio utilizado	6063 T5
Densidad	2.7 g/cm ³
Dureza Brinell	60
Esfuerzo ultimo de tension	186 MPa
Esfuerzo de fluencia	145 MPa
Módulo de elasticidad	68.9 GPa
Relación de Poisson	0.33
Conductividad térmica	209 W/m-K
Expansión lineal	25.6 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$
Calor específico	0.9 J/g $\cdot^{\circ}\text{C}$

La Tabla 45 muestra las características del aluminio utilizado para la elaboración de los ejes.

Tabla 45- Propiedades del aluminio 6061 [7]

Característica	Valor
Aluminio utilizado	6061 T6
Densidad	2.7 g/cm ³
Dureza Brinell	95
Esfuerzo ultimo de tension	310 MPa
Esfuerzo de fluencia	276 MPa
Módulo de elasticidad	68.9 GPa
Relación de Poisson	0.33
Conductividad térmica	167 W/m-K
Expansión lineal	25.2 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$
Calor específico	0.896 J/g- $^{\circ}\text{C}$

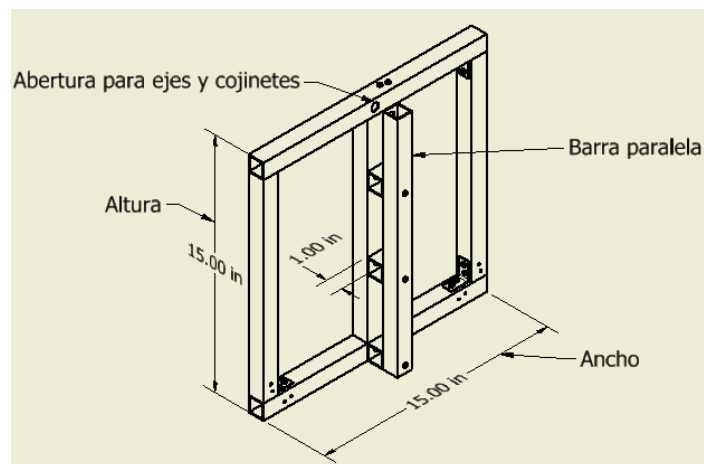
La Tabla 46 muestra las dimensiones de los perfiles seleccionados para la elaboración de la estructura.

Tabla 46- Dimensiones iniciales para diseño de estructura [8]

Perfil	Lado A	Lado B	Espesor
Cuadrado	1"	1"	1/16 "
Angular	2"	2"	1/8"
Platina principal	1.575"	---	0.093"
Platina para eslabones	0.625"	---	0.125"

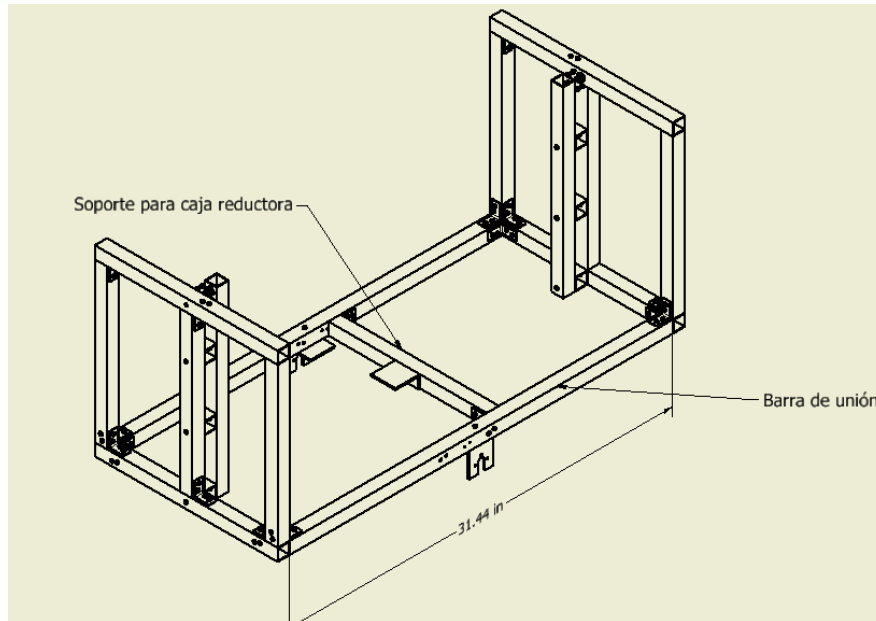
En el capítulo de apéndice se muestran las ilustraciones de los perfiles mencionados anteriormente. La Figura 62 muestra las dimensiones para los soportes del panel solar en la estructura diaria.

Figura 62- Dimensiones de los soportes movimiento diario



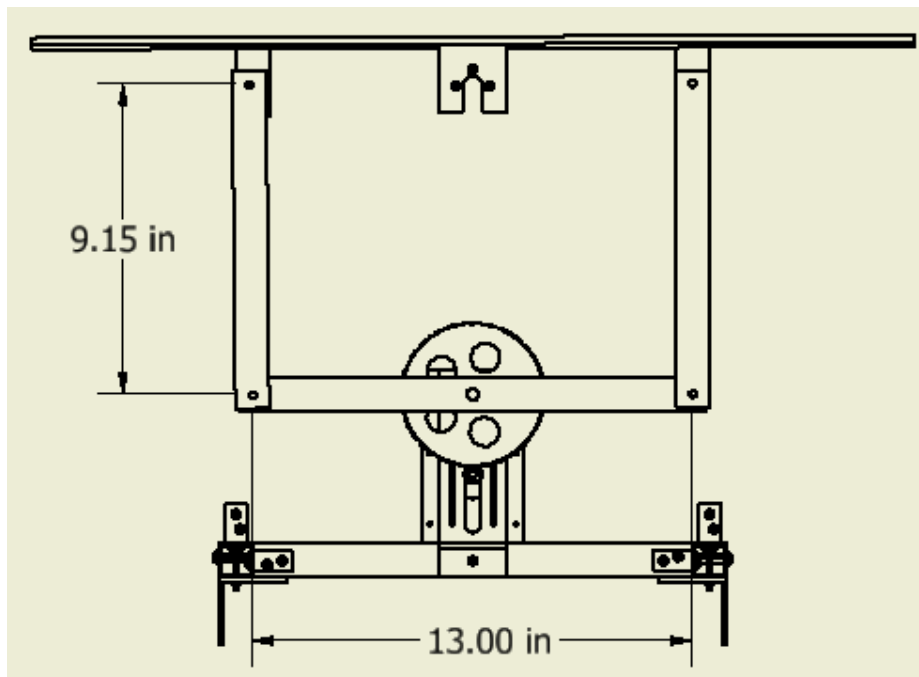
La Figura 63 muestra la longitud de las barras de unión de la estructura.

Figura 63- Dimensiones y nombramiento de partes estructura diaria



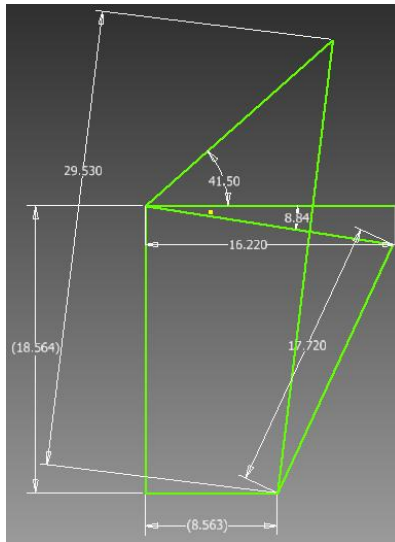
La Figura 64 muestra las dimensiones de los eslabones para el mecanismo diario.

Figura 64- Dimensiones de los eslabones



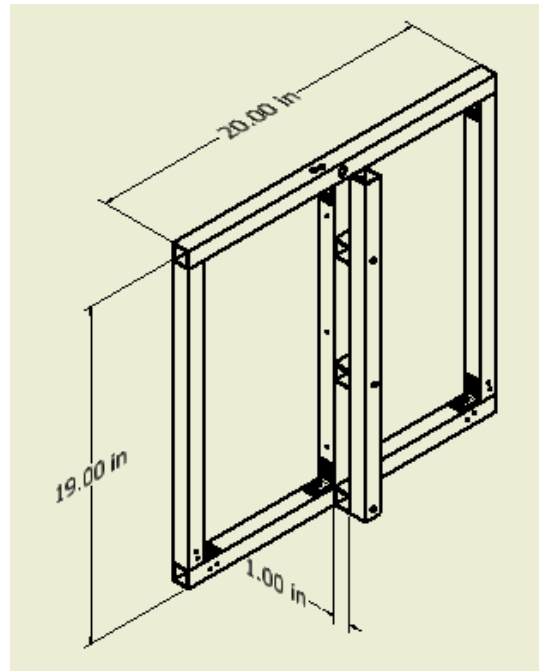
La Figura 65 muestra las dimensiones obtenidas al cambiar el ángulo de giro sobre la horizontal a 41.5 pulgadas.

Figura 65- Análisis dimensional con ángulo de 41.5 grados



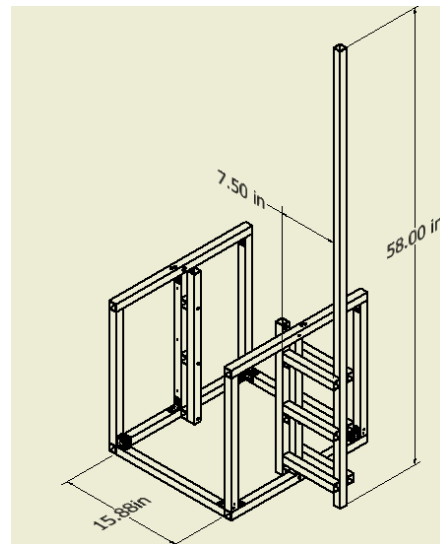
La Figura 66 muestra las dimensiones seleccionadas para los soportes de la estructura anual.

Figura 66- Dimensiones de soporte estructura anual



En la Figura 67 se muestran las dimensiones seleccionadas para las barras de unión y la barra que sostiene el sensor.

Figura 67- Dimensiones de barra de sensor y barras de unión



La Tabla 47 muestra los valores obtenidos para las reacciones en los ejes del movimiento diario.

Tabla 47- Valores de reacciones en ejes de estructura diaria

Dato	Valor
Fuerza del viento máxima F_v (Ecuación 48, valores Tabla 39)	193.04 N
$R_{x1}=R_{x2}$ (Ecuación 48, valor en X)	63.96 N
$R_{y1}=R_{y2}$ (Ecuación 48 valor en Y y Fuerza de la gravedad)	107.49 N
$R_{z1}=R_{z2}$ (Ecuación 48 valor Z)	96.53 N

La Tabla 48 muestra los valores obtenidos para las reacciones en los cojinetes para el movimiento diario. Las reacciones son las mismas para los 4 cojinetes a utilizar.

Tabla 48- Valores de reacciones en cojinetes de estructura diaria

Dato	Valor
$R_{c_{x1}}=R_{c_{x2}}$	31.98 N
$R_{c_{y1}}=R_{c_{y2}}$	53.75 N
$R_{c_{z1}}=R_{c_{z2}}$	48.27 N

La Tabla 49 muestra los resultados obtenidos para el análisis de los cojinetes. Con tan solo analizar un cojinete se obtienen los valores a utilizar en los demás cojinetes ya que los parámetros son los mismos. Los parámetros utilizados son obtenidos por el proveedor y por tablas encontradas en el libro; *“Diseño en ingeniería mecánica de*

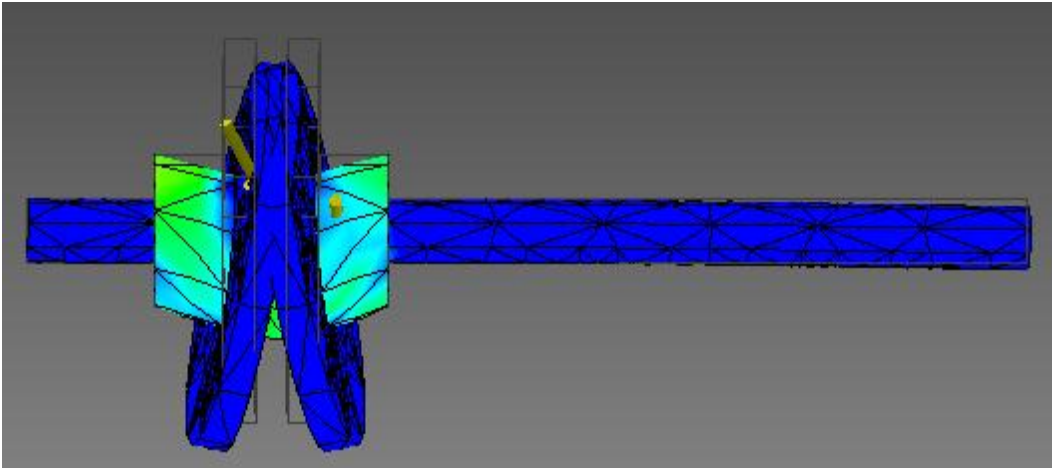
Shigley [10], en el capítulo 11. Las características adicionales del cojinete se muestran en el capítulo de apéndice.

Tabla 49- Valores obtenidos para selección de cojinete

Dato	Valor
Fuerza radial sobre cojinete (Fr)	72.24 N
Fuerza axial sobre cojinete (Fa)	31.98 N
Proveedor	SKF
Factor de aplicación (máquina sin impacto)	1.2
Fd (fuerza radial más factor)	86.7 N
X0 (proporcionado por el proveedor)	0.02
θ (proporcionado por el proveedor)	4.459
B (proporcionado por el proveedor)	1.483
$60L_R N_R$ (proporcionado por el proveedor)	10^6
A (cojinete de bolas)	3
Ld (sugerido para máquinas con servicio de 8 H, que se utilizan plenamente)	20000 Horas
Rd (confiabilidad asumida)	0.99
Velocidad	0.71 RPM
Xd (Ecuación 38)	0.852
C_{10} (Ecuación 37)	136.37 N
C_0 (Cojinete seleccionado)	335 N
Diámetro interno (Cojinete seleccionado)	6.35 mm (0.25 pulgadas)
F_a/C_0	0.095
e (tabla de Shigley, T. 11-1)	0.3
V (anillo interno gira)	1
$F_a/(V*Fr)$	0.44
Subíndice X e Y (tabla de Shigley, T. 11-1)	2
X (tabla de Shigley, T.11-1)	0.56
Y (tabla de Shigley, T.11-1)	1.45
Fe (fuerza equivalente, Ecuación 39)	86.82 N
C10 con Fe como Fd (Ecuación 37)	163.69
C10 de diseño < C10 del proveedor	Sí, cojinete aceptable.

La Figura 68 muestra el análisis realizado bajo elementos finitos en el software de diseño *Inventor*.

Figura 68- Eje diario bajo análisis de elementos finitos en Inventor



La Tabla 50- Valores obtenidos en el análisis del eje diario Tabla 50 muestra los resultados obtenidos para el eje diario.

Tabla 50- Valores obtenidos en el análisis del eje diario

Dato	Valor
Esfuerzo máximo de Von mises (σ')	0.2992 Ksi
Deflexión maxima	1.29×10^{-5} pulgadas
Esfuerzo de fluencia del aluminio 6061 T6 (Tabla 45)	40000 Psi
Factor de seguridad mínimo (Ecuación 36)	133.68

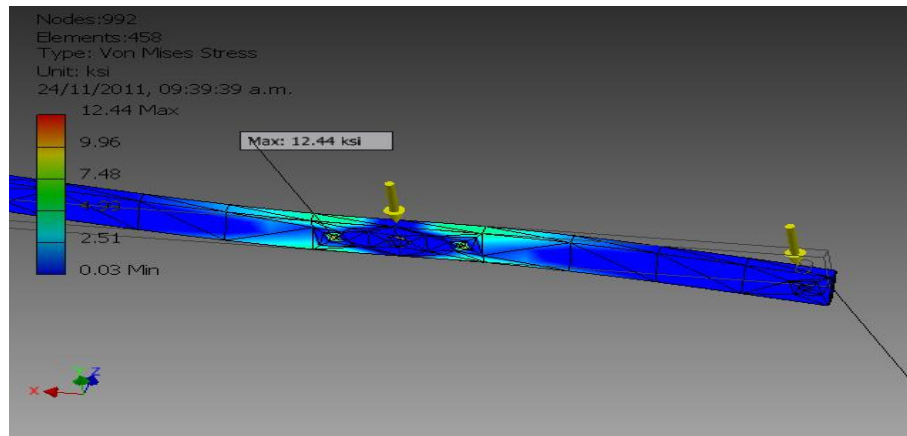
La Tabla 51 muestra los resultados obtenidos en el análisis estático del eslabón de entrada.

Tabla 51- Valores obtenidos en el análisis del eslabón de entrada

Dato	Valor
Esfuerzo máximo de Von mises (σ')	12.44 Ksi
Deflexión maxima	0.0171 pulgadas
Esfuerzo de fluencia del aluminio 6063 T5 (Tabla 44)	21000 Psi
Factor de seguridad mínimo (Ecuación 36)	1.69

La Figura 69 muestra el análisis realizado al eslabón de entrada por medio de elementos finitos en *Inventor*.

Figura 69-Eslabón de entrada bajo análisis de elementos finitos.



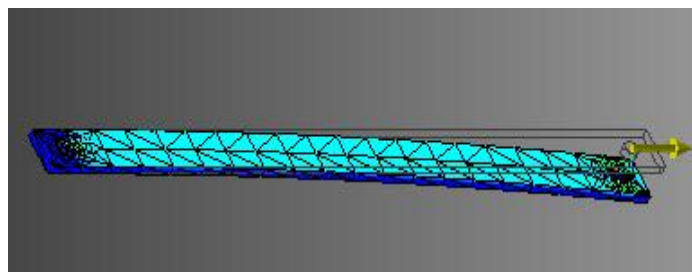
La Tabla 52 muestra los resultados obtenidos para los eslabones de unión. Los resultados son los mismos con la diferencia que en un eslabón son resultados a compresión y en el otro son resultados a tensión.

Tabla 52- Valores obtenidos en análisis de eslabones de unión

Dato	Valor
Esfuerzo de fluencia del aluminio 6063 T5 (Tabla 44)	21000 Psi
Esfuerzo máximo de Von mises (σ') tensión	0.676 Ksi
Deflexión máxima tensión	0.014 pulgadas
Factor de seguridad mínimo a tensión (Ecuación 36)	31.06
Esfuerzo máximo de Von mises (σ') compresión	0.676 Ksi
Deflexión máxima a compresión	0.014 pulgadas
Factor de seguridad mínimo a compresión (Ecuación 36)	31.06

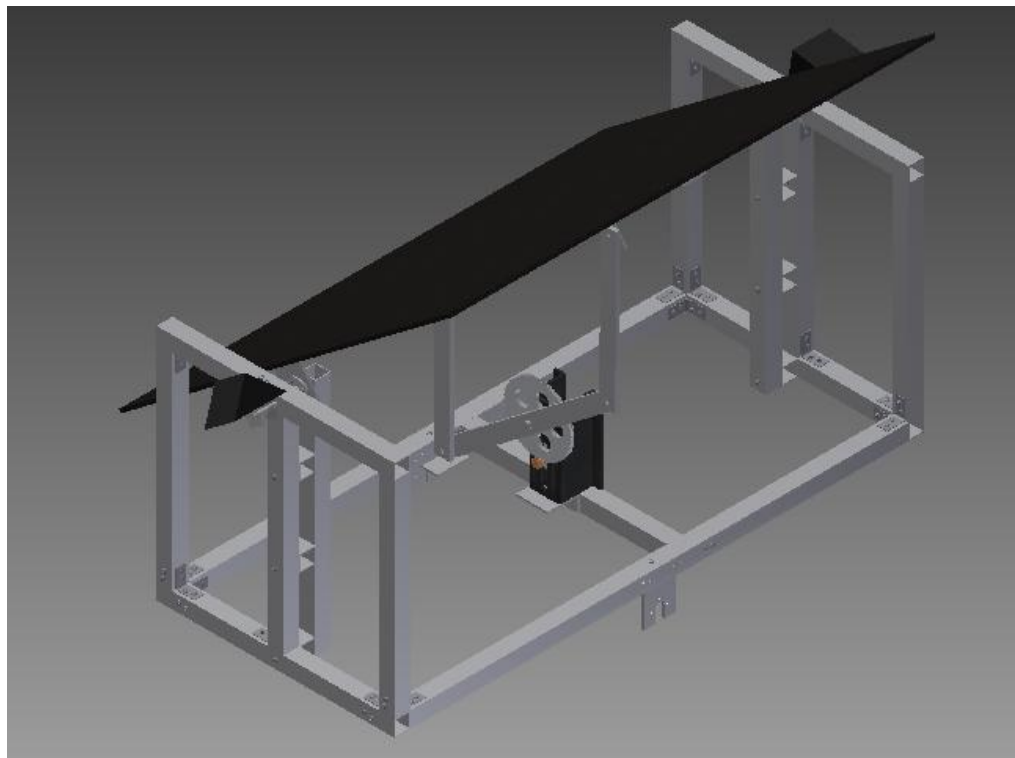
En la Figura 70 se muestra el análisis realizado a los eslabones de unión.

Figura 70- Eslabones de unión bajo análisis de elementos finitos



La Figura 71 muestra el diseño final de la estructura diaria, considerando todas las partes que se utilizaron.

Figura 71- Diseño de estructura diaria con elementos utilizados



La Tabla 53 muestra los resultados obtenidos con el momento de inercia que proporciona *Inventor* para los actuadores utilizados.

Tabla 53- Valores obtenidos con inercia de inventor para cálculos de actuador

Actuador	Característica	Valor
Motor DC	Momento de inercia del panel (Inventor)	0.2985 Kg*m ²
Motor DC	Torque para mover panel a 45°	2.51 N*m
Motor DC	Torque disponible para fuerza del viento	63.82 N*m
Motor DC	Velocidad máxima del viento que soporta el torque del motor	133.4 Km/h
Actuador lineal	Momento de inercia de estructura(Inventor)	2.59 Kg*m ²
Actuador lineal	Torque para mover panel a 38.06°	13.22 N*m
Actuador lineal	Torque disponible para fuerza del viento	181.67 N*m
Actuador lineal	Velocidad máxima del viento que soporta el torque del motor	230.18 Km/h

La Figura 72 muestra la estructura para seguimiento solar de estación meteorológica.

Figura 72- Diseño final de estructura para estación meteorológica



La Figura 73 y la Figura 74 muestran la estructura de la estación meteorológica bajo el análisis de elementos finitos.

Figura 73- Esfuerzos de Von Mises en estructura de estación meteorológica

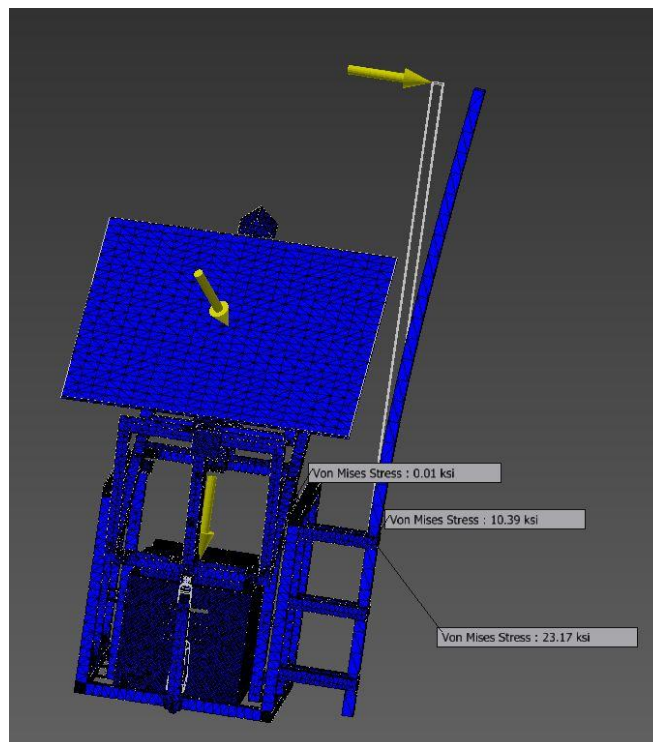
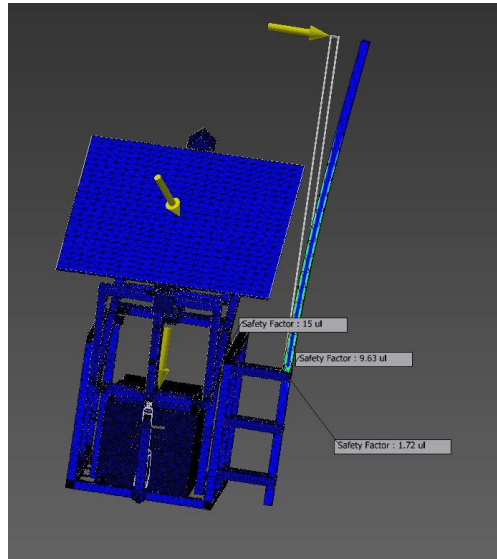


Figura 74- Factor de seguridad en estructura de estación meteorológica



c. **DISCUSIÓN.** Lo primero que se debía de determinar para la construcción de la estructura son los elementos que la componen. Estos componentes se determinaron por la aplicación de la estructura. Ya que es una estructura que permite el movimiento debe tener ejes y cojinetes, siendo el movimiento realizado por motores y por mecanismos de transmisión de movimiento. Los elementos que no deben estar a la intemperie serán protegidos por una caja que debe de ser anticorrosiva.

Ya conociendo los elementos que componen la estructura se analizó uno por uno para tratar de seleccionar el material indicado. Para la estructura principal se investigaron varios materiales que podrían ser útiles y se analizaron cada uno de ellos. El metacrilato de metilo fue uno de los materiales que se analizaron. Ya que es un polímero cuenta con alta resistencia a la corrosión, su densidad es muy baja por lo que su masa es baja, presenta alta dureza superficial y alta resistencia a la tensión. Cuenta con varias desventajas que hace que el material no sea el ideal para esta aplicación. Una de ellas es que al estar expuesto mucho tiempo bajo el Sol, el acrílico lleva a envejecerse, reduciendo sus propiedades de resistencia. Su precio comercial es alto y no se puede trabajar fácilmente con él, por lo que este material se descartó. El segundo material que se analizó fue el acero. La desventaja que se tiene con el acero es que es muy denso, por lo que su masa es grande. Ésta es una propiedad que no se desea, ya que esta estructura no tiene que pesar mucho para reducir la fuerza necesaria para moverla. Al analizar el aluminio se determinó que era el material ideal

para utilizar, ya que cuenta con las ventajas de alta resistencia a la corrosión formando una capa de óxido de aluminio que permite que no se oxide más el material, presenta densidad baja por consiguiente masa baja, su precio comercial es bajo y cuenta con la facilidad para trabajar con él debido a que se vende en perfiles. Se cuenta con la limitante de hacer el diseño dependiendo de los perfiles existentes para reducir costos de materiales y mano de obra. La selección del tipo de perfil a utilizar se basó en la facilidad para poder acoplarse entre ellos y en la estabilidad de la misma. No se seleccionó tubo circular debido a dificultad de acoplamiento, por lo que se seleccionó perfil cuadrado. Según datos del proveedor el aluminio utilizado fue 6063 T5.

Para realizar las uniones entre los perfiles se descartó la utilización de soldaduras, esto debido a que el proceso de soldadura del aluminio se debe de realizar a través de una soldadura de arco. Se debe de realizar por este medio debido a la mayor conductividad térmica y al menor punto de fusión de las aleaciones de aluminio con respecto al acero. Es un proceso más costoso y dificultoso, por lo que se utilizaron esquinas angulares galvanizadas para uniones de 90 grados y pernos con tuercas para uniones sencillas. Ya que los elementos para realizar las uniones no eran de un material muy resistente a la corrosión, se tuvo que buscar una manera para protegerlos adecuadamente. Para aumentar la protección se agregó una capa de pintura anticorrosiva sobre estos elementos.

Los ejes son otros elementos que permiten seleccionar el material con el que se puede trabajar. Estos ejes debían cumplir con los mismos requisitos que la estructura, por lo que se pensó que la mejor opción era el aluminio. Debido a que un eje es un elemento que, por lo general, es cilíndrico, se fabrica a través de un torno. Se consultó acerca del aluminio que más se utiliza en tornos siendo este una aleación de aluminio 6061 T6. Por lo que éste fue el aluminio utilizado para la fabricación de los ejes.

El material de los cojinetes no se pudo seleccionar ya que son elementos prefabricados, por lo que se investigó acerca de modos de prevención ante la corrosión. Cuando se instalan los cojinetes se debe de hacer a presión, esto para no

permitir que entre ningún líquido que pueda corroer el cojinete. Si no se encuentra a presión completa, se puede utilizar un sellador anticorrosivo para evitar que entre el líquido, aplicándose únicamente sobre las paredes exteriores del cojinete. Para evitar la corrosión dentro del anillo interno, se debe de engrasar el cojinete. Estos métodos fueron los que se aplicaron para evitar la corrosión del cojinete.

Como se mencionó en el bloque de selección de materiales para los elementos, el actuador lineal y la caja reductora están fabricados con elementos anticorrosivos, el eje de la caja reductora es de acero inoxidable, el piñón es de bronce, la estructura de la caja reductora es de aluminio y el actuador lineal es de aluminio. Por lo que los materiales con los que están fabricados estos elementos son adecuados para las condiciones de trabajo necesarias.

Para el material de la caja que protegería los componentes electrónicos se seleccionó acero, esto ya que el peso de la caja no afecta la estructura debido a que se colocara sobre el plano en donde se colocara la base de la estructura completa. Para evitar la corrosión se pintó con pintura anticorrosiva.

La selección del tipo de estructura a implementarse se basó en las características que se necesitaban. Debido a que se quería hacer un estudio de un lugar en específico y no una toma de datos rápida, se seleccionó una estación fija. Las estaciones fijas se caracterizan por tener una gran altura, esto para evitar que existan bloqueos en la toma de mediciones. Ya que el lugar en donde se realizaría la instalación no presenta ningún tipo de bloque, las dimensiones a considerar dependerían únicamente de los componentes que se utilizarían en la estructura.

Como se mencionó en el diseño experimental, las dimensiones iniciales tomadas dependieron de los valores proporcionados por el fabricante y del diseño inicial, en donde después de hacer un análisis se determinaría si estas dimensiones eran adecuadas para el desempeño. Si no cumplían los requisitos, las dimensiones tendrían que ser cambiadas.

Se realizó un bosquejo como primer paso para poder dimensionar la estructura diaria. Esto se hizo para poder limitar las dimensiones a utilizar ya que se contaban con muchas variables para el diseño. Al realizar el bosquejo se tuvo que tomar en consideración la posición del mecanismo de transmisión de movimiento, la posición de los ejes para el movimiento y las uniones seleccionadas debido al material. Una de las principales características que se buscó con el bosquejo fue realizar la estructura simétrica, ya que esta estructura tendría que ser móvil y al ser simétrica su centro de gravedad se encuentra en el centro, punto en donde se realizaría el giro para el movimiento anual. Por lo mencionado anteriormente, el mecanismo de transmisión de movimiento se colocó lo más cercano al centro de giro. Para el posicionamiento de los ejes se consideró colocarlos sobre dos apoyos, esto para reducir las reacciones resultantes. Las uniones en el bosquejo se determinaron dependiendo del tipo de unión a utilizar, unión a 90 grados o unión de contacto. Las uniones a 90 grados se realizaron con esquinas angulares, las uniones de contacto con pernos y las uniones de contacto a distancia por medio de perfiles rectangulares.

Para conocer la altura de la estructura se tomó en cuenta el ángulo más bajo de la horizontal a la que podía estar, siendo este de 45 grados. La longitud del centro de giro al extremo del panel es de 13.031, por lo que la altura con respecto al plano horizontal fue de 9.22 pulgadas. Esta altura tiene como referencia el eje de movimiento, por lo que se le tuvo que sumar la distancia existente entre la base de la estructura y el eje de movimiento, siendo esta de 5.39 pulgadas. Se redondeó la suma del eje de giro a la base de la estructura, obteniendo una altura de 15 pulgadas.

La longitud del eslabón de entrada fue la característica que ayudó a determinar el ancho de la estructura, ya que el movimiento de este eslabón no debe de ser interrumpido por el ancho de la estructura. Si se consideraba un eslabón muy largo, la fuerza que actuaba sobre él es menor, pero su deflexión es mayor. Si es un eslabón muy corto, la fuerza que actuaba sobre él es mayor y su deflexión menor. Por lo que se consideró que un eslabón que se encontrara en el medio de estas características era el adecuado. La mitad del ancho del panel solar es de 13 pulgadas aproximadamente, por lo que el eslabón debía medir la mitad de esa longitud, siendo 6.5 pulgadas. Ya que es

un mecanismo paralelogramo articulado doble, el eslabón de entrada tuvo que ser doble, teniendo una distancia entre centros de 13 pulgadas. La posición del mecanismo de movimiento al estar en el centro ayudó a facilitar la longitud del ancho de la estructura. Con geometría básica se pudo determinar que la distancia del centro a uno de los extremos del eslabón en el plano horizontal es de 4.6 pulgadas. Con ayuda del bosquejo se pudo determinar que esa es la distancia mínima, se aumentó un poco más el ancho para evitar cualquier obstrucción. La distancia fue de 6.5 pulgadas en ambas direcciones. Por lo que el ancho interno fue de 13 pulgadas, sumándole las 2 pulgadas del ancho de los perfiles se obtuvo la distancia de 15 pulgadas. Ya que se conocía la altura de la estructura, se pudo determinar fácilmente la longitud de los eslabones de unión, siendo de 9.15 pulgadas.

La distancia entre la barra paralela y el soporte se definió dependiendo de los materiales que se estaban utilizando. Ya que el perfil utilizado es de 1 pulgada de lado, la distancia establecida fue de 1 pulgada.

La altura de la estructura anual depende del ángulo de giro y del lugar en donde se aplicaría la fuerza. El ángulo de giro es la suma de las dos posiciones mínimas, siendo este ángulo de 46.9 grados. La distancia de la fuerza aplicada se obtuvo considerando que el eje de giro se encuentra en el centro de la estructura diaria, en donde la fuerza se aplica en uno de los extremos. El valor de la distancia de la estructura diaria es de 33.44 pulgadas, por lo tanto la distancia de un extremo al centro es de 16.72 pulgadas. La fuerza no se aplicaría en uno de los extremos, si no en la mitad del perfil, por lo que se le debe restar 0.5 pulgadas, obteniendo la distancia final de 16.22 pulgadas. Con estos valores y utilizando la Ecuación 47 se pudo calcular la magnitud aproximada de la distancia lineal requerida para hacer el movimiento. El valor obtenido fue de 12.91 pulgadas.

Obteniendo la carrera, se determinó el actuador necesario dependiendo del proveedor. La carrera más cercana fue de 11.81 pulgadas y la longitud del actuador de 17.72 pulgadas. Con estos valores se pudo desarrollar un análisis dimensional y determinar las medidas requeridas de altura y ancho. Observando el análisis

realizado, se determinó que las medidas requeridas eran demasiado grandes. Para poder disminuir esas medidas, el ángulo de giro debía de aumentarse. Se aumentaron 3.44 grados en la posición sobre la horizontal, cambio que no afectaría el diseño y se obtuvo la medida para la altura de 18.56 pulgadas. La medida del ancho también se proporcionó por medio de ese análisis, siendo de 8.56 distancia del centro a uno de sus extremos. Para mantener simetría se seleccionó el otro lado de igual longitud y redondeando valores se obtuvo una medida interna de 18 pulgadas.

El único sensor que tuvo que ser considerado para el diseño de la estructura anual fue el sensor mostrado en la Figura 53. Ese sensor contaba con la característica de tener que estar completamente despejado para obtener mediciones correctas, por lo que tuvo que colocarse a una altura mayor de la altura de la estructura completa. Para calcular la altura de la estructura se consideraron las posiciones críticas del movimiento y la altura de cada uno de los soportes. La altura mínima obtenida fue de 55.7 pulgadas. Aumentando ese valor para lograr obtener mediciones correctas, la altura a la que debe de estar el sensor sobre la base es de 58 pulgadas. Para la colocación del sensor se utilizó una barra de perfil cuadrado que se unió a la estructura anual por medio de 6 barras del mismo perfil. La longitud de la barra de colocación del sensor es de 58 pulgadas. Para la longitud de las barras de unión entre la estructura y la barra del sensor se midió la diferencia entre la mitad de la longitud del panel solar y la mitad de la longitud de las barras unión de la estructura anual. Se restaron esos valores para encontrar la distancia mínima a la que no se encontraba interferencia entre el movimiento del panel solar y la barra. Esta distancia fue de 5.09 pulgadas, en donde se aumentó el valor a 6.5 y sumándole el ancho de la barra se obtuvo la distancia de 7.5 pulgadas.

Para la realización del análisis mecánico se utilizó el software de diseño *Inventor*, ya que es un programa que a través del diseño permite realizar análisis de elementos finitos. Solo se debe considerar el material del elemento, la geometría y las fuerzas que actúan sobre él. Se consideró como paso inicial la estructura completa, ya que las fuerzas que actúan sobre la estructura no son dependientes del elemento a analizar. Lo único que varía dependiendo el elemento es la distribución de las fuerzas. La fuerza

del viento se consideró como una fuerza vectorial, ya que es la mejor forma de poder analizar las reacciones que se tienen en cada uno de los lugares críticos. Para obtener las fuerzas máximas se analizó cada una de las componentes y se determinó en que ángulo de inclinación se obtenían los máximos valores. Para la fuerza en el eje X el valor máximo se obtiene cuando el ángulo diario esta a 0 grados y el ángulo anual está a 41.5 grados. En el eje Y la fuerza máxima solo depende del ángulo diario, y se da cuando tiene un valor de 45 grados. En el eje Z la fuerza máxima se obtiene cuando el ángulo diario es 0 y el ángulo anual es 0 grados. Se consideraron todas estas fuerzas como que estuvieran actuando simultáneamente.

Para el análisis de fuerzas de la estructura diaria se consideró una viga con soportes simples y una carga en el centro. Los soportes son los ejes y la carga es la fuerza que actúa sobre ese plano. Para el plano X la fuerza es axial y su magnitud máxima es $F_v \sin 41.5$, para el plano Y la fuerza es radial y su magnitud es $mg + F_v \sin 45$, y para el eje Z la fuerza es radial y su magnitud máxima es de F_v . Para obtener el valor de la fuerza del viento se utilizó la Ecuación 44. Las reacciones en cada uno de los planos eran iguales, teniendo como valor $F/2$. Estas reacciones son las fuerzas que están actuando sobre el eje.

Las fuerzas que actúan sobre los cojinetes son la mitad de las fuerza de los ejes debido a que se puede simular el sistema como una viga de soportes simples con una carga en el centro, en donde las fuerzas de reacción son la mitad de la fuerzas aplicadas. La selección de cojinetes dependía del proveedor seleccionado y de las dimensiones del espacio en donde se colocarían los cojinetes. Ya que las reacciones son las mismas en todos los cojinetes, con tan solo realizar el análisis para un cojinete bastaba para los demás cojinetes. El proveedor seleccionado fue SKF, el cojinete es un cojinete de bolas y el diámetro exterior es de 0.5 pulgadas. Estos valores se seleccionaron dependiendo de la facilidad de adquisición y del espacio disponible en la estructura para colocar los cojinetes. Con estas especificaciones se buscó algún cojinete y luego se comprobó si el cojinete soportaba las cargas aplicadas. Con la ayuda de las ecuaciones mostradas en la sección de cojinetes, se determinó que el cojinete seleccionado si era el adecuado.

Para determinar las medidas de los ejes se establecieron valores dependientes del diámetro interior del cojinete, la distancia disponible para las secciones, el modo de acoplamiento del panel solar y el modo de acoplamiento del sensor de movimiento. La distancia para las secciones es de 0.91 pulgadas. Para acoplar el panel solar se usaron 3 secciones, en donde dos de las secciones se atornillaron con los acoples y así el acople moverse al mismo tiempo que el eje. Se diseñó una sección más larga del eje en uno de sus extremos para poder colocar el sensor de movimiento y con esto garantizar que el sensor de movimiento se encuentre en el mismo plano del panel solar principal.

Luego de realizar el análisis del eje en el software de diseño *Inventor*, se pudo determinar que el factor de diseño era muy grande. Esto se debe a que las fuerzas que actúan sobre el eje son relativamente pequeñas para la geometría del eje y el material. El eje tuvo que tener esas dimensiones ya que como se mencionó anteriormente el espacio para el eje y la fabricación del eje fueron las limitantes principales, por lo que se tuvo que aceptar ese valor.

Con el mismo software de diseño se analizó el eslabón de entrada y los eslabones de unión. En el eslabón de entrada las fuerzas a soportar dependen del máximo torque transmitido. Gracias a que el mecanismo es doble paralelogramo articulado, el torque se dividió en dos, y siendo las mismas distancias, las fuerzas que actúan sobre el eslabón son iguales. Conociendo la distancia (6.5 pulgadas) y el torque (66.33 N*m) se pudo calcular la fuerza en cada uno de los extremos. El valor de esta fuerza es de 200 N. Esta misma fuerza es la que actúa a compresión en uno de los eslabones de unión y a tensión en el otro eslabón de unión. Con estos valores se realizó el análisis y se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 51 y la Tabla 52. Con los resultados obtenidos se pudo determinar que el dimensionamiento inicial de los eslabones cumple con los requerimientos.

VI. CAPÍTULO 4 – MÓDULO PRINCIPAL

A. MARCO TEÓRICO

1. PROTOCOLO RS-485. También conocido como EIA-485, está definido como un sistema en bus de transmisión multipunto diferencial, es ideal para transmitir a altas velocidades sobre largas distancias (35 Mbps hasta 10 metros y 100 Kbps en 1.200 metros) y a través de canales ruidosos, ya que reduce los ruidos que aparecen en los voltajes producidos en la línea de transmisión. El medio físico de transmisión es un par entrelazado que admite hasta 32 estaciones en 1 solo hilo, con una longitud máxima de 1.200 metros operando entre 300 y 19200 bps y la comunicación half-duplex (semiduplex). Soporta 32 transmisiones y 32 receptores. La transmisión diferencial permite múltiples drivers dando la posibilidad de una configuración multipunto. Al tratarse de un estándar bastante abierto permite muchas y muy diferentes configuraciones y utilidades.

La interfaz RS485 ha sido desarrollada - analógicamente a la interfaz RS422 - para la transmisión en serie de datos de alta velocidad a grandes distancias y encuentra creciente aplicación en el sector industrial. Pero mientras que la RS422 sólo permite la conexión unidireccional de hasta 10 receptores en un transmisor, la RS485 está concebida como sistema Bus bidireccional con hasta 32 participantes. Físicamente las dos interfaces sólo se diferencian mínimamente. El Bus RS485 puede instalarse tanto como sistema de 2 hilos o de 4 hilos. [78]

Dado que varios transmisores trabajan en una línea común, tiene que garantizarse con un protocolo que en todo momento esté activo como máximo un transmisor de datos. Los otros transmisores tienen que encontrarse en ese momento en estado ultra ohmio. [78]

La norma RS485 define solamente las especificaciones eléctricas para receptores y transmisores de diferencia en sistemas de bus digitales. La norma ISO 8482

estandariza además adicionalmente la topología de cableado con una longitud máxima de 500 metros. [78]

2. PROTOCOLO RS-232C. El RS-232 define especificaciones mecánicas, eléctricas, funcionales y de procedimientos típicos de un protocolo orientado al enlace físico punto a punto.

Este estándar se basa en comunicación asíncrona es decir que los datos pueden ser transmitidos en cualquier momento por lo que deben tomarse precauciones para sincronizar la transmisión y recepción. Como puede verse en el propio título del estándar, en la comunicación serie se distinguen dos tipos de dispositivos: Los equipos terminales de datos DTE ("*Data Terminal Equipment*"), y los equipos de comunicación de datos DCE ("*Data Communication Equipment*").

La interfaz RS-232 está diseñada para imprimir documentos para distancias cortas, de hasta 15 metros según la norma, y para velocidades de comunicación bajas, de no más de 20 Kilobits/segundo. A pesar de esto, muchas veces se utiliza a mayores velocidades con un resultado aceptable.

La interfaz puede trabajar en comunicación asíncrona o síncrona y tipos de canal simplex, *half duplex* o *full duplex*. En un canal simplex los datos siempre viajarán en una dirección, por ejemplo desde DCE a DTE. En un canal *half duplex*, los datos pueden viajar en una u otra dirección, pero sólo durante un determinado periodo de tiempo; luego la línea debe ser conmutada antes que los datos puedan viajar en la otra dirección. En un canal *full duplex*, los datos pueden viajar en ambos sentidos simultáneamente. Las líneas *dehandshaking* de la RS-232 se usan para resolver los problemas asociados con este modo de operación, tal como en qué dirección los datos deben viajar en un instante determinado.

Si un dispositivo de los que están conectados a una interfaz RS-232 procesa los datos a una velocidad menor de la que los recibe deben de conectarse las líneas *handshaking* que permiten realizar un control de flujo tal que al dispositivo más lento le dé tiempo de procesar la información. Las líneas de "*handshaking*" que permiten

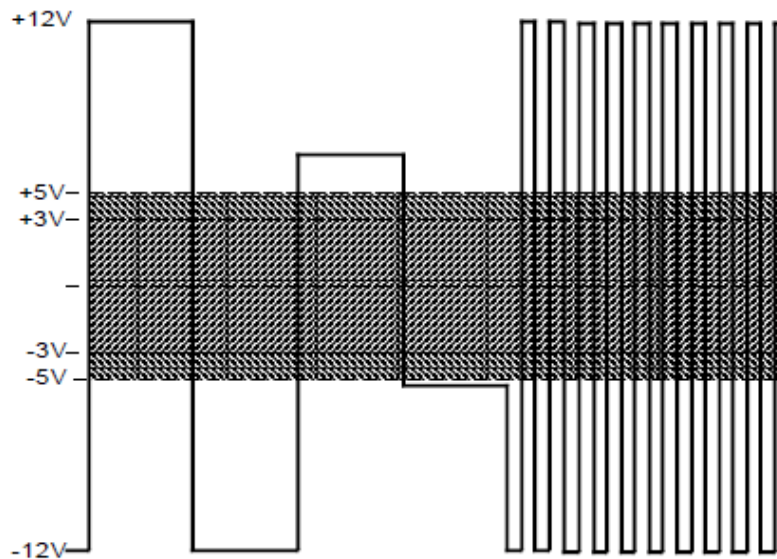
hacer este control de flujo son las líneas RTS y CTS. Los diseñadores del estándar no concibieron estas líneas para que funcionen de este modo, pero dada su utilidad en cada interfaz posteriormente se incluye este modo de uso. [79]

a. ESPECIFICACIONES MECÁNICAS. El conector normalmente empleado en los interfaces RS-232 es un conector DB-25, aunque es normal encontrar la versión de 9 pines DB-9 de forma más difundida. El estándar define que el conector hembra se situará en los DCE y el macho en el DTE. Aunque es fácil encontrar excepciones. También es frecuente que muchos interfaces sólo incorporen parte de los circuitos descritos en la especificación. [79]

b. ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS. El interfaz eléctrico utiliza una conexión eléctrica asimétrica con circuitos no equilibrados, todos referenciados a tierra. [34]

Los estados lógicos son definidos por los siguientes niveles de voltaje:

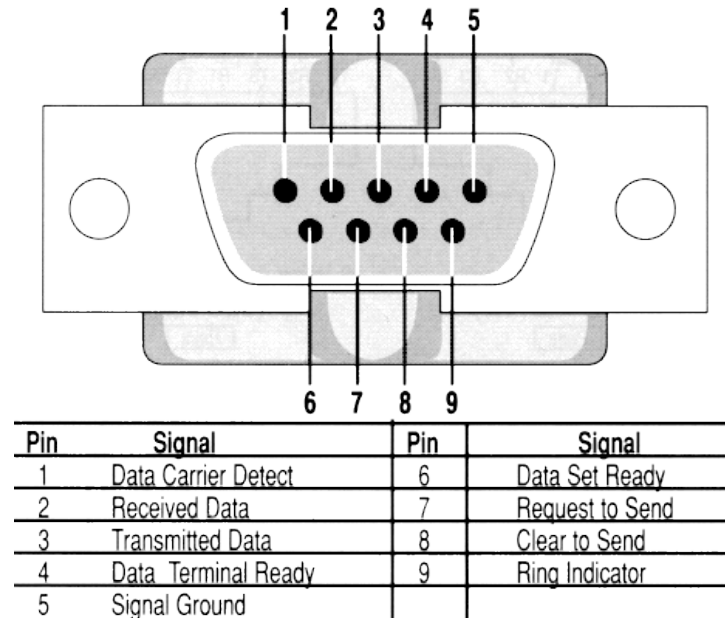
Figura 75- Niveles eléctricos válidos RS-232C [57]



La interfaz se utiliza a una razón de menos de 20Kbps para una distancia menor de 15m. En la práctica se pueden exceder estos límites utilizando cables de baja capacidad en entornos eléctricamente poco ruidosos. [34]

c. ESPECIFICACIÓN FÚNCIONAL

Figura 76- Puerto D-B9 Serial [57]



SG (*Signal ground*): Esta línea debe estar conectada al chasis del PC y desde ahí hacer tierra. [34]

DTR (*Data Terminal Ready*): Esta señal prepara al modem para conectarse a una línea de comunicación y mantener la conexión establecida. Una vez que modem está conectado a la línea este pin debe estar encendido para mantenerse la conexión, si DTR es apagado, provoca una desconexión de la línea, interrumpiendo el enlace de datos en progreso. DTR también puede mantenerse encendido para efectuar la transmisión de datos por el pin TXD. Básicamente DTR es el pin de control maestro del modem. [34]

DSR (*Data Set Ready*): Es la línea que indica que el modem está preparado. Usualmente el DSR está todo el tiempo encendido porque este valor es un indicador de que el MODEM está encendido y listo. [34]

RTS (*Request To Send*): Es la línea que dice al modem que el PC quiere enviar datos. El estándar RS-232 dice que RTS condiciona al modem para la transmisión, en realidad ésta es solo una función que sirve de interruptor a un modem *half duplex* para transmitir o recibir. Mientras un modem *half duplex* está recibiendo, el DTE

guarda el RTS apagado (cero), Cuando le toca al DTE el turno de transmitir, este informa al modem que desea transmitir poniendo el RTS a (uno). El DTE no puede comenzar inmediatamente con el envío de datos al modem porque este, no puede cambiar inmediatamente el modo de transmisión a recepción. Después de poner a uno RTS el DTE monitorea el pin CTS el cual es apagado por el modem que está en modo de recepción, cuando el modem está listo para transmitir, este enciende el CTS en función al DTE que está listo para el envío de datos. Este RTS-CTS (*handshaking*), también es permitido en sentido contrario, es decir cuando el transmisor vuelve a recibir. Como en una comunicación *full duplex* hay dos canales no se necesita el RTS-CTS, de esta forma un modem *full duplex* pone permanentemente el pin CTS conectado al pin DCD (*Data Carrier Detect*). [34]

CTS (*Clear To Send*): Es la línea que indica que el modem está preparado para recibir datos desde el PC. [34]

DCD (*Data Carrier Detect*): Es la línea que indica que el modem tiene de verdad conexión remota. Este pin es también llamado "*Receiver Time Signal Detect*", es encendido cuando el modem recibe una señal remota y se mantiene encendido durante el enlace. En conexiones de modem *half duplex* el DCD es encendido solamente por el MODEM que está en recepción. [34]

TXD (*Transmit Data*): Es la línea de transmisión de datos serie al modem. [34]

RXD (*Receive Data*): Es la línea de recepción de datos serie desde el modem. [34]

RI (*Ring Indicator*): Es la línea que indica que el modem ha detectado la señal de "llamada" (1 lógico). [34]

Además para que dos dispositivos puedan hacer efectivo el intercambio de información, se requiere que cada uno de ellos utilice las mismas características de transmisión, entre estas características están la velocidad de transmisión, que pueden ser de: 110bps, 300bps, 600bps, 900bps, 1200bps, 2400bps, 4800bps, 9600bps, 19200bps. [33]

Cuando un terminal detecta que le están llamando a él activa su señal RTS y queda a la espera de recibir la señal CTS desde el modem antes de enviar su respuesta. Cuando el terminal ha terminado la transmisión, desactiva la señal RTS, lo que hace que el modem desactive su transmisor dejando la línea libre. [33]

3. PROTOCOLO I2C. El protocolo I2C es un sistema de intercambio de información a través de tan solo dos cables que permite a circuitos integrados y módulos OEM interactuar entre sí a velocidades relativamente lentas. Emplea comunicación serie, utilizando un conductor para manejar los pulsos de reloj y otro para intercambiar datos.

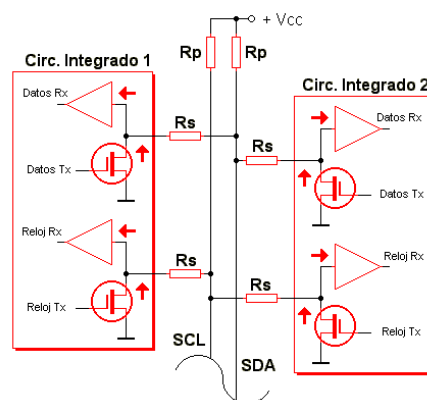
Este bus se basa en tres señales:

- SDA (*System Data*) por la cual viajan los datos entre los dispositivos.
- SCL (*System Clock*) por la cual transitan los pulsos de reloj que sincronizan el sistema.

GND: Interconectada entre todos los dispositivos "enganchados" al bus.

Las líneas SDA y SCL son del tipo drenado abierto, similares a las de colector abierto pero asociadas a un transistor de efecto de campo. Se deben poner en estado alto (conectar a la alimentación por medio de resistores *Pull-Up*) para construir una estructura de bus tal que se permita conectar en paralelo múltiples entradas y salidas. [35]

Figura 77- Configuración eléctrica del bus I2C [58]



En el diagrama se observa la configuración eléctrica básica del bus. Las dos líneas de comunicación disponen de niveles lógicos altos cuando están inactivas. Inicialmente el número de dispositivos que se puede conectar al bus es ilimitado, pero obsérvese que las líneas tienen una especificación máxima de 400pF en lo que respecta a capacidad de carga. La máxima velocidad de transmisión de datos que se puede obtener es de aproximadamente 100Kbits por segundo. [35]

Las definiciones o términos utilizados en relación con las funciones del bus I²C son las siguientes:

Maestro: Dispositivo que determina la temporización y la dirección del tráfico de datos en el bus. Es el único que aplica los pulsos de reloj en la línea SCL. Cuando se conectan varios dispositivos maestros a un mismo bus la configuración obtenida se denomina "multi-maestro". [35]

Esclavo: Cualquier dispositivo conectado al bus incapaz de generar pulsos de reloj. Reciben señales de comando y de reloj proveniente del dispositivo maestro. [35]

Bus desocupado: Estado en el cual ambas líneas (SDA y SCL) están inactivas, presentando un estado lógico alto. Únicamente en este momento es cuando un dispositivo maestro puede comenzar a hacer uso del bus. [35]

Comienzo: Sucede cuando un dispositivo maestro hace ocupación del bus, generando esta condición. La línea de datos (SDA) toma un estado bajo mientras que la línea de reloj (SCL) permanece alta. [35]

Parada: Un dispositivo maestro puede generar esta condición dejando libre el bus. La línea de datos toma un estado lógico alto mientras que la de reloj permanece también en ese estado. [35]

Dato válido: Sucede cuando un dato presente en la línea SDA es estable mientras la línea SCL está a nivel lógico alto. [35]

Formato de datos: La transmisión de datos a través de este bus consta de 8 bits de datos (ó 1 byte). A cada byte le sigue un noveno pulso de reloj durante el cual el

dispositivo receptor del byte debe generar un pulso de reconocimiento, conocido como ACK. Esto se logra situando la línea de datos a un nivel lógico bajo mientras transcurre el noveno pulso de reloj. [35]

Dirección: Cada dispositivo diseñado para funcionar en este bus dispone de su propia y única dirección de acceso, que viene pre-establecida por el fabricante. Hay dispositivos que permiten establecer externamente parte de la dirección de acceso. Esto permite que una serie del mismo tipo de dispositivos se puedan conectar en un mismo bus sin problemas de identificación. La dirección 00 es la denominada "de acceso general", por la cual responden todos los dispositivos conectados al bus. [35]

Lectura/Escritura: Cada dispositivo dispone de una dirección de 7 bits. El octavo bit (el menos significativo o LSB) enviado durante la operación de direccionamiento corresponde al bit que indica el tipo de operación a realizar. Si este bit es alto el dispositivo maestro lee información proveniente de un dispositivo esclavo. En cambio, si este bit fuese bajo el dispositivo maestro escribe información en un dispositivo esclavo. [35]

4. PROTOCOLO MANCHESTER. En la codificación Manchester, cada período de un bit se divide en dos intervalos iguales. Un bit binario de valor 1 se transmite con valor de tensión alto en el primer intervalo y un valor bajo en el segundo. Un bit 0 se envía al contrario, es decir, una tensión baja seguida de un nivel de tensión alto. [1]

Este esquema asegura que todos los bits presentan una transición en la parte media, proporcionando así un excelente sincronismo entre el receptor y el transmisor. Una desventaja de este tipo de transmisión es que se necesita el doble del ancho de banda para la misma información que el método convencional. [1]

La codificación diferencial Manchester es una variación puesto que en ella, un bit de valor 1 se indica por la ausencia de transición al inicio del intervalo, mientras que un bit 0 se indica por la presencia de una transición en el inicio, existiendo siempre una transición en el centro del intervalo. El esquema diferencial requiere un equipo más sofisticado, pero ofrece una mayor inmunidad al ruido. El Manchester Diferencial

tiene como ventajas adicionales las derivadas de la utilización de una aproximación diferencial. [1]

Todas las técnicas bifase fuerzan al menos una transición por cada bit y así se puede tener hasta dos en ese mismo periodo.

Por tanto, la máxima velocidad de modulación es el doble que en los NRZ, esto significa que el ancho de banda necesario es mayor. No obstante, los esquemas bifase tienen varias ventajas:

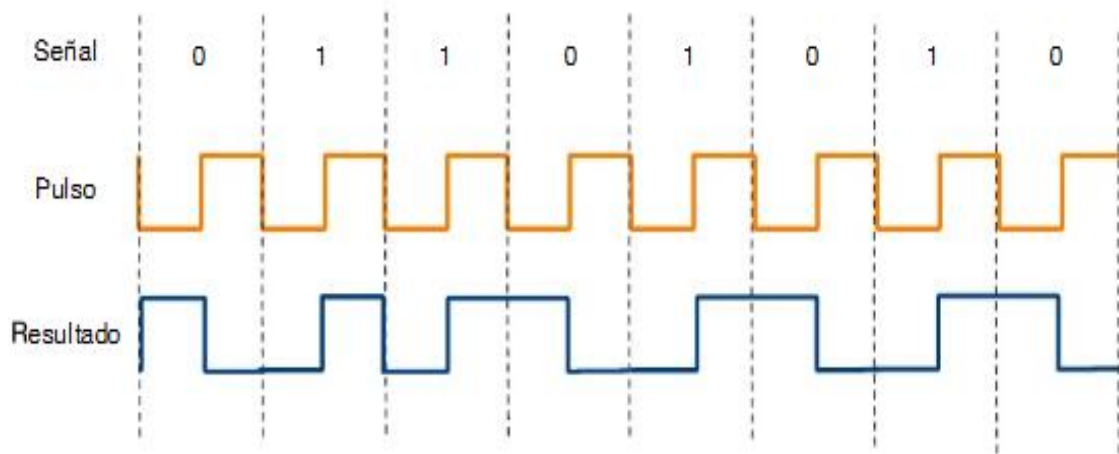
- Sincronización: debido a la transición que siempre ocurre durante el intervalo de duración correspondiente a un bit, el receptor puede sincronizarse usando dicha transición. Debido a esta característica, los códigos bifase se denominan auto-sincronizados.
- No tienen componente en continua.
- Detección de errores: se pueden detectar errores si se detecta una ausencia de la transición esperada en la mitad del intervalo. Para que el ruido produjera un error no detectado tendría que intervenir la señal antes y después de la transición.

Esta codificación combina un pulso de reloj y una señal de interés a través de una compuerta XOR. Requiere que la frecuencia del pulso de reloj esté al doble de la frecuencia de muestreo de la señal. [1]

Tras efectuar la operación XOR entre la señal del pulso de reloj y la señal original, obtendremos otra señal con el doble de frecuencia y que habrá hecho la siguiente codificación: [98]

- Los 0, serán cambiados por 1 0
- Los 1, serán cambiados por 0 1

Figura 78- Ejemplo codificación Manchester [68]



5. MÓDULO USART. Es un periférico para la transmisión de datos en formato serie, utilizando técnicas de transmisión síncrona o asíncrona, según se configure el periférico.

Este periférico generalmente se confunde con algunos de los estándares de comunicación que lo utilizan para la interconexión entre equipos terminales de datos (ETD) y equipos de circuito de datos (DCE), dentro de estos estándares el más popular es el EIA-232, conocido también como RS-232; se utiliza para la interconexión mediante otros estándares como el RS-485 y el RS-422.

Sus salidas, generalmente son del tipo TTL, aunque actualmente también se pueden encontrar otros niveles lógicos dentro de la gama de valores aceptados por el estándar IEEE, para sistemas digitales. Para comunicar dispositivos distintos, mediante cables de conexión, es obligatorio utilizar, por ejemplo, un MAX232 o MAX485 para adaptar los niveles de tensión a los utilizados por RS-232 o RS-485.

La característica más destacable de este tipo de periféricos es que utiliza solamente dos terminales para el envío y recepción de datos, en cualquiera de los dos modos de trabajo.

En el caso de las comunicaciones síncronas uno de los terminales se comporta como reloj (CLK) y el otro como datos (DT). Este tipo de comunicaciones

generalmente demanda el uso de más E/S del dispositivo, por ejemplo un micro controlador, para gestionar el uso del canal de comunicaciones, la ventaja que tiene radica en que no se requiere realizar una configuración previa de los dispositivos conectados al medio de comunicación debido a que la señal de sincronismo viaja por el medio de comunicación.

Para las comunicaciones asincrónicas, se destina un terminal a la transmisión (Tx) y otro a la recepción (Rx), en este caso el sincronismo se hace dentro de cada equipo y la interfaz solo define el uso de un bit de inicio y otro de stop, para indicar el inicio y fin de transmisión de un byte, es por eso que todos los equipos interconectados deben estar configurados para la misma velocidad. Las ventajas más importantes de este modo de comunicación radican en que no se requiere destinar más entradas salidas a completar algunas interfaces como la RS-232, en su forma más reducida y en que se puede transmitir y recibir al mismo tiempo con un solo periférico. [68]

B. METODOLOGÍA

En esta sección se explicará la solución que se dio al módulo principal y parte del módulo de sensores, el cual está constituido de 4 sensores los cuales serán especificados en la siguiente tabla.

TABLA 54: Sensores utilizados

Etiqueta	Nombre	Variable a medir
Sensor 1	New Mountain Innovations NM150	Velocidad del viento
		Dirección del viento
		Presión barométrica
		Humedad relativa
Sensor 2	DS18B20	Temperatura
		Punto de rocío (Calculada)
Sensor 3	TSL23RD	Radiación solar
Sensor 4	ADXL335	Sismos

De los cuatro sensores mostrados en la tabla anterior, se explicaran en una forma general los sensores con las etiquetas de sensor 1 y sensor 2, al hablar en forma

general es decir no como funciona electrónicamente el sensor, si no que la forma de hacer las mediciones y los protocolos de comunicación utilizados en ellos para que sea óptimo el proceso.

Para el control de estos sensores y de las demás funciones que tiene la estación meteorológica, consiste en un módulo central al que llamamos maestro y tres módulos secundarios, llamados esclavos, a continuación se muestra la tabla en forma general de la función de cada uno de los módulos maestro y esclavos. La tabla especifica la etiqueta o nombre con el cual se le conocerá al módulo para identificarlo en el resto del trabajo y su respectiva función para tener una idea de su trabajo en la estación.

TABLA 55: Funciones de los microcontroladores

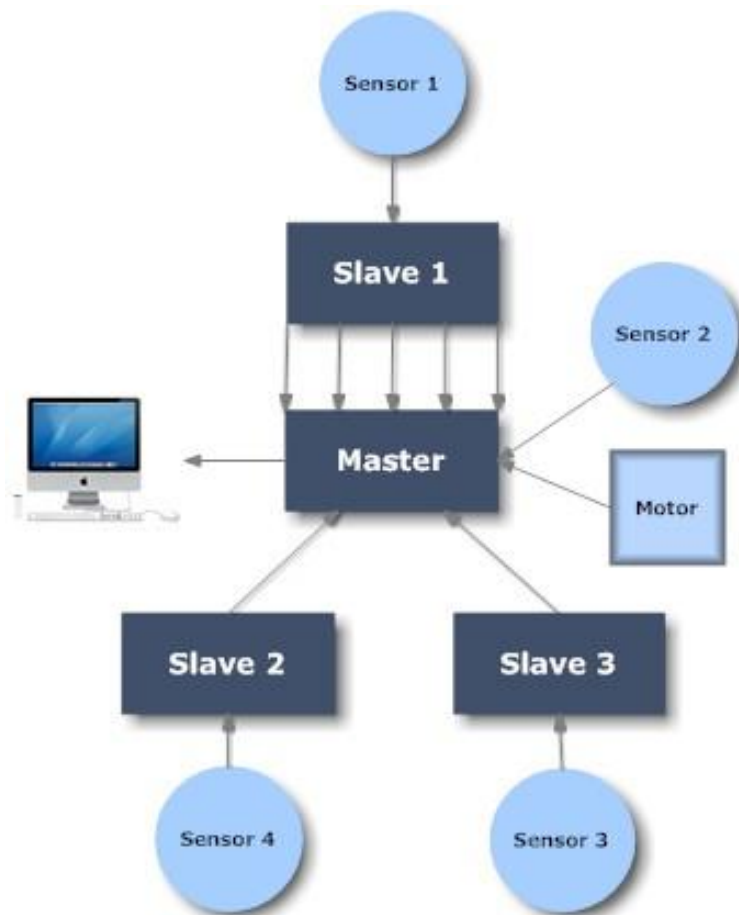
Etiqueta	Función
Maestro	Comunicación esclavo 1 (Puerto paralelo)
	Comunicación esclavo 2 (RS-485)
	Comunicación esclavo 3 (Rs-485)
	Temperatura (Sensor 2)
Esclavo 1	Dirección del viento (Sensor 1)
	Velocidad del viento (Sensor 1)
	Presión barométrica (Sensor 1)
	Humedad relativa (Sensor 1)
	Comunicación maestro (Puerto Paralelo)
Esclavo 2	Sismos (Sensor 4)
	Comunicación maestro (RS-485)
Esclavo 3	Radiación solar (Sensor 3)
	Comunicación maestro (RS-485)

El módulo central o maestro, es el encargado de transmitir toda la información proporcionada por los sensores hacia una base de datos la cual es mostrada hacia los usuarios por medio de una página web diseñada por otro módulo, donde los expertos podrán tener acceso y que por medio de estos datos, se ayude a la realización de predicciones, conocimiento actual del clima, etc. Otro de los objetivos de él es la comunicación con cada uno de los esclavos los cuales son los encargados de almacenar temporalmente las mediciones hechas por cada uno de los sensores.

Los módulos secundarios o esclavos serán tres, como se indicó con anterioridad, cada uno de ellos con la función de encargarse de la obtención de datos de todos los sensores que se utilizarán para el proyecto, y ellos se comunican con el maestro con diferentes protocolos dependiendo el esclavo, y por último el esclavo se comunica con el computador que tiene la base de datos.

En el siguiente diagrama se muestra cómo se conectarán entre ellos todos los módulos, ya que es considerada la forma más óptima para recolectar todos los datos y ser enviados a la base de datos.

Figura 79- Diagrama de módulos



A continuación se expone la descripción y consideraciones de los 4 módulos involucrados, iniciando con el módulo maestro.

1. MÓDULO MAESTRO

a. **COMUNICACIÓN CON EL MICROCONTROLADOR (ESCLAVO 1).** Para el protocolo de comunicación entre estos dos microcontroladores (Esclavo 1 y Maestro), si hicieron varias pruebas para ver cuál era el óptimo a utilizar sin afectar las otras funciones que se estuvieran ejecutando en ambos microcontroladores, entre los protocolos que se pensaba utilizar están:

- Protocolo RS-485
- Protocolo puerto paralelo

1) PROTOCOLO RS-485. Cuando se utilizó el protocolo RS-485 existieron varias ventajas y desventajas al utilizarlo, este protocolo se basaba en utilizar los puertos RC6 y RC7 de ambos microcontroladores los cuales representan los pines de transmisión y recepción de datos del módulo de USART de los PICS los cuales son explicados en el marco teórico del trabajo.

Estos pines no están conectados directamente si no que pasan por el driver MAX485, el cual se utiliza para el control de transmisión y recepción de datos, este driver es controlado mediante otros dos pines y se utiliza uno por microcontrolador, los pines que se controlan son los de -RE y DE, los cuales son los que nos permiten cambiar el modo de operación del driver entre transmitir, recibir o neutro (apagado).

En la siguiente tabla se mostrará cual es la configuración que necesita cada uno de estos pines para trabajar en los módulos antes mencionados.

TABLA 56: Modos del driver MAX485

-RE	DE	Modo
1	1	Transmitir
0	0	Recibir
1	0	Neutro (Apagado)

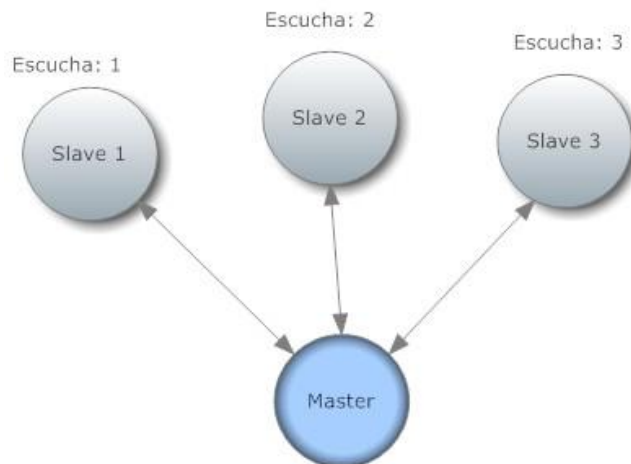
Este control sería responsabilidad del módulo del maestro ya que él tendría que solicitar estos datos cuando sean requeridos para que luego sean transmitidos a la computadora, aunque una de las grandes ventajas del protocolo de comunicación RS-

485 sea su comunicación en ambas vías en este caso solo será necesario en una ya que por facilidades del driver existe el modo neutro el cual es un modo ni de transmisión ni de recepción.

Existen dos formas en las que nos podríamos comunicar en este caso por medio de este driver y este protocolo:

1. Debido a que es un microcontrolador maestro el que se comunica con tres esclavos, se podría asignarle un número al que respondiera cada uno de los esclavos (Esquema de la Figura X), entonces se podría hacer un corto circuito entre RE y DE de los drivers para que solo se necesite dos salidas del maestro para controlar todo el protocolo RS-485 del sistema ya que una de ellas va conectada al corto circuito del driver del maestro y la otra al corto circuito de los drivers de cada uno de los esclavos, entonces solo pueden suceder dos situaciones, que el maestro hable y todos los esclavos escuchen o que el maestro escuche y solo hable el esclavo al que fue llamado, ya que cuando el maestro habla es para indicarle a un esclavo que mande sus datos.

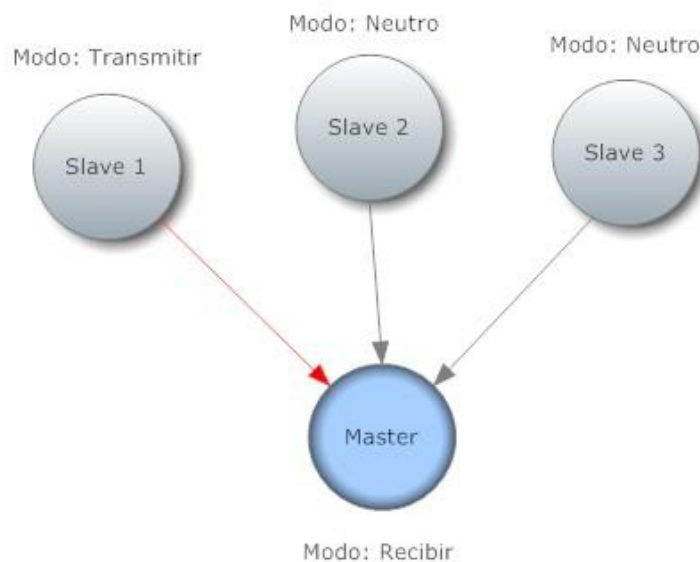
Figura 80- Esquema método 1 del protocolo RS-485



2. Otra forma es en la que el maestro solo recibe datos y no manda nada. De esta forma, los esclavos solo mandan datos, pero no reciben nada del maestro. Esta forma de enviar datos se puede realizar utilizando las ventajas del driver MAX485, ya que los esclavos pueden estar mandando siempre sus datos aunque no sean

escuchados por nadie, en este tipo de comunicación el maestro siempre está en modo escuchar, mientras recibe todos los datos, y los esclavos se encuentran en modo neutro, pero siempre están mandando, cuando el maestro quiere el dato de alguno de los esclavos, solo cambia el modo de este esclavo de neutro a transmitir y así con cada uno de ellos.

Figura 81- Esquema método 2 del protocolo RS-485



En el primer método explicado anteriormente es necesario que se tenga la interrupción del módulo USART siempre activa ya que en cualquier momento se puede recibir un dato, en cambio que con la segunda solo es necesario que el maestro tenga esta interrupción activada entonces da la opción que los demás microcontroladores utilicen las interrupciones necesarias para el control de los sensores.

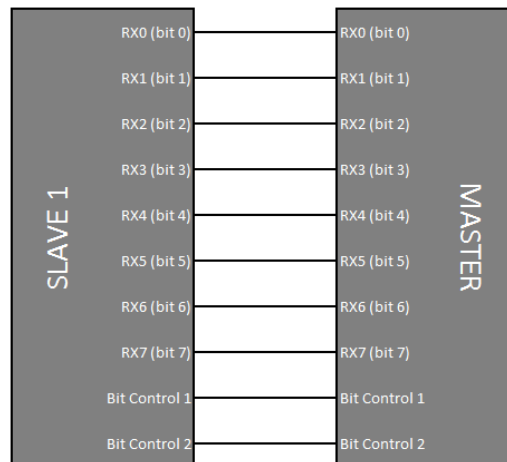
Existen varias ventajas y desventajas en la utilización de este protocolo para la comunicación entre el maestro y esclavo 1, entre las ventajas tenemos que cualquiera de los métodos que se utilice lo máximo que se utilizará para este tipo de comunicación serán dos pines del microcontrolador Rx y Tx, el protocolo RS-485 es totalmente anti-ruidos, debido a las interrupciones no hay manera que se pierda algún dato por tiempo o por razones de cualquiera de los dos microcontroladores esté realizando otra función que no sea la comunicación ya antes mencionada; la única

desventaja que existe en este tipo de protocolo es por razones de la otra función que realiza el esclavo 1, la cual es la comunicación con el sensor New Mountain NM150 el cual se comunica por medio del módulo USART también, pero por ser un sensor con un microcontrolador ya interno que no es programable él envía los datos cada cierto tiempo sin posibilidad de controlar el cuándo mandar o no mandar datos, por lo tanto se complica la programación de la recepción de estos datos, ya que el módulo USART está dedicado especialmente a este sensor.

Es por esta razón principalmente que se llevó a buscar otras alternativas de comunicación entre el maestro y esclavo 1 las cuales veremos a continuación.

2) PROTOCOLO PUERTO PARALELO. El puerto paralelo en si no se utiliza como protocolo de comunicación, ni existe una librería específica para el control de esto, la única forma de hacerlo es con el control de 10 bits (pines).

Figura 82- Esquema de comunicación por puerto paralelo



Este protocolo se hizo debido a que el módulo USART se utilizó para recibir los datos del sensor New Mountain NM150, el cual se recibe por medio de la interrupción y el controlador interno del sensor no puede ser reprogramado, por lo que se buscó esta alternativa para el envío de datos entre el maestro y esclavo 1.

Este protocolo se hizo utilizando un puerto entero de ambos microcontroladores los cuales equivalen a los 8 bits de transmisión que con ellos se puede definir

cualquier carácter ASCII, y aparte dos bits de control de cualquier otro puerto para simular el reloj de transmisión.

Como se programa este protocolo fue que cada vez que se recibía datos de parte del sensor New Mountain NM150 este entraba la interrupción como el sensor el sensor mandaba dos cadenas de datos, las cuales serán especificadas más adelante, la única que nos interesaba era la cadena \$WIMDA la cual es la que contiene las variables que la estación meteorológica proporcionará, estos datos eran guardados en una cadena y hasta que el último dato fuera guardado se proseguía con el envío de estos datos por el puerto paralelo esto se realizaba mandando carácter por carácter por el puerto en código ASCII, junto con uno de los bits de control en 1, mientras se hacía esto el maestro debería de estar verificando si hay algo en algunos de los bits de control si encontraba el 1 por lo tanto leía que hay en el puerto paralelo para luego almacenarlo en una lista; precisamente después de almacenar este dato lo que esperaba ahora para guardar otro es que el otro bit de control estuviera en 1, con este método evitamos que guarde el mismo dato dos veces debido al tiempo que este el dato en el puerto paralelo, entonces mientras este esperaba que se cambiara el bit de control, el esclavo 1 cambia el bit al mismo tiempo que cambia el dato del puerto paralelo.

Figura 83- Comunicación por puerto paralelo



En la Figura 75- Niveles eléctricos válidos RS-232C [57] se puede observar cómo se realizó la comunicación por puerto paralelo, ahí se puede observar ambos puertos B con los datos que se están transfiriendo, y la alternación de los dos bits de control, así también el despliegue de los datos para control.

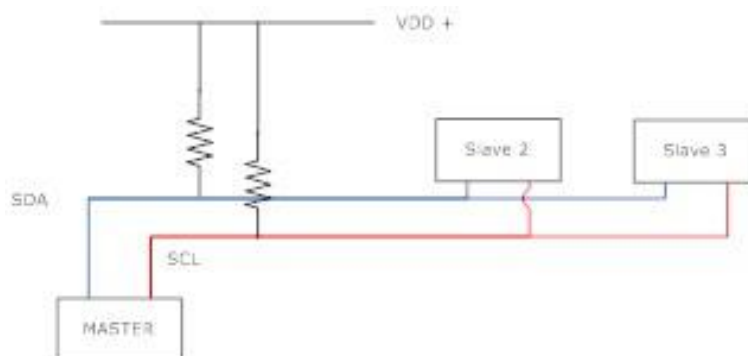
Es así como queda toda la cadena de datos almacenada temporalmente en el maestro para luego ser enviada por el módulo USART a la computadora.

b. COMUNICACIÓN CON EL MICROCONTROLADOR (ESCLAVO 2). Para la comunicación entre estos dos microcontroladores se probó de realizar con distintos tipos de protocolos, ya que son 3 esclavos se buscaba una forma de realizar el mismo tipo de protocolo con los 3 esclavos, los protocolos de comunicación que fueron aplicados y probados hasta seleccionar el que mejor funciona para esta aplicación son:

- Protocolo I2C
- Protocolo Manchester
- Protocolo RS-485

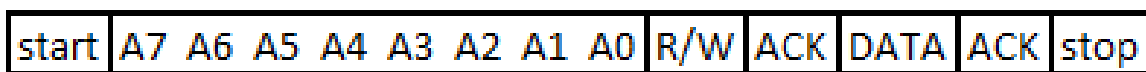
1) PROTOCOLO I2C. Se hizo la prueba de realizar la comunicación de todo el sistema por medio del protocolo I2C, para ello se realizó un corto circuito entre cada uno de los pines de los microcontroladores que son los encargados de las líneas de transmisión SDA y SCL, el funcionamiento de este protocolo se explica con más detalle en el marco teórico, estas líneas son las de datos y el reloj respectivamente. En la siguiente figura se puede observar cómo fueron conectados cada uno de los esclavos con el maestro.

Figura 84- Esquema de protocolo I2C



Este protocolo fue creado de la siguiente manera: los esclavos 2 y 3 son los encargados de almacenar temporalmente los datos obtenidos de los sensores que miden las variables de sismos (acelerómetros) y Radiación Solar respectivamente. A cada uno al iniciar el protocolo I2C de la librería que trae MIKRO-C, se le asigna un número al cual solo responderá él; cada uno de los microcontroladores debe de tener la cadena de datos lista para ser enviada cuando el maestro se lo solicite cada vez que el maestro habla ambos salves son interrumpidos en sus funciones para que reciban la cadena que el maestro y mande y verifique si es a él o no que se le está preguntando por la información. A la hora que el maestro habla manda la cadena de datos mostrada en la siguiente figura, la cual se comunica con los esclavos por la misma línea de transmisión y con palabras de 8-bits. Mientras este proceso se hace, la otra línea de transmisión (SCL) se encarga de controlar el reloj con el cual se van enviando cada palabra este reloj es generado por el maestro y lo esclavos se sincronizan a él.

Figura 85- Cadena de datos enviadas por maestro (Protocolo I2C)



Esta cadena de datos es enviada por el maestro cada vez que solicita datos de un esclavo, todos esos datos son enviados por medio de métodos que se encuentran en la librería I2C de MIKRO-C, y son los datos necesarios para el protocolo I2C como se puede observar en el marco teórico.

Este protocolo tiene sus ventajas y desventajas según la aplicación para el cual lo queremos utilizar, entre las ventajas que tenemos para el uso de este protocolo esta la forma de hacer todo el proceso de comunicación por medio de solo 2 líneas de transmisión, se puede trabajar con multi-maestros, no se necesitan drivers adicionales para su uso y es un protocolo fácil de controlar gracias a la librería ya disponible.

Las desventajas para el esclavo 2, no son muchas, la lentitud del bus a comparación de otros protocolos, pero debido a que este microcontrolador no usa ninguna interrupción para la obtención de datos, por lo tanto por ser el microcontrolador que guarda los sismos, se activara la interrupción PIE1 y cada vez

que el maestro habla, escucha y si es para él, retorna la información de los acelerómetros. Debido a que cada vez que el maestro solicita la información pasa un lapso de tiempo, el microcontrolador guarda el valor más grande, para ver cuál fue la intensidad más grande que se reportó en ese lapso de tiempo.

2) PROTOCOLO MANCHESTER. Otras de las opciones que se probó realizar es utilizar el protocolo Manchester para la comunicación del sistema, este protocolo de comunicación funciona similar al del I2C, con pequeñas diferencias.

Entre las similitudes entre estos dos protocolos es que también solo utilizan dos líneas de transmisión una línea que tiene los datos a transmitir y otra con el reloj que es generada por el maestro.

Lo que se buscaba con el protocolo Manchester es poderse comunicar maestro con los dos esclavos sin necesidad de utilizar drivers como se haría al utilizar el protocolo RS-485, pero no se logró de manera eficiente, aunque el protocolo Manchester tiene las ventajas de combinar la señal de datos con la del reloj y formar una sola señal auto-síncrona en el flujo de datos, el cual cada bit codificado contiene una transición en la mitad del intervalo de duración de los bits, las cuales una transición de negativo a positivo representa un 1 y una transición de positivo a negativo un 0.

La desventaja en este protocolo es que al igual que el I2C cada esclavo se necesita estar interrumpiendo y esto puede afectar las funciones que ellos realizan. Al igual que este tipo de protocolo consume el doble de ancho de banda que los otros.

Este protocolo funciona bien en la comunicación entre el maestro y el esclavo 2, pero debido a lo que se mencionó en lo anterior por las interrupciones que se utilizan en el esclavo 3 no puede ser interrumpido de esta manera.

3) PROTOCOLO RS-485. La forma en que fue utilizada este protocolo ya fue explicada en el rubro: (V) Metodología, (A) Módulo Maestro, (1) Comunicación con el microcontrolador (Esclavo 1), (a) Protocolo RS-485, se utilizará de la misma manera para la comunicación entre esclavo 2 y maestro.

Se utilizará el driver MAX485 con el cual no será necesario comunicarse del maestro al esclavo, si no que con las ventajas ya antes mencionada en el rubro: (V) Metodología, (A) Módulo Maestro, (1) Comunicación con el microcontrolador (Esclavo 1), (a) Protocolo RS-485, el maestro trabajará con el driver en modo receptor mientras que los esclavos mandan sus datos cada vez que son tomados, cuando el maestro quiera estos datos solo debe de cambiar el modo del driver a transmisión del cual quiere los datos, entonces estos son enviados a la computadora.

c. COMUNICACIÓN CON EL MICROCONTROLADOR (ESCLAVO 3). La comunicación entre el esclavo 3 y el maestro se necesita para mandar los datos obtenidos por el sensor de Radiación Solar y que son almacenados temporalmente, los protocolos utilizados para esta comunicación son los mismos que se utilizaron en el esclavo 2 y se puede observar cómo fueron aplicados en el rubro (V) Metodología, (A) Módulo Maestro, (2) Comunicación con el microcontrolador (Esclavo 2).

- Protocolo I2C
- Protocolo Manchester
- Protocolo RS-485

1) PROTOCOLO I2C. La forma en que se utilizó el protocolo fue igual que en la comunicación maestro y esclavo 2. Ver protocolo I2C del maestro-esclavo 2.

2) PROTOCOLO MANCHESTER. La forma en que se utilizó el protocolo fue igual que en la comunicación maestro y esclavo 2. Ver protocolo Manchester del maestro-esclavo 2.

3) PROTOCOLO RS-485. La forma en que se utilizó el protocolo fue igual que en la comunicación maestro y esclavo 2. Ver protocolo RS-485 del maestro-esclavo 2.

La única diferencia entre la comunicación del esclavo 2 y esclavo 3, es que el microcontrolador del esclavo 3, para la obtención de datos del sensor de Radiación Solar necesita un lapso de tiempo variable al cual no puede ser interrumpido para que los datos obtenidos sean válidos, es por esta razón que los protocolos I2C y Manchester fueron descartados y se utilizó el protocolo RS-485.

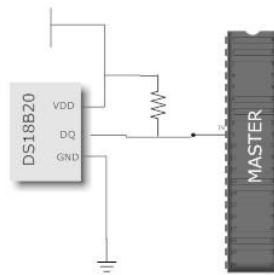
d. TEMPERATURA (SENSOR 2). La temperatura es una de la variable que no estaba prevista tomarla de manera independiente ya que era tomada por el sensor New Mountain NM150 y estos datos son obtenidos por el esclavo 1, pero debido a circunstancias fuera de nuestro control el sensor dedicado a la temperatura en el New Mountain NM150 mandaba datos erróneos debido a que fue expuesto a humedad y dejo de funcionar.

Figura 86- Sensor de temperatura DS18B20



La temperatura se toma ahora por medio del sensor DS18B20, el cual es un sensor sencillo que toma la temperatura y es capaz de medir un rango entre $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ perfecto para el uso que se le quiere dar el cual es medir la temperatura ambiente, este sensor utiliza el protocolo *one-wire* para comunicarse con el microcontrolador y para mandar las mediciones que realiza, en el siguiente esquema se puede observar cómo se conectó este sensor al microcontrolador para obtener datos.

Figura 87- Esquema de conexión con sensor DS18B20 (Temperatura)



De la única forma que se puede comunicar con este sensor es por el protocolo *one-wire* como se había explicado con anterioridad y el cual se puede consultar su forma de operación en el marco teórico de este trabajo.

El protocolo *one-wire* manda una cadena de 4 bytes, los cuales son recibidos mediante la librería *one-wire* con la que cuenta MIKRO-C estos datos son almacenados en una variable y luego se aplica un método creado para convertirlos en números decimales según el código ASCII para poder ser mandados de esta forma a la computadora.

e. TRANSMISIÓN DE DATOS A LA COMPUTADORA. Esta transmisión de datos se hace por medio del protocolo RS-232 el cual está, solo se necesitó realizar el circuito con el driver que se necesita para aplicar este tipo de protocolo, y cada vez que el maestro recopila los datos de cada uno de los esclavos son enviados inmediatamente, ya que se utiliza la misma variable definida como lista para almacenar temporalmente todos los datos, se recurrió a este método debido a que los microcontroladores no pueden tener dos cadenas demasiados grandes debido a los espacios en los bancos.

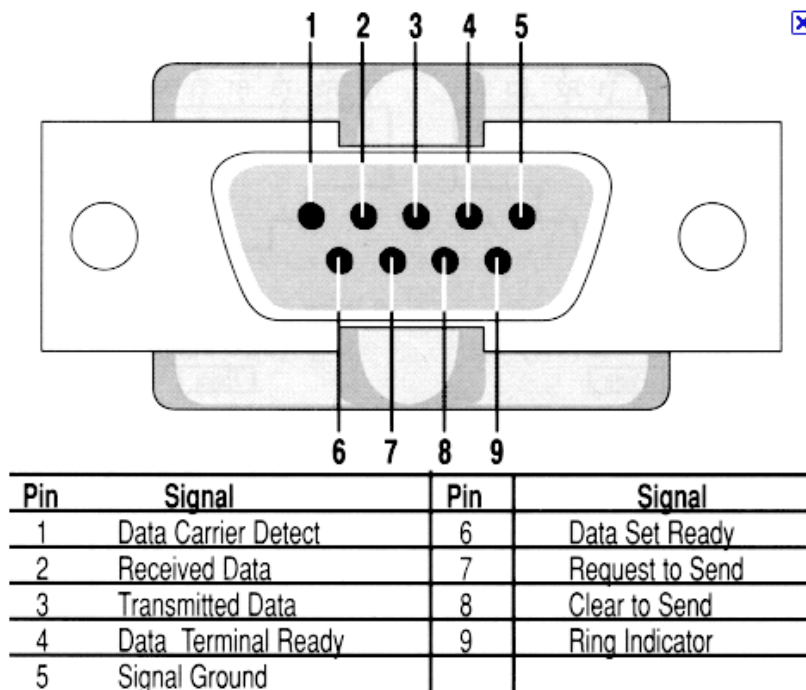
2. MÓDULO ESCLAVO 1

A. NEW MOUNTAIN NM150 (SENSOR 1). Este módulo de sensor es un dispositivo pre-fabrico el cual tiene varios sensores en su interior y un microcontrolador el cual su programación no puede ser modificada, éste es un sensor el cual trae su software para ser controlado desde un ordenador, pero no era el uso que nosotros le queríamos dar es por esto que se comunicó con un microcontrolador (esclavo 1) para poder manipular estas variables a nuestro gusto, nos dimos cuenta que el sensor obtiene

datos y estos son transmitidos por medio del protocolo RS-485, debido a que no sabemos con qué número responde el sensor por el protocolo se decidió utilizar el convertidor HEXIN modelo:485 el cual se encarga de convertir de protocolo RS-485 al RS-232, es cual es un protocolo más fácil de leer desde un microcontrolador y desde el serial de una computadora.

La alimentación del convertidor, se puede hacer de dos maneras del lado del RS-485 o del RS-232, los cuales son el sensor New Mountain NM150 o el microcontrolador Esclavo 1 respectivamente. Debido a que no se podía hacer modificaciones en el programa del microcontrolador del sensor New Mountain NM150, la alimentación al convertidor debe ser por el RS-232.

Figura 88- Descripción del puerto serial



El transformador era alimentado por el pin “*request to send*”, el cual es un pin que los puertos seriales de las computadoras los alimentan con 9 V, para poder alimentar este convertidor cuando se conecta el sensor al microcontrolador esta alimentación se realiza por medio de una modificación en el circuito que tiene el driver MAX232 para sacar el voltaje necesario.

Ya conectado al microcontrolador el sensor manda dos cadenas de datos los cuales serán especificados en las siguientes imágenes.

Figura 89- Sintaxis de la cadena WIMDA (New Mountain NM150)

Syntax

```
$WIMDA,<1>,<2>,<3>,<4>,<5>,<6>,<7>,<8>,<9>,<10>,<11>,<12>,<13>,<14>,<15>,<16>,<17>,<18>,<19>,<20>*hh<CR><LF>
```

Las especificaciones de cada dato están en la tabla 57:

TABLA 57: Especificaciones de datos de la cadena WIMDA (New Mountain NM150)

Dato	Variable	Dimensional
1	Presión Barométrica	Pulgadas de Mercurio
2	I	Pulgadas de Mercurio
3	Presión Barométrica	Bars
4	B	Bars
5	Temperatura	Grados Centígrados
6	C	Grados Centígrados
7	Blanco	
8	Blanco	
9	Humedad Relativa	Porcentaje
10	Humedad Absoluta	Porcentaje
11	Punto de Rocío	Grados Centígrados
12	C	Grados Centígrados
13	Dirección del viento	Real
14	T	Real
15	Dirección del viento	Magnética
16	M	Magnética
17	Velocidad del Viento	Knots
18	K	Knots
19	Velocidad del Viento	Metros por Segundo
20	M	Metros por Segundo

Ejemplo:

```
$WIMDA,30.2741,I,1.0252,B,18.5,C,,99.8,,18.4,C,115.0,T,112.9,M,1.3,N,0.7,M*6C
```

La cadena “WIMDA” es la que tiene los datos de todas las variables que se necesitan medir y la “GPGGA” es la que tiene todos los datos del GPS la cual tenía los siguientes datos:

Figura 90- Sintaxis de la cadena GPGGA (New Mountain NM150)

Syntax

```
$GPGGA,<1>,<2>,<3>,<4>,<5>,<6>,<7>,<8>,<9>,<10>,<11>,<12>,<13>,<14>*hh<CR><LF>
```

Los datos que manda son:

TABLA 58: Especificaciones de datos de la cadena GPGGA (New Mountain NM150)

Dato	Variable	Dimensional
1	Posición UTC	
2	Latitud	
3	Norte o Sur	
4	Longitud	
5	Este u Oeste	
6	Indicador de GPS	
7	Número de Satélites	
8	Precisión	
9	Altitud	
10	M	
11	Blanco	
12	Blanco	
13	Blanco	
14	Blanco	

Ejemplo:

```
$GPGGA,071531,1435.1650,N,09029.4353,W,2,4,1.4,1559.2,M,,,,*08
```

De estas dos cadenas solo se le da importancia a la “\$WIMDA” y se manda al microcontrolador maestro.

B. COMUNICACIÓN CON EL MICROCONTROLADOR (MAESTRO). El procedimiento para realizar esta comunicación es el mismo que se llevó a cabo en el módulo maestro.

3. MÓDULO ESCLAVO 2

a. SISMOS (SENSOR 4). La variable sismos será medida por medio de acelerómetros, para esto se utiliza el sensor ADXL335, el cual consiste en tres acelerómetros que miden cada uno de los ejes X, Y y Z; lo que se calcula con este acelerómetro es el cambio de posición que se dan desde un punto inicial, los cambios en los ejes son dados con punto flotante por lo tanto para guardarlos se necesita una variable float la cual es equivalente a 4 bytes, los acelerómetros buscan un cambio de posición cada 100 ms y este es guardado en una variable.

Cada 100 ms los datos de los tres ejes son enviados en una cadena aunque el microcontrolador maestro no los haya recibido, mientras no sea recibido por el maestro, lo cual es porque está pidiendo los datos a los demás esclavos, siempre se manda el valor más grande detectado por los tres ejes, estos valores siguen guardados temporalmente en estas variables hasta que el maestro le indique por medio de un bit que ya fue recibido entonces el sensor toma la variación actual y así sucesivamente.

Luego estos datos son enviados por medio del protocolo RS-485, en donde el procedimiento es mencionado anteriormente.

Figura 91- Sensor ADXL335 (Sismos)



b. COMUNICACIÓN CON EL MICROCONTROLADOR (MAESTRO). El procedimiento para realizar esta comunicación es el mismo que se realizó en el módulo maestro.

4. MÓDULO ESCLAVO 3

a. RADIACIÓN SOLAR (SENSOR 3). La variable Radiación Solar fue medida con el sensor TSL23RD, es sensor da la medición en forma de frecuencia y esta es convertida y almacenada en una variable long (8 bytes), esta se subdivide en dos variables y es así como es mandada al microcontrolador maestro.

La complicación en este módulo es la sincronización que se necesita para comunicarse con el maestro ya que mientras se hace la conversión de la frecuencia, el microcontrolador no puede ser interrumpido, por lo tanto no se puede utilizar la interrupción del módulo USART, este procedimiento de conversión es realizado por un tiempo que no puede ser determinado ya que depende de que tanta Radiación Solar hay en ese momento, pero puede demorarse hasta un minuto y medio para tomar el dato, después de hacer la conversión lo manda solo una vez, es por eso que el maestro tiene que estar listo para recibir el dato cuando el esclavo 3 lo envíe.

Figura 92- Sensor TSL23RD (Radiación solar)



b. COMUNICACIÓN CON EL MICROCONTROLADOR (MAESTRO). El procedimiento para realizar esta comunicación es el mismo que se realizó en el módulo maestro.

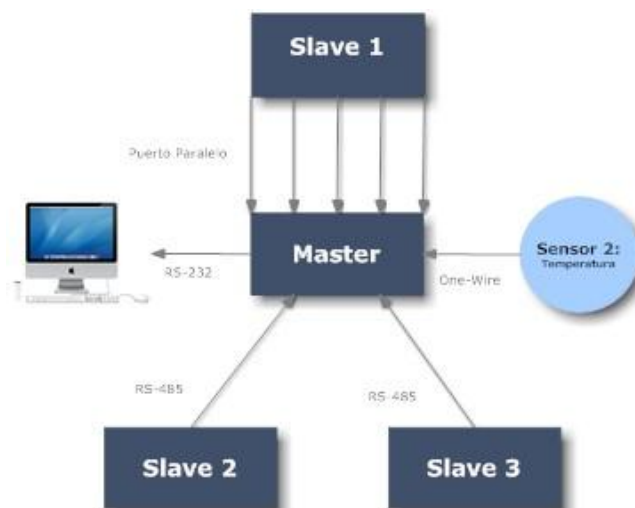
C. RESULTADOS

1. ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LA SOLUCIÓN PLANTEADA. Como solución al problema anteriormente planteado, se diseñó e implementó la estación meteorológica con la capacidad de medir las variables ya mencionadas y las demás funciones pedidas. En esta sección se detallarán los aspectos que se tomaron en cuenta y que fueron el resultado de la metodología aplicada en el módulo.

2. MÓDULO MAESTRO. El microcontrolador encargado de del manejo del módulo es el PIC16F887 de Microchip. Este microcontrolador fue elegido por tener una velocidad de operación de hasta 20 Mhz, capacidad de interrupción, direccionamiento directo e indirecto y el módulo USART el cual es capaz de trabajar con los protocolos de comunicación RS-485 y RS-232.

El módulo maestro es encargado de múltiples funciones las cuales trabajan simultáneamente, en la siguiente figura se muestra un esquema del microcontrolador con sus múltiples funciones, y a continuación será una breve descripción de cómo serán aplicadas cada una de estas funciones y como fue el resultado y método final que se aplicó.

Figura 93- Funciones del módulo maestro



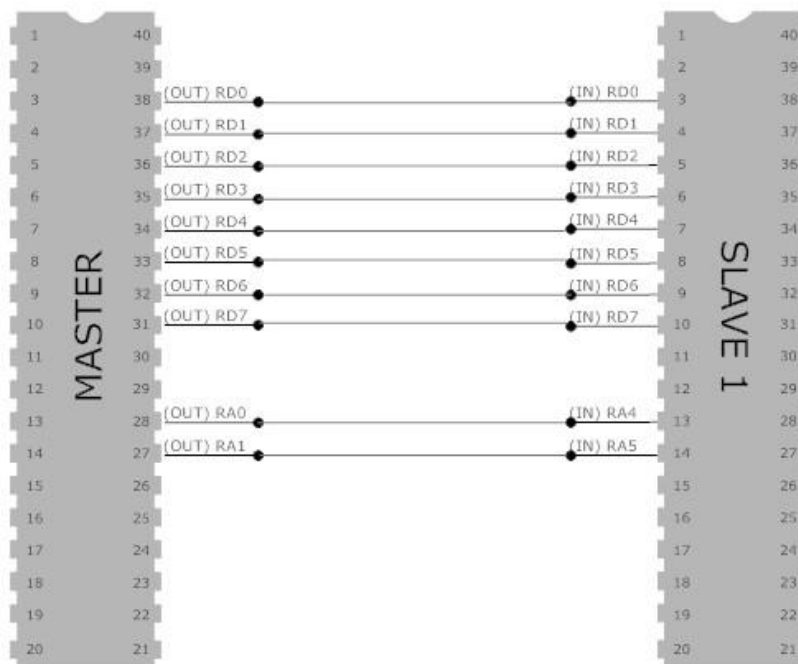
Según la figura anterior, el módulo del maestro tiene varias funciones las cuales son:

- Comunicación con el microcontrolador (Esclavo 1)
- Comunicación con el microcontrolador (Esclavo 2)
- Comunicación con el microcontrolador (Esclavo 3)
- Control del sensor DS18B20 (Sensor de Temperatura)
- Transmisión de datos al computador

a. **COMUNICACIÓN CON EL MICROCONTROLADOR (ESCLAVO 1).** La comunicación entre los microcontroladores Esclavo 1 y Maestro se realizó por medio del puerto paralelo, debido a que era uno de los pocos métodos que se podía utilizar sin usar el módulo USART, ya que este no podía ser interrumpido porque el sensor New Mountain NM150 está en constante envío de datos como se explicó en la metodología del trabajo.

En el siguiente esquema se puede observar cómo se realizó la comunicación entre estos dos microcontroladores y que salidas se utilizaron:

Figura 94- Comunicación por puerto paralelo (Maestro y esclavo 1)



A continuación se presenta la tabla de la función de cada bit utilizado para esta comunicación, tanto para el maestro como para el slave 1.

TABLA 59: Funciones de los pines (Módulo maestro)

Bit	Modo	Función
RB0	OUT	Datos (bit menos significativo)
RB1	OUT	Datos
RB2	OUT	Datos
RB3	OUT	Datos
RB4	OUT	Datos
RB5	OUT	Datos
RB6	OUT	Datos
RB7	OUT	Datos (bit más significativo)
RA0	OUT	Bit de Control 1
RA1	OUT	Bit de Control 2

TABLA 60: Funciones de los pines (Módulo esclavo 1)

Bit	Modo	Función
RB0	IN	Datos (bit menos significativo)
RB1	IN	Datos
RB2	IN	Datos
RB3	IN	Datos
RB4	IN	Datos
RB5	IN	Datos
RB6	IN	Datos
RB7	IN	Datos (bit más significativo)
RA1	IN	Bit de Control 1
RA2	IN	Bit de Control 2

Como se puede observar ambos puertos B (*PORTB*) de los microcontroladores son utilizados en paralelo para la comunicación, se envía carácter por carácter 1 *byte* (8 bits), los cuales son interpretados dependiendo el código ASCII, este byte es transmitido cada vez que los bits de control lo indiquen los cuales en este caso

funcionan como el reloj para sincronizar la comunicación, hay un envío de byte cada vez que existe la alternación de estos dos bits de control.

Lo que el microcontrolador esclavo 1 envía por el puerto paralelo, es el dato de las variables; velocidad del viento, dirección del viento, presión barométrica y humedad relativa, la cual es enviada en una cadena similar a ésta:

WIMDA,30.2741,I,1.0252,B,18.5,C,,,99.8,,18.4,C,115.0,T,112.9,M,1.3,N,0.7,M*6C

Y la cadena que es recibida y almacenada es así:

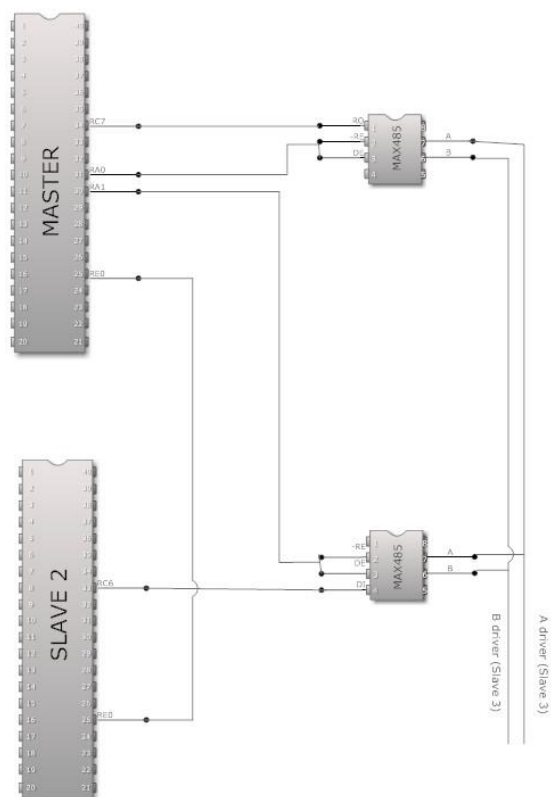
MDA,30.2741,I,1.0252,B,18.5,C,,,99.8,,18.4,C,115.0,T,112.9,M,1.3,N,0.7,M*6C

El que no se reciba los primeros dos caracteres, WI, es debido a que se pierden mientras la comunicación se sincroniza con la alternación de los bits de control, pero son datos insignificantes para el resultado final.

b. COMUNICACIÓN CON EL MICROCONTROLADOR (ESCLAVO 2). Después de la prueba de varios protocolos de comunicación se optó por utilizar el protocolo RS-485, ya que era el único protocolo que podía usarse para comunicarse con esclavo 2 y esclavo 3 simultáneamente; como ya lo habíamos mencionado en la metodología de esta sección se probaron con los protocolos Manchester e I2C, pero no hubo éxito debido a que para utilizar cualquiera de estos dos módulos los esclavos deberían de ser interrumpidos de sus funciones cuando el maestro habla para referirse a cualquiera de ellos y así pedir los datos, con el esclavo 2 no habría ningún problema de realizar esta interrupción ya que solo es por milésimas de segundo y podría seguir con su funciones regulares, pero con el esclavo 3 debido a su forma de funcionamiento no podría ser interrumpido mientras hace la conversión de la frecuencia y manda los datos cada vez que él puede, en un lapso de tiempo no controlado, ya que es dependiendo la Radiación Solar de ese momento.

En el siguiente esquema podemos observar cómo fue aplicado este protocolo para poder obtener los datos de los sismos:

Figura 95- Comunicación RS-485 (Maestro y esclavo 2)



La función de cada uno de los pines de los microcontroladores y de los drivers de ambos, se dan a conocer en la TABLA 61.

TABLA 61: Funciones de los pines (Módulo Maestro y esclavo 2)

Bit	Modo	Función
Microcontrolador (Maestro)		
RC7	IN	Rx módulo USART
RA0	OUT	Control de driver (Maestro)
RA1	OUT	Control de driver (Esclavo 2)
RE0	OUT	Bit de control 1
Microcontrolador (Esclavo 2)		
RC6	OUT	Tx módulo USART
RE0	IN	Bit de control 1
Driver MAX485 (Maestro y esclavo 2)		
RO	OUT	<i>Receiver Output</i>

Continuación TABLA 61		
-RE	IN	<i>Receiver Output Enable</i>
DE	IN	<i>Driver Output Enable</i>
DI	IN	<i>Driver Input</i>
A	IN	<i>Non-inverting Receiver Input</i>
B	OUT	<i>Inverting Receiver Input</i>

La lógica implementada para la comunicación entre estos dos microcontroladores, estaba basada en la implementación de los drivers RS-485. Como se mencionó en el rubro (V) Metodología, (A) Módulo Maestro, (2) Comunicación con el microcontrolador (Esclavo 2), (c) Protocolo RS-485, estos drivers tienen tres modos de operación dependiendo lo que reciban -RE y DE, como los únicos modos que queremos manejar es transmitir y recibir, realizamos un corto circuito entre estos dos pines y a la hora de enviar un 0 es modo recibir y 1 es modo transmitir.

El microcontrolador Esclavo 2 está mandando constantemente por medio del módulo USART, los datos que manda es una cadena con tres valores que son el cambio de los tres ejes medidos por el acelerómetro, estos datos son enviados por medio de una cadena de datos como ésta:

MDI,18.3456,12.5456,35.5297,

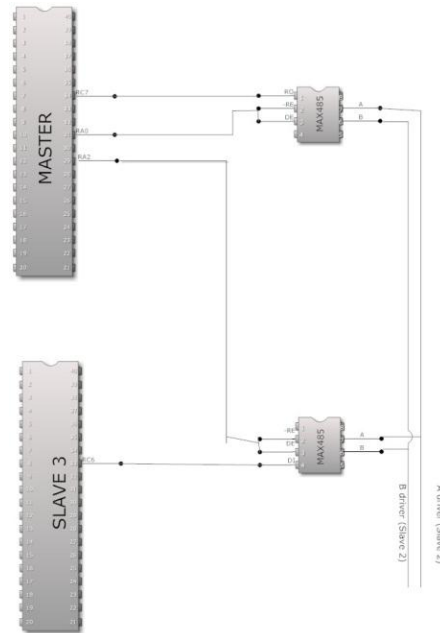
Mientras esta cadena está siendo mandada constantemente por el esclavo 2, el microcontrolador Maestro está recopilando los otros datos; para no perder datos importantes como sismo de altos niveles mientras esta recolectando los otros datos el maestro, el esclavo 2 manda los cambios más grandes obtenidos en este lapso de tiempo, vuelve actualizar a mediciones hasta que el esclavo 2 sea notificado por medio del bit de control 1 (RE0) de que el maestro ya haya recibido la cadena.

Después de haber recolectado y enviado a la computadora las otras cadenas de datos, pone en modo transmitir el driver del esclavo 2 (RA1=1) y en modo recibir su propio driver (RA0=0), por lo tanto el maestro es interrumpido y recibe la cadena ya

antes mencionada, al terminar de recibirla activa RE0 para que el esclavo 2 vuelva a tomar datos.

c. COMUNICACIÓN CON EL MICROCONTROLADOR (ESCLAVO 3)

Figura 96- Comunicación RS-485 (Maestro y esclavo 3)



La forma en que se comunica el maestro con el esclavo 3, es igual que la forma en la que se comunica con el esclavo 2, con pequeñas diferencias como: las salidas que utiliza el maestro para controlar el driver es distinta, las cuales se especificarán en el siguiente esquema y tabla, y no es necesario bit de control ya que el tiempo que se toma para medir esta variable es desconocida, el maestro a la hora de tomar y mandar las demás cadenas de datos se pone en modo de espera a ésta.

TABLA 62: Funciones de los pines (Módulo Maestro y esclavo 3)

Bit	Modo	Función
Microcontrolador (Maestro)		
RC7	IN	Rx módulo USART
RA0	OUT	Control de driver (Maestro)
RA2	OUT	Control de driver (Esclavo 3)
Microcontrolador (Esclavo 3)		
RC6	OUT	Tx Módulo USART
Driver MAX485 (Maestro y esclavo 3)		
RO	OUT	Receiver Output

Continuación TABLA 62		
-RE	IN	<i>Receiver Output Enable</i>
DE	IN	<i>Driver Output Enable</i>
DI	IN	<i>Driver Input</i>
A	IN	<i>Non-inverting Receiver Input</i>
B	OUT	<i>Inverting Receiver Input</i>

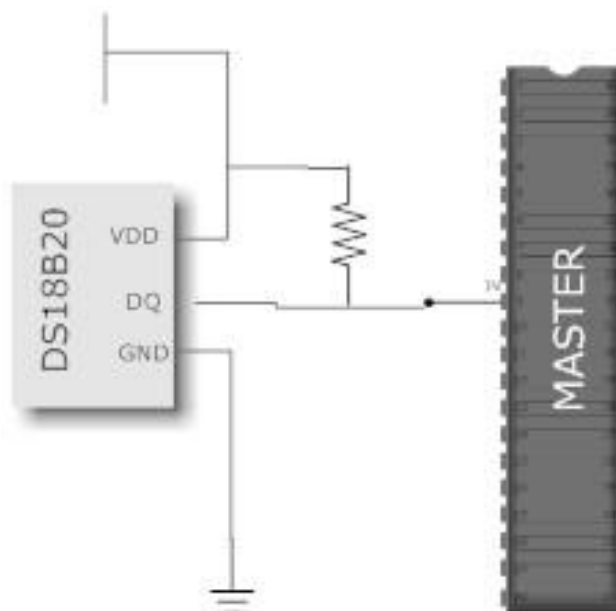
Y la cadena a mandar es:

MDO,000,000,000,000,000,000

d. CONTROL DEL SENSOR DS18B20 (SENSOR DE TEMPERATURA). La temperatura será medida por el sensor DS18B20, se optó a este sensor por percances fuera de nuestro control ya que el sensor New Mountain NM150 podía medir la temperatura no hubiera habido necesidad de agregar este, pero por defectos de fábrica del sensor y una mal diseño; mientras se hacían pruebas le ingresó agua en una lluvia y éste dejó de funcionar.

Los datos que proporciona este sensor lo hace por medio del protocolo *one-wire*, el cual es un protocolo muy sencillo, el cual es explicado en el marco teórico, en MIKRO-C existe una librería para trabajar con este protocolo, por lo tanto solo se conectó el sensor de la manera mostrada en la siguiente figura.

Figura 97- Comunicación *One-Wire* (Maestro y DS18B20)



Los datos recibidos de la entrada RE2, son almacenados en un variable, en esta variable solo se almacena los primeros 8 bits y los últimos 4 bits, ya que solo esto son necesarios para descifrar el dato con decimales, con estos datos en la variable solo se convierten en decimales mediante un método y luego se manda de la siguiente manera:

\$MDE,000.000,

e. TRANSMISIÓN DE DATOS AL COMPUTADOR. La transmisión de estos datos se hace por medio del protocolo RS-232, para poder conectarse a la computadora se debe utilizar el driver MAX232. La transmisión de todos los datos se hace por medio de 4 cadenas, las cuales son almacenadas temporalmente y enviadas desde el mismo listado.

A la hora de programar con MIKRO-C tiene la limitante de no poder utilizar una lista más grande 80, debido al cambio de bancos y no se puede direccionar.

Todas las variables que fueron medidas son almacenadas temporalmente y enviadas a la computadora en forma de cadenas de datos, las cuales son las siguientes:

- Cadena "\$MDA" (velocidad del viento, dirección del viento, humedad relativa, presión barométrica)
- Cadena "\$MDE" (temperatura)
- Cadena "\$MDI" (sismos)
- Cadena "\$MDO" (Radiación Solar)
- Cadena "\$MDU" (Identificación de la Torre)

A continuación se mostrara un ejemplo de datos enviados y la estructura de cada cadena.

1) CADENA "\$MDA"

Ejemplo:

\$MDA,30.2741,I,1.0252,B,,,,99.8,,,,115.0,T,112.9,M,1.3,N,0.7,M*6C

A continuación se muestra la estructura de la cadena y la tabla con los datos que se transportan en ella.

Figura 98- Sintaxis de la cadena \$MDA

\$MDA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
-------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

TABLA 63: Especificaciones de datos de la cadena \$MDA

Orden	Dato
1	Presión barométrica en pulgadas de mercurio
2	I
3	Presión barométrica en Bars
4	B
5	Blanco
6	Blanco
7	Blanco
8	Blanco
9	Humedad relative
10	Blanco
11	Blanco
12	Blanco
13	Dirección del viento real
14	T
15	Dirección del viento magnética
16	M
17	Velocidad del viento en Knots
18	K
19	Velocidad del viento en metros por segundo
20	M

2) CADENA "\$MDE"

Ejemplo:

\$MDE,023.367,

A continuación se muestra la estructura de la cadena y la tabla con los datos que se transportan en ella.

Figura 99- Sintaxis de la cadena \$MDE



TABLA 64: Especificaciones de datos de la cadena \$MDE

Orden	Dato
1	Temperatura en centígrados

3) CADENA "\$MDI"

Ejemplo:

\$MDI,23.3452,35.5487,27.2390

A continuación se muestra la estructura de la cadena y la tabla con los datos que se transportan en ella.

Figura 100- Sintaxis de la cadena \$MDI



TABLA 65: Especificaciones de datos de la cadena \$MDI

Orden	Dato
1	Cambio en el eje X
2	Cambio en el eje Y
3	Cambio en el eje Z

4) CADENA "\$MDO"

Ejemplo:

\$MDO,231,005,132,024,137,234

A continuación se muestra la estructura de la cadena y la tabla con los datos que se transportan en ella.

Figura 101- Sintaxis de la cadena \$MDO

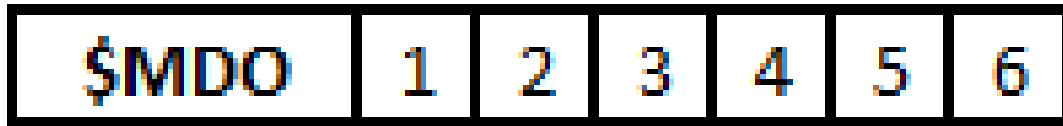


TABLA 66: Especificaciones de datos de la cadena \$MDO

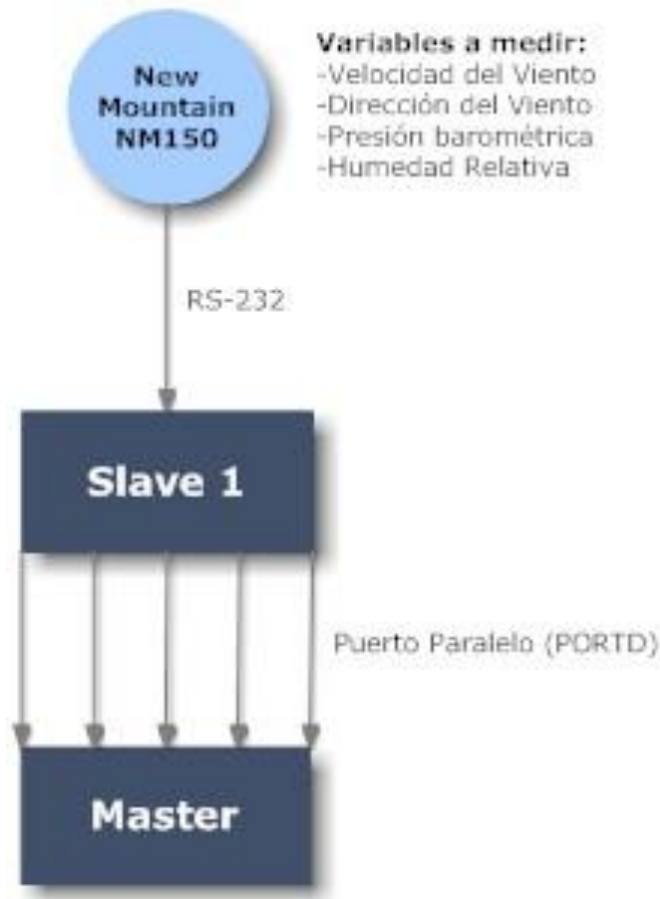
Orden	Dato
1	TIMERL
2	TIMERH
3	Contador
4	<i>Overflow 1</i>
5	<i>Overflow 2</i>
6	<i>Overflow 3</i>

3. MÓDULO ESCLAVO 1. El microcontrolador encargado del módulo esclavo 1 es el PIC16f887 de Microchip.

Una de las principales razones que se utiliza este microcontrolador es su capacidad de trabajar a una velocidad de 20 Mhz, la cual es necesaria para lograr obtener los datos del sensor New Mountain NM150, tiene la capacidad de ser interrumpido mientras recibe estos datos y cuenta con el módulo USART para el manejo de los mismos.

Este módulo al igual que todos los esclavos está encargado de la obtención de datos de parte de un sensor que en este caso es el New Mountain NM150. En la siguiente figura podemos observar un esquema de las funciones que realiza el módulo esclavo 1.

Figura 102- Funciones del módulo esclavo 1



Según lo que podemos observar en la figura anterior, las funciones que debe realizar el módulo esclavo 1 son:

- Control del sensor New mountain NM150
- Comunicación con el microcontrolador (Maestro)

a. CONTROL DEL SENSOR NEW MOUNTAIN NM150. El poder recibir todos los datos enviados por el sensor New Mountain NM150, fue complicada debido a la falta de información del sensor. Los únicos conocimientos que se tenían con respecto a éste son la decodificación de la cadena de información que se mandaba y a que bps trabajaba.

Las cadenas de información son enviadas a 4800 bps, por lo tanto el microcontrolador se configura a esta velocidad y con una velocidad de reloj de 20 Mhz

ya que los 8Mhz que se puede configurar con el oscilador interno no fueron suficientes para la velocidad de transmisión del sensor.

Debido a que el sensor manda simultáneamente dos cadenas de datos, las cuales son especificadas en el rubro: (V) Metodología, (B) Módulo Esclavo 1, (1) New Mountain NM150 (Sensor 1), estas dos cadenas de información son WIMDA y GPGGA. De estas dos cadenas solo se necesita la información proporcionada por la cadena WIMDA, así que se prosiguió a separar estas dos cadenas y solo almacenar temporalmente la cadena WIMDA para que luego sea enviada por puerto paralelo al módulo maestro.

La separación de estas cadenas se hizo aprovechando los "\$" enviados a la hora y comenzar cada una de las cadenas de datos es por ello que el microcontrolador es interrumpido a la hora de recibir un carácter e inmediatamente verifica si es un "\$", en caso afirmativo, levanta una bandera y verifica si el siguiente carácter es W o G, en caso de ser W; almacena la W y el resto de la cadena hasta encontrar otro "\$".

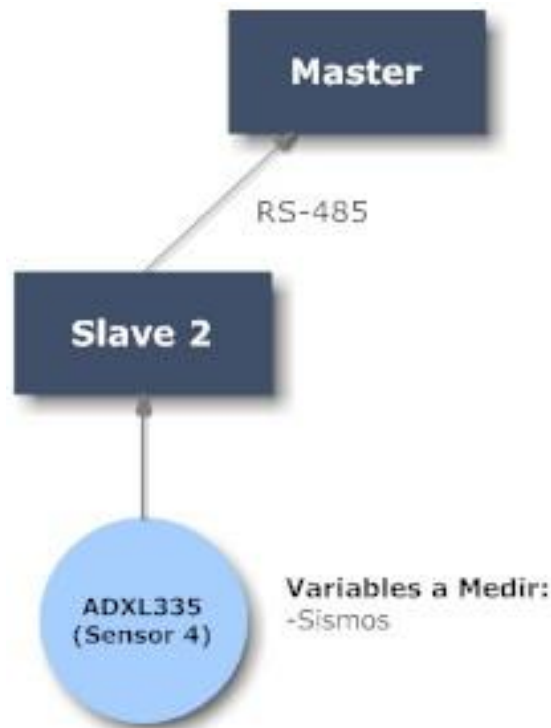
Después de encontrar el siguiente signo de dólar se prosigue a desplegar en el puerto D carácter por carácter para ser enviados al maestro. Luego se pone en modo de búsqueda de otro "\$"

b. COMUNICACIÓN CON EL MICROCONTROLADOR (MAESTRO). Los resultados obtenidos para esta sección fueron expuestos en el rubro: (VI) Resultados, (A) Análisis Descriptivo de la Solución Planteada, (1) Módulo Maestro, (a) Comunicación con el microcontrolador (Esclavo 1).

4. MÓDULO ESCLAVO 2. Este módulo es controlado por medio del microcontrolador PIC16F887 de Microchip. Aunque el trabajo que se realice con este módulo no requiere de ciertas especificaciones singulares de este microcontrolador, tiene todos los módulos necesarios para poder implementar las funciones y es fácil de adquirir.

Las funciones realizadas por este módulo pueden ser observadas en el siguiente esquema:

Figura 103- Funciones del módulo esclavo 2



Las funciones que realiza este microcontrolador son:

- Control del sensor ADXL335 (Sensor de Sismos)
- Comunicación con el microcontrolador (Maestro)

a. CONTROL DEL SENSOR ADXL335 (SENSOR DE SISMOS). Este sensor a grandes rasgos funciona a base de 3 acelerómetros, los cuales miden variaciones en los ejes X, Y y Z; estas variaciones pueden ser relacionadas a una escala de medición de sismos, y se puede ver en qué dirección fue el suceso.

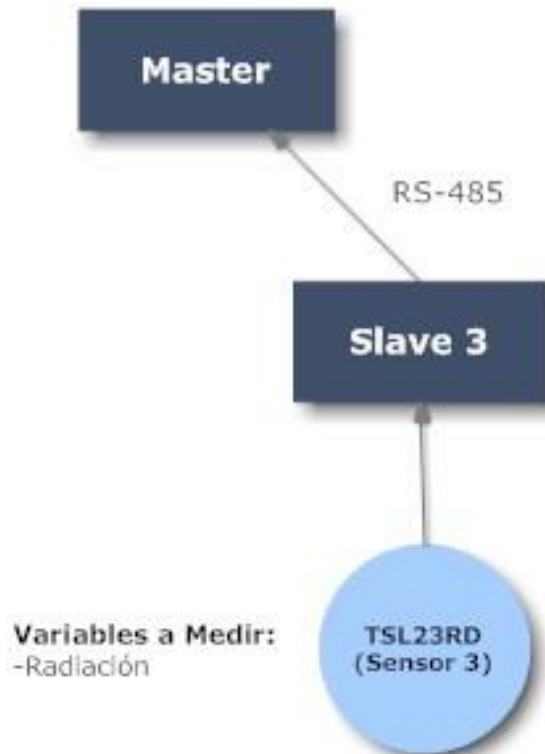
Debido a la forma en que se implementó la comunicación con el maestro el cual fue explicado con anterioridad, estos cambios en los ejes detectados por el acelerómetro eran guardados en tres variables, una para cada una de los ejes, por lo tanto el cambio mayor que se da mientras el maestro vuelve a solicitarle los datos es el que se queda almacenado en estas variables; hasta que el maestro reciba el dato las variables son reiniciadas.

b. COMUNICACIÓN CON EL MICROCONTROLADOR (MAESTRO). Los resultados obtenidos para esta sección fueron expuestos en el rubro: (VI) Resultados, (A) Análisis Descriptivo de la Solución Planteada, (1) Módulo Maestro, (b) Comunicación con el microcontrolador (Esclavo 2).

5. MÓDULO ESCLAVO 3. Al igual que todos los demás módulos el microcontrolador utilizado en este es el PIC16F887 de Microchip. A diferencia de los demás módulos en éste se trabaja con una operación de 8Mhz por lo cual se puede utilizar el reloj interno del microcontrolador.

Otra de las diferencias de este módulo es que una de sus funciones no puede ser interrumpida mientras es ejecutada debido a que se pierde la precisión del sensor a controlar que en este caso es el TSL23RD, el cual es el encargado de medir la variable de Radiación Solar, más adelante se explicará qué función no puede interrumpirse y la solución que se dio a esto.

Figura 104- Funciones del módulo esclavo 3



Las funciones que realiza este microcontrolador son:

- Control del sensor TSL23RD (Sensor de radiación solar)
- Comunicación con el microcontrolador (Maestro)

a. CONTROL DEL SENSOR TSL23RD (SENSOR DE RADIACIÓN SOLAR). Lo que se hace a la hora de tomar datos de este sensor es la conversión de una frecuencia, la cual es codificada en 6 variables que son enviados en forma de cadena, estos datos son obtenidos en un lapso de tiempo variable dependiendo la Radiación Solar actual, es por ello que no es controlable a nivel programación.

Debido a que este lapso de tiempo no puede ser medido a tiempo real y el sensor no puede ser interrumpido mientras está haciendo la medición, lo que se hizo fue que el dato se envía cada vez que se termina de hacer la conversión y lo único que hace el maestro es esperar esta información, pero lo que primero hace el maestro es recolectar los demás datos y mandarlos luego poner el driver del esclavo 3 en modo transmitir y ponerse en espera de estos datos. Hasta que la cadena se recibe por el maestro este continúa con la recolección de los datos de los demás módulos y así sucesivamente.

b. COMUNICACIÓN CON EL MICROCONTROLADOR (MAESTRO). Los resultados obtenidos para esta sección fueron expuestos en el rubro: (VI) Resultados, (A) Análisis Descriptivo de la Solución Planteada, (1) Módulo Maestro, (c) Comunicación con el microcontrolador (Esclavo 3).

6. DISTRIBUCIÓN, CIRCUITO Y PLACAS. En esta sección se incluye la información sobre la distribución de los puertos de los microcontroladores en los circuitos del módulo maestro y esclavo 1, el circuito utilizado para la realización de cada módulo y el resultado final de como quedo termina las placas de cada uno de los módulos.

a. MÓDULO Y CIRCUITO MAESTRO. Como se había dicho con anterioridad que el microcontrolador utilizado para este módulo es el PIC16F887 se presenta con un empaquetado DIP de 40 pines, cuenta con una frecuencia de operación de 0-20 MHz, una memoria de programa (ROM) de 8Kbytes con tecnología FLASH, 368 bytes de memoria de acceso aleatorio (RAM), módulo USART con auto detección de baudios y un puerto serie síncrono maestro, el cual nos permite soportar los protocolos SPI e I2C.

Los 40 pines del microcontrolador están distribuidos entre los que manejan el reloj externo, alimentación y los cinco puertos con los que cuenta para el control de variables analógicas y digitales, así también como el control de los distintos módulos con los que cuenta; la distribución de los cinco puertos en el módulo maestro vienen distribuidos de la siguiente manera:

TABLA 67: Distribución de puertos (maestro)

Pin	Nombre	Función
2	RA0	Protocolo one-wire (temperatura)
3	RA1	Control driver de esclavo 2
4	RA2	Reinicio de datos sismos
5	RA3	Control driver de esclavo 3
14	RA6	CLKIN (20 MHz)
13	RA7	CLKOUT (20 MHz)
33	RB0	Bus de datos, línea A0
34	RB1	Bus de datos, línea A1
35	RB2	Bus de datos, línea A2
36	RB3	Bus de datos, línea A3
37	RB4	Bus de datos, línea A4
38	RB5	Bus de datos, línea A5
39	RB6	Bus de datos, línea A6
40	RB7	Bus de datos, línea A7
25	RC6	Serial asíncrono, línea de transmisión
26	RC7	Serial asíncrono, línea de recepción
21	RD2	Bit de control puerto paralelo 1
22	RD3	Bit de control puerto paralelo 2
27	RD4	Control driver maestro

La elección de los puertos se hicieron dependiendo su posición en el microcontrolador y así poder realizar con facilidad el circuito y su respectiva placa los cuales serán presentados en las siguientes imágenes:

Figura 105- Diagrama eléctrico (módulo maestro)

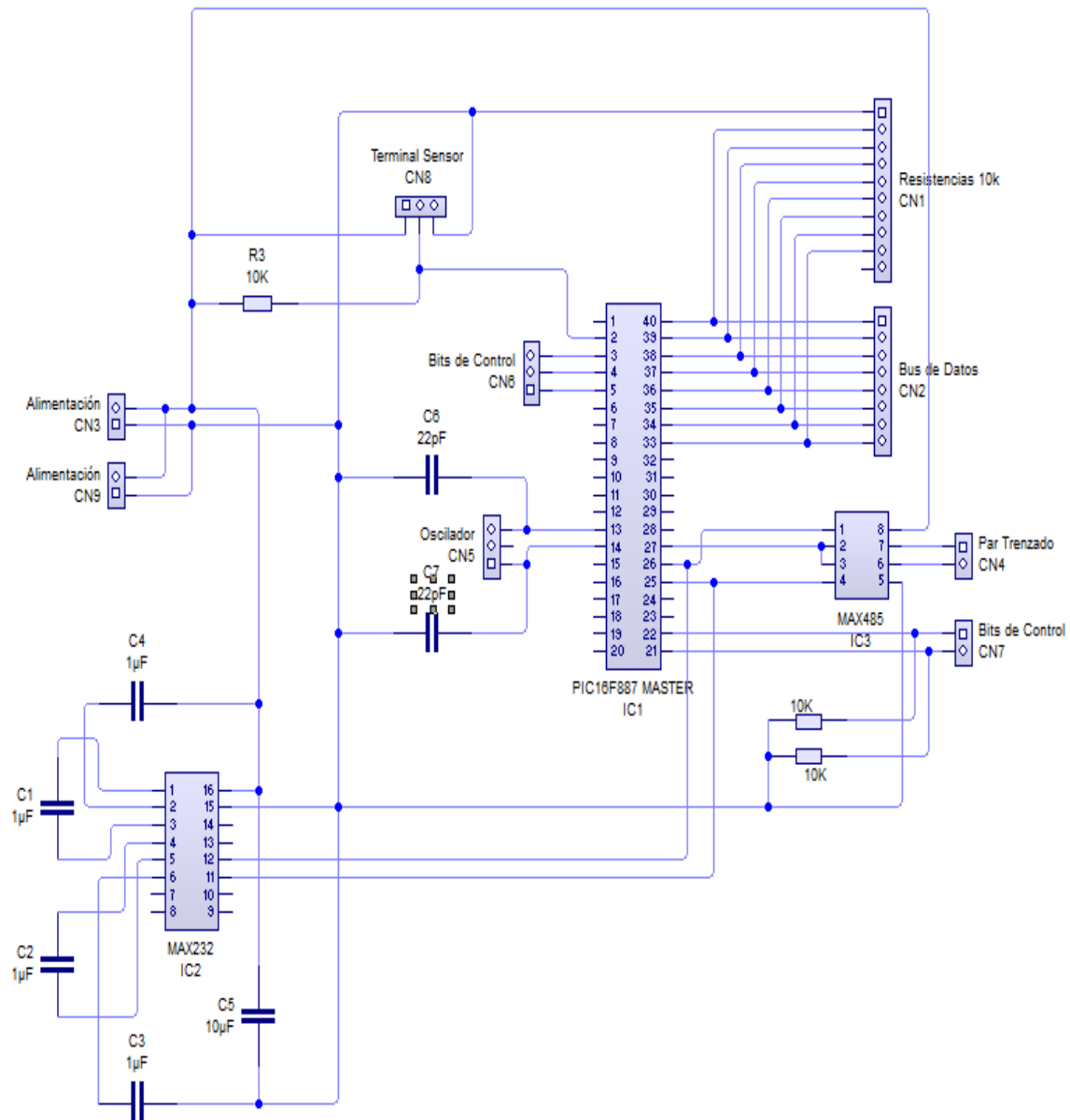
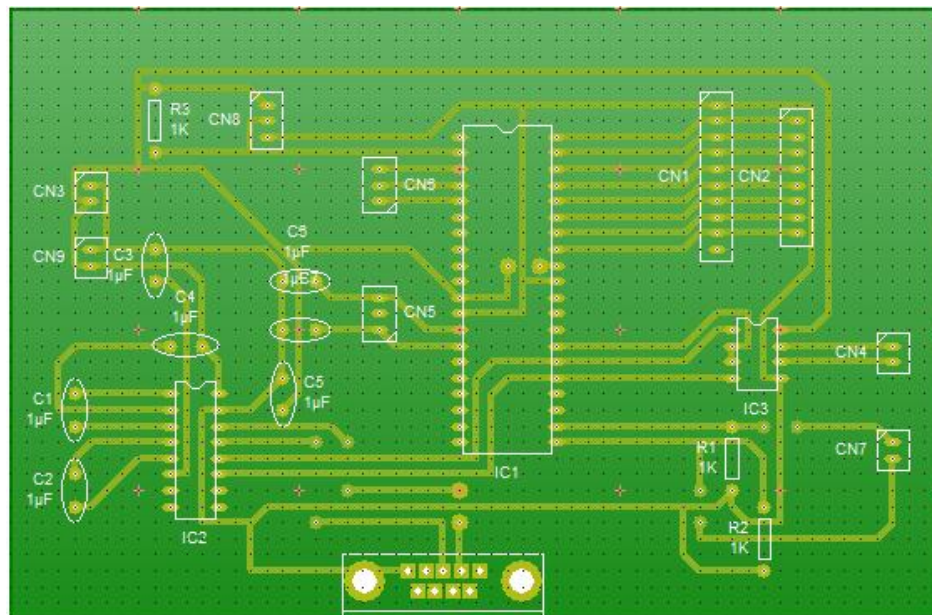


Figura 106- Placa (Módulo maestro)



b. MÓDULO Y CIRCUITO ESCLAVO 1. El microcontrolador utilizado para este módulo al igual que el módulo maestro es el PIC16F887, debido a que tiene funciones totalmente distintas al módulo maestro como lo pudimos observar en los resultados, la distribución de sus puertos son de la siguiente forma:

TABLA 68: Distribución de puertos (esclavo 1)

Pin	Nombre	Función
2	RA0	Bit de control puerto paralelo 1
3	RA1	Bit de control puerto paralelo 2
14	RA6	CLKIN (20 MHz)
13	RA7	CLKOUT (20 MHz)
33	RB0	Bus de datos, línea A0
34	RB1	Bus de datos, línea A1
35	RB2	Bus de datos, línea A2
36	RB3	Bus de datos, línea A3
37	RB4	Bus de datos, línea A4
38	RB5	Bus de datos, línea A5
39	RB6	Bus de datos, línea A6
40	RB7	Bus de datos, línea A7
25	RC6	Serial asíncrono, línea de transmisión
26	RC7	Serial asíncrono, línea de recepción

Figura 107- Diagrama eléctrico (Módulo esclavo 1)

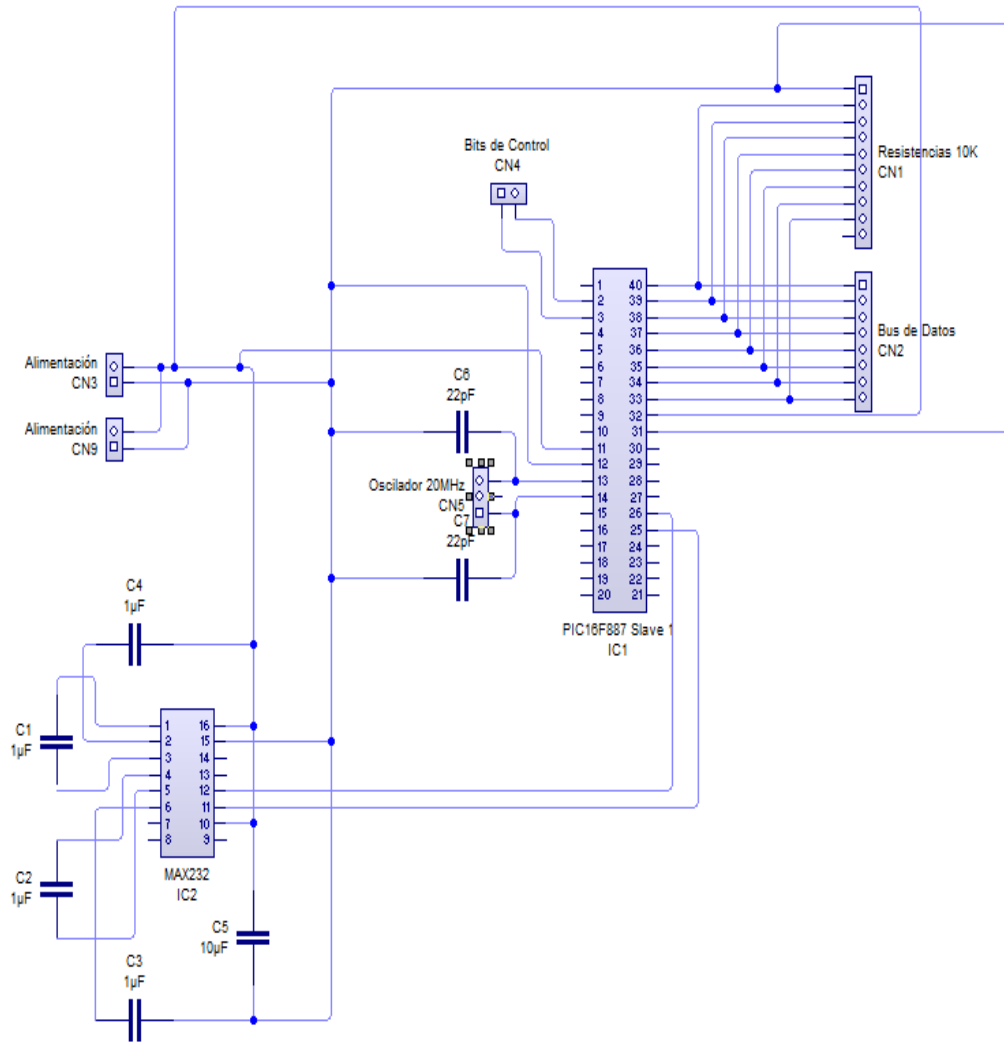
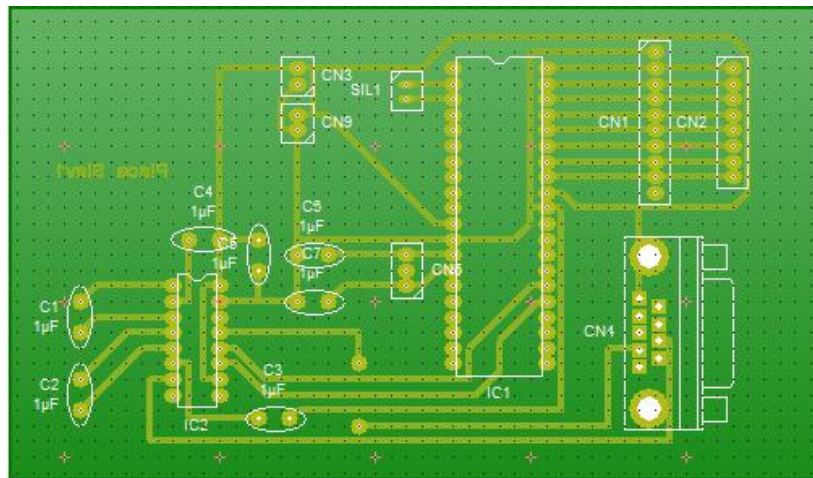


Figura 108- Placa (Módulo esclavo 1)



VII. CAPÍTULO 5 –MÓDULO DE COMUNICACIÓN Y PAGINA WEB

A. MARCO TEÓRICO

1. PHP. PHP es un lenguaje de alto nivel. El término PHP viene del acrónimo Hypertext Pre Procesor y es un lenguaje de interpretación que corre del lado del servidor, independiente de la plataforma, o del navegador que está accedendo a la información en el lado del cliente. El lenguaje PHP nació de la necesidad de crear páginas web dinámicas, y de la posibilidad de controlar qué se muestra y cómo se muestra, no solamente compartir información escrita en un código HTML, sino que permita la interacción con el usuario.

El lenguaje PHP se ejecuta en el servidor, cuando un usuario o cliente solicita información hacia un servidor, se ejecuta el código PHP, éste genera un correspondiente resultado en formato HTML que se muestra, de tal manera que el usuario puede ver el resultado de correr la script de PHP pero nunca el código que generó ese resultado. [68]

PHP se utiliza para realizar scripts que permiten una amplia gama de funciones, como por ejemplo accesos a bases de datos, conexiones en red, ciclos, iteraciones y otras tareas para crear la página final que verá el cliente. El cliente solamente recibe una página con el código HTML resultante. Como la página resultante contiene únicamente código HTML, es compatible con todos los navegadores.

Entre las ventajas de utilizar este lenguaje para la creación e interpretación de scripts se tiene:

- Es un software libre, es decir, puede ser descargado y utilizado gratuitamente desde la página oficial.
- Es independiente de la plataforma, es decir, puede correr en casi cualquier servidor, no importando de qué sistema operativo tenga instalado.

- Compatibilidad con bases de datos como MySQL, SQL, Oracle y ODBC.
- Posibilidad de enviar correos electrónicos dinámicos, es decir, crear el contenido del mismo a partir de acciones o peticiones del usuario.
- Es seguro, las scripts de PHP se ejecutan en el servidor y los clientes solo pueden ver el contenido HTML creado al ejecutar las scripts, nunca el código PHP, además permite configurar el servidor de modo que se acepten o rechacen diferentes usos.
- Fácilmente se incrusta en el código HTML y permite crear contenido dinámico.
- Ampliamente utilizado y actualizado, el lenguaje se está actualizando constantemente y las versiones más recientes pueden encontrarse fácilmente en el sitio oficial. [68]

El lenguaje PHP funciona de la siguiente manera, asumiendo que en el servidor destinado ya se encuentra correctamente instalado el intérprete PHP, se debe crear un archivo con extensión php, por ejemplo, index.php. Una vez se ha creado el archivo index.php se edita como si de un archivo HTML se tratara, debe contener exactamente el mismo código como si se estuviera escribiendo una página en un archivo con extensión HTML, la única diferencia es que el intérprete buscará las etiquetas especiales `<?php ?>` incrustadas en el contenido HTML para procesarlas en lenguaje PHP.

En el lado del servidor se ejecuta el código, en este ejemplo sencillo, se crea con código PHP el mismo contenido del ejemplo especificado en el Gráfico 2 de este documento. En el lado del cliente entonces, se va a obtener el mismo resultado, sin embargo, el código ejecutado por el servidor no lo fue, de esta manera se pueden realizar incrustaciones de código en PHP para obtener información de una base de datos y mostrarla al usuario de la misma forma como si se hubiese escrito el código HTML manualmente, ya que el usuario nunca podrá ver el código que generó la página que muestra su navegador.

2. BASES DE DATOS. Almacenar la información es uno de los pasos fundamentales en la realización de este proyecto. Existen muchas formas de almacenar información, desde crear archivos de texto con los datos deseados, hasta utilizar servidores y estructuras de datos más complejas como las bases de datos.

SQL es un lenguaje estandarizado para acceder y manipular bases de datos, está regulado por los estándares ANSI (*American National Standards Institute*).[43]

Debido a la cantidad de información que se maneja en la estación meteorológica, el método utilizado es el de las bases de datos. Existen varios tipos de bases de datos, entre ellos MySQL, SQL Server, ORACLE, ODBC ente otros.

El sistema de base de datos utilizado es MySQL. MySQL ofrece ventajas a los otros tipos de bases de datos debido a su alto desempeño, es de código libre, es decir, puede ser utilizado gratuitamente, tiene una estructura sencilla y además puede ser instalado fácilmente en cualquier servidor destinado. Es la base de datos más utilizada y debido a su estructura, las consultas de datos resultan rápidas y confiables, solamente se necesita el conector o driver, pero la mayoría de sistemas modernos de programación, como PHP, son totalmente compatibles y no necesitan de ningún driver o controlador adicional. [60]

3. JQUERY. Java es un lenguaje de programación altamente utilizado en plataformas web, sistemas operativos para teléfonos celulares, sistemas de codificación y reproducción multimedia etc. Es una de las librerías más completas para desarrollo web. JQuery es una biblioteca de JavaScript rápida y concisa que simplifica procesos en un documento HTML, como por ejemplo el manejo de eventos, animación, y las interacciones Ajax para el desarrollo web dinámico. JQuery está diseñado para simplificar la forma en que interactúan las scripts de java con los documentos HTML. [43]

4. AJAX. Ajax no es un lenguaje de programación como tal, es una forma de utilizar las librerías de javascript o JQUERY para realizar tareas mucho más complejas al momento de realizar un sitio web dinámico. JQUERY ofrece muchas funciones para

realizar animaciones, actualizar contenido, agregar o quitar elementos del código HTML. AJAX ofrece la posibilidad de realizar peticiones al servidor, y actualizar los datos recibidos solo en una parte del código original del documento HTML, de esta forma, no se debe programar qué se va a mostrar ni modificar, solamente programar la petición y el área en donde se quiera actualizar la información.

Esta técnica resulta útil ya que siempre se contará con la información más reciente debido a que son respuestas del servidor. AJAX es utilizado en este proyecto para realizar las peticiones de agregar un usuario suscriptor a la página, mostrar las gráficas del estado actual de las variables climáticas y otras funciones internas, de la mano con JQUERY para obtener un resultado moderno y dinámico.

B. METODOLOGÍA

Para cumplir los objetivos planteados se debe obtener la mayor información posible en el área de programación web, métodos de conexión remota y almacenamiento de datos.

Los datos recopilados por la estación meteorológica son extraídos por un software instalado en una computadora que realiza la conversión de bytes, a las correspondientes mediciones de las variables climáticas. El software utiliza métodos de comparación y validación, para asegurar que los datos recibidos correspondan en todo momento a datos proporcionados por la estación meteorológica.

El software almacena temporalmente cada variable recibida, y cuando completa un paquete de datos inicia el proceso de transmisión. Para comunicarse con el servidor y poder almacenar la información es necesaria una conexión a internet, se transmiten los datos y se almacenan en la base de datos configurada. Se hará una transmisión cada vez que se reciba un paquete completo, aproximadamente una vez por minuto.

El servidor destinado posee una base de datos que alimenta una página web. La página web muestra los datos obtenidos durante el día y ofrece la posibilidad de graficar el comportamiento de cada variable climática durante un tiempo específico,

además ofrece la posibilidad de ver el historial de mediciones realizadas y descargar los datos para facilitar el análisis posterior necesario para realizar pronósticos del clima.

C. RESULTADOS

1. COMUNICACIÓN ESTACIÓN-SERVIDOR

a. **CONFIGURACIÓN DEL SERVIDOR.** El servidor es parte fundamental en la realización de este proyecto. El servidor está destinado a almacenar todos los datos recopilados por la estación meteorológica en una base de datos instalada en él. Se encuentra ubicado en el campus central de la Universidad del Valle de Guatemala, la configuración se muestra en la Tabla 69.

Tabla 69: Características del servidor central

Nombre del servidor	DELL PowerEdge 2650
Capacidad de almacenamiento	250 GB en total (5 discos duros de 50GB)
Memoria RAM	1 GB DDR1
Sistema operativo	Windows Server 2008

El servidor debe tener capacidad para manejar todas las peticiones que se generen por parte de los clientes, debe estar en línea todo el día, todos los días para poder brindar el servicio deseado. El servidor cuenta con sistema operativo Windows Server 2008 ya que es el sistema utilizado en todos los servidores de la Universidad del Valle de Guatemala. La forma de configuración del servidor no utiliza un DNS público, las peticiones se realizan a través del servidor principal que alberga la página oficial de la Universidad del Valle, y éste las transfiere al servidor de la estación meteorológica para mostrar los resultados. El uso de un servidor dedicado sugiere mejor estabilidad, confiabilidad y control.

El software de computadora que transmite los datos recopilados por la estación meteorológica puede estar instalado incluso en este servidor, para almacenar los datos directamente a la base de datos local.

b. CONFIGURACIÓN DE LA BASE DE DATOS. La base de datos es el lugar en donde estarán almacenados todos los datos recopilados por la estación meteorológica. Los datos son recibidos y procesados, por el software del módulo de comunicación, luego se crea el paquete de información y posteriormente se realiza una conexión a la base de datos del servidor, y se almacenan los datos. Una vez iniciado el proceso de almacenamiento, el servidor central recibe las peticiones para actualizar información, concede los permisos de acceso, recibe el paquete de datos y los actualiza en la base de datos. En este momento cualquier usuario o cliente puede observar el paquete de información actualizando la página web. La base de datos está estructurada con dos tablas, cada una de ellas es indispensable para el correcto funcionamiento del sistema.

La primer Tabla en la base de datos es la tabla de MEDICIONES, dicha tabla contiene toda la información que ha sido recopilada por la estación meteorológica a lo largo del tiempo. Contiene los valores numéricos de todas las variables climáticas recolectadas, además un índice correlativo para llevar un control de la cantidad de datos que se han almacenado, y campos de información de fecha y hora para establecer el momento exacto en el que se realizaron las muestras de datos correspondientes. Consta de un total de 12 campos, entre los que se encuentra un índice auto-incremental, para llevar un mejor control de la cantidad de datos que se han transmitido La estructura de la tabla mediciones se encuentra descrita en la Tabla 70: Estructura de la tabla MEDICIONES

Tabla 70: Estructura de la tabla MEDICIONES

Número	Columna	Tipo de dato
1	correlativo	Int, auto-increment
2	Id_estacion	Text
3	temperatura	Float
4	Viento_velocidad	Float

Continuación Tabla 70		
5	viento_direccion	Float
6	presion	Float
7	humedad_relativa	Float
8	punto_rocio	Float
9	radiacion	Float
10	sismo	Float
11	fecha	Date
12	hora	Time

La base de datos consta entonces de un aproximado de 100 Bytes, ya que para almacenar cada medición se debe enviar el texto correspondiente a cada valor de tipo Float, es decir, para almacenar una temperatura de 21.30 grados, se deben enviar 5 bytes de información, uno por cada carácter, sabiendo que para establecer la conexión con una base de datos se necesita un texto estructurado SQL con la acción o QUERY a realizar. Con esta información se puede inferir en el tiempo en que los datos pueden ser almacenados sin ninguna preocupación, dependiendo del tiempo de muestreo que tenga la estación meteorológica y de la capacidad del almacenamiento del Servidor Central.

Para calcular el tiempo T de duración en que el servidor central puede almacenar la información en la base de datos se calcula con la Ecuación 49: Tiempo en que se llena la base de datos.

$$T = \frac{\text{Capacidad de Almacenamiento del Servidor (Bytes)}}{\text{Paquete} \left(\frac{\text{Bytes}}{\text{muestra}} \right) * \text{frecuencia} \left(\frac{\text{muestra}}{\text{min}} \right) * \frac{60 \text{min}}{1 \text{h}} * \frac{24 \text{h}}{1 \text{dia}} * \frac{365 \text{dia}}{1 \text{año}}}$$

Ecuación 49: Tiempo en que se llena la base de datos.

En donde T está expresado en años por conveniencia, el paquete está expresado en bytes por muestra (bytes/muestra), la frecuencia está expresada en muestras por

minuto (muestras/min) y la capacidad de almacenamiento del servidor está expresada en bytes.

Calculando el tiempo para la capacidad instalada en el servidor central y con un periodo de actualización de datos de 1 muestra por minuto se tiene que la duración de la base de datos es:

$$T = \frac{250,000,000,000}{100 * 1 * 60 * 24 * 365} = 4,756 \text{ años}$$

Tiempo suficiente para recolectar toda la información y tener un registro completo, además la información contenida en las otras dos tablas, que no es posible medir con exactitud, acortarán mínimamente el total del tiempo que puede estar funcionando con toda normalidad la base de datos.

La segunda tabla contenida en la base de datos es la tabla de control de errores. Cada vez que ocurra un error al comunicarse con la base de datos, error en la solicitud de información en determinado tiempo, o cualquier otra clase de error se almacenará para poder realizar el respectivo mantenimiento posterior, o corregir el problema de una manera más sencilla.

La estructura de la tabla error_log se encuentra en la Tabla 71.

Tabla 71: Estructura de la tabla error_log

Número	Columna	Tipo de dato
1	id	Int,auto-increment
2	error	Text
3	fecha	TIMESTAMP

La información almacenada en la base de datos puede consultarse solamente desde la página web de este proyecto, siendo los datos de las variables climáticas de acceso público, mientras que la información de errores registrados cuyo fin es únicamente realizar mantenimientos preventivos y correctivos, es visible solamente por los administradores del servidor.

2. ESTABLECER COMUNICACIÓN CON LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA. Para establecer comunicación con la estación meteorológica es necesario contar con el software para computadora diseñado para este propósito. Una imagen del programa se muestra en la Figura 109: Software transmisor de información.

Figura 109: Software transmisor de información



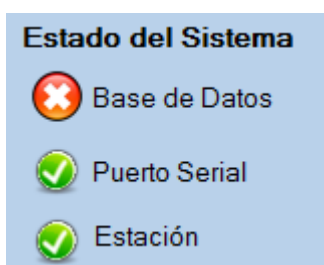
Una vez instalado e inicializado el software, se procede con la conexión a la estación meteorológica. Para esto es necesario contar con un puerto Serial en la computadora que recolectará la información, ya sea por medio de un puerto serial físico instalado que regularmente se encuentra en COM1, o un adaptador USB a serial.



Para conectarse a la estación, simplemente es necesario elegir el puerto correspondiente de la lista desplegable en la sección "Puerto Serial" del programa. La lista desplegable contiene la información de todos los puertos COM instalados en el equipo, se debe asegurar que se está eligiendo el puesto COM correcto y que se tienen instalados los controladores correctos de acuerdo al sistema operativo. Si el puerto COM correcto no aparece en la lista desplegable es necesario cerrar el programa e inicializarlo nuevamente para refrescar la lista.



Una vez elegido el puerto serial en el que se conectará la estación, se debe iniciar la conexión por medio del botón conectar Puerto Serial. Si la conexión es exitosa aparecerá un mensaje en la ventana status en la parte inferior con la leyenda “Puerto Serial Conectado Correctamente”, y en la sección “Estado del Sistema” cambiará el icono para indicar que la conexión al puerto serial está inicializada.



En el momento de realizar la conexión con la estación, el programa esperará hasta recibir un dato válido. Cuando se recibe un dato válido, es decir, cuando el programa detecta información verdadera que ha sido enviada por la estación meteorológica, cambiará el ícono de estado de la estación, localizado en la parte inferior de la sección “Estado del Sistema”, para indicar que se ha recibido un paquete de información correctamente.

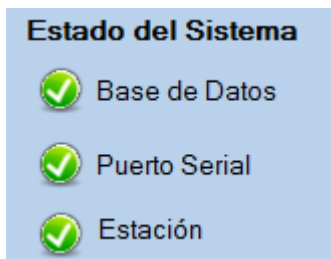
Presión	1.06 B
Dirección Viento	SE- 282°
Humedad Relativa	67%
Velocidad Viento	12.3 Km/h
Temperatura	22.625 °C

En este momento solo se actualizará la información de las variables climáticas recibidas localmente, ya que no se ha realizado la conexión con el servidor para almacenar los datos remotamente.

Si en dado caso no se recibe información correcta de la estación meteorológica por más de 15 minutos, el ícono de estado de la estación indicará que no se están recibiendo datos, y se mostrará un mensaje en la ventana status en la parte inferior también indicando que se ha perdido la conexión.

a. ESTABLECER COMUNICACIÓN CON EL SERVIDOR. Una vez realizada la conexión física con la estación meteorológica a través del cable serial se procede a realizar la comunicación con el servidor para almacenar los datos.

Es indispensable que se tenga una conexión a internet libre, es decir, con los permisos para realizar conectividad remota. Para comprobar si se tienen permisos de conectividad remota utilizando el sistema operativo Windows se debe acceder al cmd. Una vez dentro del cmd se debe escribir “ping”, un espacio en blanco, y luego la IP del servidor al que nos vamos a conectar, si se establece la conexión entonces se comprueba si se tienen los permisos para realizar la transmisión de datos.

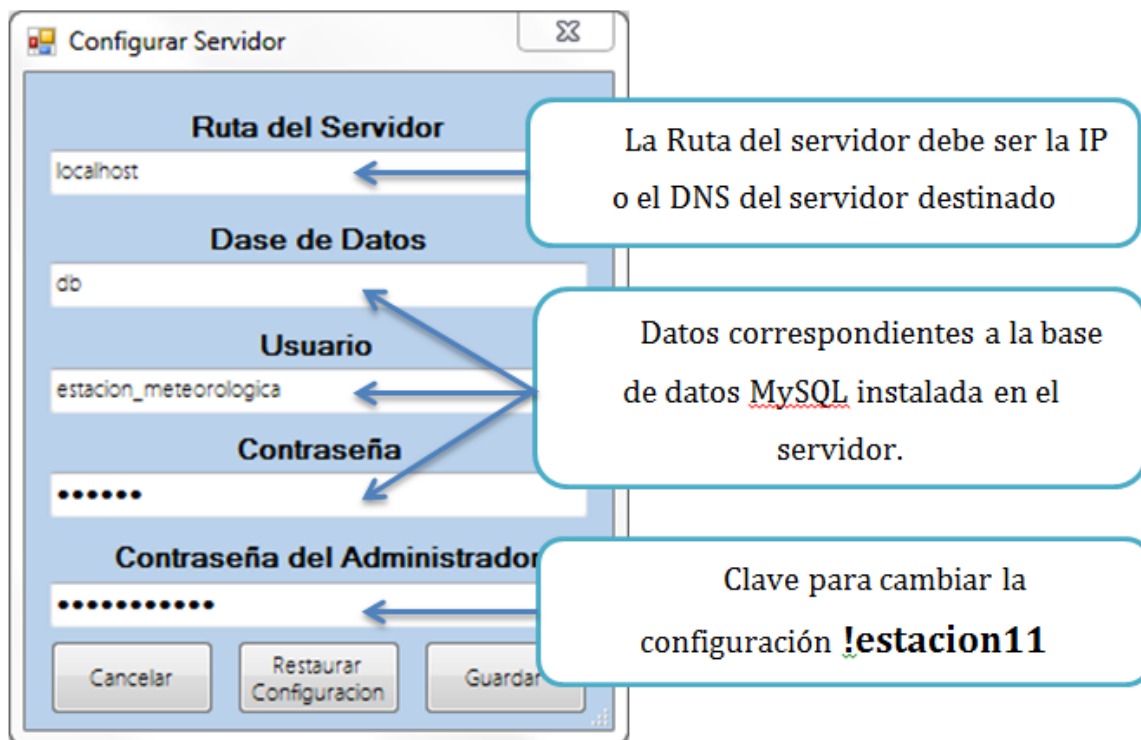


Para realizar la transmisión de datos se debe presionar el botón conectar en la sección servidor en el programa trasmisor, se mostrarán mensajes que indican que se está realizando la conexión con el servidor. De haber un problema con la conexión se mostrará un cuadro de dialogo que indica el error que ha ocurrido. De ser exitosa la conexión, se cambiará el ícono de conexión con la base de datos de la sección “Estado del Sistema”, y se está listo para comenzar a transmitir la información y actualizarla en la

base de datos remota.

En la sección servidor también se encuentra un botón para configurar la conexión, en algún caso que el servidor destinado predeterminado cambiara su IP, se cambiara la base de datos, o bien se instalara el software en el propio servidor, existe la posibilidad de cambiar la configuración desde el mismo programa e indicar la nueva ruta de destino. Simplemente se presiona el botón de configuración y en la ventana emergente se debe llenar los datos nuevos correspondientes. En la Figura 110 se muestra la ventana emergente utilizada para configurar el nuevo servidor destinado, o simplemente muestra la configuración actual que se está utilizando.

Figura 110: Ventana para configurar la conexión al servidor.



En el área Contraseña del Administrador, observa que la contraseña para otorgar permisos de modificaciones es **!estacion11**, es necesario escribir esta contraseña siempre que se quiera cambiar la configuración del servidor, de lo contrario, no se guardarán los datos nuevos ingresados. El botón "Restaurar Configuración" permite recuperar la información predeterminada configurada inicialmente.

La configuración se guarda en el archivo c.cnf. El archivo se encuentra localizado en el directorio raíz del programa, y almacena la configuración para que esté disponible cada vez que se reinicie el programa. Por lo general esta configuración no debe cambiar, pero está disponible para cuando se tenga más de una estación meteorológica y se desee transmitir la información a una nueva base de datos. La tabla a la que se va a transmitir la información es siempre "mediciones", y no se puede configurar a que apunte a otra tabla, esto es para evitar errores al momento de actualizar los datos y tener distinción entre la información de una estación a otra teniendo dos bases de datos separadas e independientes. Si al momento de guardar la información no se encuentra el archivo c.cnf, se creará automáticamente. Si por alguna

razón al momento de iniciar el programa no se encuentra dicho archivo, se mostrará un mensaje de error y se cargará la configuración predeterminada del servidor.

Una vez configurado correctamente el servidor e inicializado la conexión, el sistema actualizará los datos cada vez que los reciba de la estación meteorológica. De manera predeterminada, la estación meteorológica actualiza información cada 60 segundos, por lo que se estará actualizando la información en el servidor remoto en ese mismo intervalo de tiempo. Si la actualización fue exitosa, el sistema mostrará un mensaje en la ventana de status para informar que se han actualizado los datos, y de haberse perdido la conexión, también mostrará el mensaje correspondiente.

El software hace uso de los drivers correspondientes para manejar conexiones a bases de datos MySQL, se realiza una “connection string” con la información ya sea establecida de manera predeterminada o por la configuración ingresada manualmente. Además se crea un objeto con los parámetros de conexión y se hace una prueba de conexión, manejada por MySQL_Driver. Al haber una conexión exitosa se activa una parte del código que genera la script para actualizar el contenido en la base de datos, se realiza un QUERY que obtiene la información recopilada y posteriormente se ejecuta para actualizar los datos en la Base de Datos remota. En dicha consulta, se realiza una validación de la time-zone dado que las fechas y horas en las que se transmiten datos deben ser definitivamente de la zona horaria de Guatemala (UTC-06), para que los datos lleven siempre un orden cronológico correcto.

3. FUNCIONES DE LA PÁGINA WEB

a. ESTADO ACTUAL

1) ESTADO ACTUAL DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS. Es la ventana principal de la página web, está escrita en lenguaje PHP para actualizar el contenido más reciente almacenado en la base de datos. El contenido principal se basa en la medición más reciente para cada variable climática, siendo éstas temperatura, presión barométrica, velocidad del viento, dirección del viento, humedad relativa, radiación y punto de rocío. Esta última no se mide, se calcula, y se explica más adelante.

Para cada variable climática se tiene una ventana individual, cada ventana muestra el último dato muestreado por la estación meteorológica. También se muestra para todas el valor promedio de la medición diaria y en el caso de la temperatura, se muestran los valores mínimo y máximo que se han alcanzado a lo largo del día.

Cada variable posee también un pequeño historial de su comportamiento a lo largo del día, puede ser accedido fácilmente haciendo clic en el ícono correspondiente mostrado en la parte inferior de cada ventana. El informe diario es una ventana emergente que contiene una gráfica que ilustra las variaciones de la variable climática, también se muestran los valores máximo y mínimo registrados para tener un mayor control. Este informe está limitado a las mediciones registradas precisamente en el día en que se está consultando la página, si se desea tener un reporte más completo, e incluso buscar todos los datos que han sido recopilados y descargarlos para su posterior análisis y uso localmente se puede consultar la ventana Historial en el menú principal superior de la página web.

La hora exacta en que la última actualización se ha dado se encuentra localizada en la parte inferior de la página, justo después de las ventanas individuales para cada variable climática. Se muestra un mensaje que contiene la fecha del día y la hora en que se ha realizado la última actualización registrada. De manera predeterminada, la página actualizará el contenido cada minuto, teniendo en cuenta que la estación meteorológica actualiza los datos a razón de una muestra por minuto. El refrescado se realiza solamente en las gráficas, los valores máximos y mínimos y en el último dato registrado, no se recarga completamente la página para que el usuario permanezca siempre en donde él necesite sin los inconvenientes que supone recargar la página totalmente ya que se reinicia la posición, la variable que se está observando etc.

Para refrescar los datos automáticamente se ha utilizado AJAX, en donde una script de php obtiene los valores actualizados siempre que se requiera y una función programada con JQUERY realiza la petición cada minuto.

Para cada variable se tiene una gráfica independiente aparentemente, pero solamente es una gráfica que cambia el origen de los datos, esto es para ahorrar recursos, minimizar las consultas a la base de datos y agilizar el proceso de actualización, esto mejora la estabilidad, la rapidez de la página y evita que el servidor pueda colapsar debido a demasiadas peticiones de actualización.

Cuando no se tienen datos recopilados en el día, debido a algún problema externo como, pérdida de conexión física con la estación meteorológica, o pérdida de comunicación con el servidor destinado se mostrará la leyenda “No hay datos recopilados el día de hoy” y la fecha del día de la consulta. Los datos que no hayan sido transmitidos no podrán recuperarse de ninguna forma y sugerirán un salto en el tiempo cronológico de los datos. Cuando se restablezca la comunicación, se seguirán actualizando los datos con normalidad, pero definitivamente habrá un intervalo de tiempo sin muestras.

De todas las variables climáticas que se muestran, la única variable que no es medida directamente es la correspondiente al punto de rocío. El punto de rocío es básicamente la temperatura a la que empieza a condensarse el vapor contenido en el aire. Depende de la humedad relativa y de la temperatura actual.

Esta información es importante debido a que es muy utilizada en el pronóstico de situaciones como neblina o en condiciones con temperaturas muy bajas, escarcha. La fórmula utilizada para el cálculo del punto de rocío se muestra en la Ecuación 50.

$$T_d(RH, T) = T_n * \frac{\ln\left(\frac{RH}{100\%}\right) + \frac{m*T}{T_n+T}}{m - \ln\left(\frac{RH}{100\%}\right) - \frac{m*T}{T_n+T}}$$

Ecuación 50: Ecuación para calcular el punto de rocío

En donde T_n y m se obtienen de la Tabla 72

Tabla 72: Valores utilizados para el cálculo del punto de rocío.

Rango de temperaturas	T _n (°C)	m
Temperaturas tomadas sobre el agua (0 - 50 °C)	243.12	17.62
Temperaturas tomadas sobre el hielo (-40 - 0 °C)	272.62	22.46

RH es la humedad relativa en porcentaje y T, la temperatura actual en grados centígrados. Y debido a que Guatemala no se encuentra en una zona sobre hielo los datos utilizados son los de la fila 1 (T_n= 243.12 y m = 17.62)








2) ESTADO ACTUAL DEL CLIMA. En la pantalla principal se muestra, además del estado de las variables climáticas, una imagen de aproximación del estado climático actual. Esta imagen es solamente una aproximación, no es resultado de un análisis climatológico y se utiliza únicamente con fines ilustrativos.

Para mostrar una imagen que represente el estado actual del clima se ha realizado una aproximación mediante el uso de las variables climáticas humedad relativa y radiación, de modo que se tenga conocimiento de la cantidad de luz del ambiente y del porcentaje de agua presente en el aire. Este cálculo se hace solamente de día, ya que la radiación obviamente puede medirse durante este periodo, por lo que solamente se mostrará en periodos aproximados desde las 6:00 AM y 6:00 PM, o cuando el nivel de radiación captada por la estación meteorológica supere el umbral necesario para indicar que ha salido o se ha ocultado el Sol.

Los valores de humedad y radiación elegidos no deben considerarse finales, solo son niveles de referencia para establecer el posible estado del clima en ese momento, además, se consideran solamente estados posibles, de modo que no puede haber un valor de humedad relativa muy alto junto con uno de radiación también muy alto, que correspondería a un estado climático soleado y al mismo tiempo lluvia o tormenta. Para estos casos se muestra un símbolo de pregunta, que representa que el sistema no puede determinar la aproximación del estado actual del clima.

Con base a lo anterior, se tienen 6 posibles estados del clima, dependiendo de la condición actual de la humedad y la radiación. En la Tabla 73, se muestra cada estado climático y la forma en que se calcula.

Tabla 73: Ilustración del estado actual del clima.

ESTADO	IMAGEN	RANGO
SOLEADO		Humedad relativa (0-70%) Radiación mayor a 500 Watt/m ²
LIGERAMENTE NUBLADO		Humedad relativa (0-70%) Radiación ente 200 y 500 Watt/m ²
PARCIALMENTE NUBLADO		Humedad relativa (0-70%) Radiación entre 100 y 200 Watt/m ²
NUBLADO		Humedad relativa (21-60%) Radiación menor a 100 Watt/m ²
LLUVIA		Humedad relativa (61-80%) Radiación menor a 200 Watt/m ²
LLUVIOSO TORMENTA		Humedad relativa mayor a 80% Radiación menor a 100 Watt/m ²
DESCONOCIDO		Cualquier dato fuera de los rangos arriba mencionados

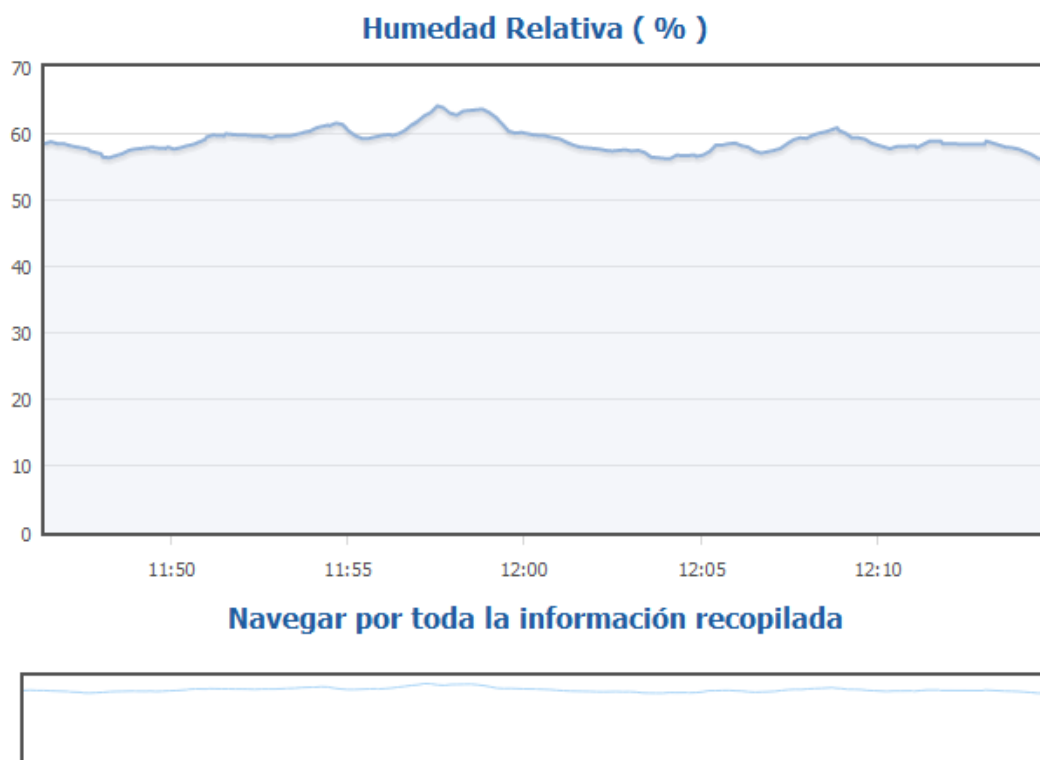
b. HISTORIAL. La página web de la estación meteorológica cuenta con una sección denominada historial. En el historial se encuentran registrados todos los datos que han sido almacenados en la base de datos del servidor, desde la primer medición hasta la más reciente. Es indispensable conocer el comportamiento a través el tiempo que tiene una variable climática, esto es con el fin de establecer tendencias, analizar comportamientos y con base a estos análisis, realizar pronósticos, tanto para fines informativos como para mejorar la agricultura, prevenir catástrofes y anticipar condiciones climáticas que pudieran damnificar de alguna forma a las personas.

En la sección de historial se mostrará de manea predeterminada la información correspondiente al día en que se esté visitando la página. Se muestra la gráfica de comportamiento de todas las variables climáticas, una a la vez, dando la opción al usuario de elegir cuál de todas las variables desea observar. En la parte inferior de esta sección se encuentran dos casillas con las leyendas “fecha inicial” y “fecha final”. Estas casillas sirven para seleccionar un rango de fechas en las que se desea realizar la búsqueda de datos recopilados. Para evitar errores al establecer las fechas, se ha creado una función que utiliza un calendario como ingreso de los datos, de esta manera, el usuario solamente elije el día correspondiente y el sistema se encarga de realizar la búsqueda.

De igual manera que en la sección Estado Actual de las Variables Climáticas, se tiene solamente una gráfica que cambia el origen de datos dependiendo de cuáles parámetros se han elegido. En la parte inferior de la página en la sección Historial también se encuentra una tabla de datos correspondiente a la información que se está graficando, es posible descargar la información utilizando el botón de descarga ubicado en la parte superior derecha de la tabla.

La información se mostrará de acuerdo a los parámetros elegidos, ya sea una variable en específico o un tiempo en específico. Por ejemplo, la gráfica obtenida de humedad relativa para un día en especial se muestra en laFigura 111.

Figura 111: Ejemplo de gráfica obtenida para humedad relativa



Se muestran entonces los datos muestreados, como son muchas mediciones (la estación meteorológica está tomando datos constantemente), la gráfica no muestra ticks, es decir, no se muestran los puntos que han sido tomados para conservar un aspecto gráfico mas limpio y agradable.

También existe la opción de navegar por todos los datos mostrados para observar mejor el comportamiento en un intervalo de tiempo en especial, solamente es necesario seleccionar el area que se desea ampliar y se mostrarán los datos correspondientes. Esta herramienta es muy útil al momento de observar datos atípicos dentro de las mediciones que han sido tomadas por la estación meteorológica.

Para reestablecer la gráfica simplemente es necesario presionar de nuevo el botón de selección de variable climática que se está visualizando, en este caso, se debe seleccionar el botón de humedad relativa localizado en la parte superior de la gráfica de datos. Si se quiere observar alguna otra variable, solamente se debe elegir en la

misma sección donde se encuentran los botones de selección de variable, muy bien identificada. Cabe destacar que para cada cambio de variable se hace una solicitud de datos al servidor central, por lo que puede tardar dependiendo de la cantidad de datos que se deseen visualizar.

Para realizar la búsqueda de datos en un intervalo específico se tiene la herramienta de búsqueda por fechas, que se muestra en la Figura 112.

Figura 112: Sección para buscar datos por fecha

Buscar datos por fecha

Fecha Inicial Fecha Final

◀ October 2011 ▶

Su	Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

Se debe seleccionar la casilla de fecha inicial para que se muestre el calendario emergente, en el que se puede seleccionar con facilidad la fecha deseada, y posteriormente la fecha final para tener un rango de fechas en las que se mostrarán los datos. Por último se debe presionar el botón de BUSCAR para que se realice la búsqueda en el servidor. La fecha inicial debe ser anterior a la fecha final para poder realizar la búsqueda.

La búsqueda se hará para la variable que se está graficando en ese momento, por lo que se actualizará automáticamente. Para ver la gráfica de las otras variables climáticas es necesario realizar la petición de cada una, dando como resultado la

gráfica en el mismo intervalo de tiempo configurado en la última búsqueda por fecha realizada por el usuario.

Los datos pueden ser visualizados gráficamente y también en forma de tabla. La tabla de datos es muy funcional puesto que ofrece la posibilidad de descargar los datos para ser utilizados y analizados posteriormente para realizar los estudios correspondientes.

La tabla de datos se actualiza cada vez que se realiza una búsqueda por fecha, es decir, si se cambia la gráfica de las variables climáticas la tabla se quedará intacta, puesto que se está graficando en el mismo intervalo de tiempo. Si se elige otro intervalo de tiempo para mostrar los datos, la tabla se actualizará para cumplir con los requerimientos. Un ejemplo de tabla de datos se muestra en la Figura 113.

Figura 113: Tabla de datos con la información recopilada.

ID	Temperatura	Velocidad Viento	Direccion Viento	Presion	Humedad Relativa	Radiacion	Fecha	Hora
1649	23.87	1.1	118.9	1.0283	58.4	0	2011-10-04	11:46:26
1650	23.62	2	121	1.0281	58.7	0	2011-10-04	11:46:37
1651	23.5	2.2	129.5	1.0277	58.4	0	2011-10-04	11:46:48
1652	23.37	1.5	109.4	1.0274	58.4	0	2011-10-04	11:46:59
1653	23.25	1.9	106.6	1.0274	58.1	0	2011-10-04	11:47:10
1654	23.18	2.2	117.1	1.0274	57.9	0	2011-10-04	11:47:21
1655	26.62	1.6	88.2	1.0273	57.6	0	2011-10-04	11:47:40
1656	27.93	2.6	115.9	1.0273	57.3	0	2011-10-04	11:47:43
1657	27.56	2.5	97.8	1.0272	56.9	0	2011-10-04	11:48:02
1658	26.81	2.3	92.9	1.0272	56.4	0	2011-10-04	11:48:05

Los datos mostrados en la tabla pueden ser descargados en cualquier momento en los formatos XLS de Microsoft Excel y PDF, de Adobe. Se descargarán solamente los datos que se están mostrando. Para navegar por la tabla dinámica pueden utilizarse las funciones adicionales que permiten ir de página en página de información o incrementar la cantidad de datos mostrados a 25, 50 o 100. La tabla también ofrece la posibilidad de ordenar los datos por alguna variable, esto es por si se requiere ver la

cantidad de veces que se tuvo una medida máxima o mínima por ejemplo, ya que se muestra la hora ya la fecha en que los daton han sido recopilados.

4. COMPLEMENTOS

a. ACERCA DE.En la pestaña acerca de se encuentra una breve descripción del proyecto, indicando al usuario de qué se trata, qué variables se miden y alguna información adicional que contribuya a explicar de mejor manera la estación meteorológica. Además se encuentra la información de los alumnos desarrolladores y qué actividad ha realizado cada quien. Esta sección es puramente informativa, no se tiene contenido de las variables climáticas de ningún tipo, aunque eso no interfiere en ningún momento a la actualización dinámica si se tuviera otra ventana iniciada para ver el contenido de una variable climática en especial.

b. IMÁGENES DEL PROYECTO. Esta sección está dedicada a mostrar ilustraciones correspondientes a las partes del proyecto, y la estación meteorológica como tal. Se muestran fotos e información para cada una de las partes entre las que destacan:

- Estructura
- Panel solar
- Módulo de alimentación y batería
- Circuitos impresos.
- Sensores utilizados

c. BANNER PUBLICITARIO. En todas las secciones de la página web de la estación meteorológica se encuentra un banner publicitario que muestra imágenes de la Universidad del Valle de Guatemala. El objetivo del banner es puramente estético, para que la página tenga elementos atractivos y que mejor que contengan información de la Universidad Del Valle de Guatemala como su principal contenido.

Figura 114: Banner publicitario



El banner está escrito en javascript y utiliza librerías CSS para mostrar las imágenes, lo que conlleva a que se puede reproducir incluso en dispositivos móviles impulsados por java y que no cuenten con un reproductor Flash web instalado.

d. ¿QUIÉNES SOMOS?Esta sección está dedicada a brindar crédito a los integrantes de éste trabajo de investigación. Se encuentra la leyenda “Somos un grupo de 5 jóvenes emprendedores, líderes en nuestro campo, que aceptamos el reto propuesto por la Universidad del Valle de Guatemala, de construir una estación meteorológica que pudiera medir 8 variables climáticas, utilizar y optimizar el uso de la energía solar como única fuente de alimentación, crear un sistema en línea para hacer pública la información obtenida, y ayudar a los diferentes centros de estudios brindándoles una fuente confiable y actualizada de información.”.

También se encuentra el currículum vitae de cada integrante, para que pueda ser descargado por las empresas o personas interesadas.

e. **INTEGRACIÓN CON LA PÁGINA DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA** La página de la estación meteorológica está integrada con la página de la Universidad del Valle de Guatemala mediante una iFrame (inline Frame). Muestra el contenido en un pequeño Gadget especialmente diseñado para este propósito.

El Gadget utiliza sincronización Ajax para actualizar el contenido sin necesidad de actualizar toda la página, en este caso, de la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 115: Integración con la página de la Universidad del Valle de Guatemala

The image shows a screenshot of the Universidad del Valle de Guatemala website. At the top, there is a header with a cartoon character with a brain for a head, the text "Formando mentes MAS GRANDES MAS PRODUCTIVAS MAS CREATIVAS", and a logo with "UVG" and "EXCELENCIA QUE TRASCIENDE". Below the header is a navigation bar with "UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA". The main content area is divided into several sections:

- Left Sidebar:** "About UVG" and "SERVICIOS" with a list of services including "Portal de servicios electrónicos", "Correo Electrónico UVG", "SAKA1", "Biblioteca", "Centro de publicaciones", "Tecnologías Interactivas", "Registro de nombres de dominio ".gt"", "ELASH", "Programa Orientación Estudios Superiores", "Material Psicométrico", "CAIC", "Laboratorios e Investigación", "Centro de Consejería Estudiantil", "Study Abroad", "Centro de Atención y Educación Nutricional (CAEN)", "Programa Tecnológico 4 grados norte", "VIP del Valle", and "Oficina de Relaciones Internacionales Internacionalización".
- Center:** "UVG HOY" section with "noticias, eventos, reportajes y actividades" and the URL "http://hoy.uvg.edu.gt". Below it is "Egresados UVG" and "Actualiza tus DATOS".
- Right Sidebar:** "Estación Meteorológica UVG" gadget showing "20.5 °C", "Viento: NE 4.3 Km/h", and "Humedad: 42.0 %". Below it is "DE INTERÉS..." with a list of links: "Periódico UVG Hoy No. 7 NUEVO", "Publicación semanal del Rector", "Contribuciones UVG - El Periódico", "Folleto promocional UVG (PDF)", "Guía del estudiante", "Escritor contemporáneo del mes SIFE-UVG Tetracampeón de Guatemala", "CREA-UVG", "Tour fotográfico", and "Emplante".

Figura 116: Diseño de gadget estación meteorológica

The image shows the design of the weather station gadget. It is a rectangular box with a light blue background and a white border. At the top, it says "Estación Meteorológica UVG". Below that is a weather icon showing a sun, a moon, and clouds. To the right of the icon, the temperature is displayed as "20.5 °C". Below the temperature, the wind speed and direction are shown as "Viento: NE 4.3 Km/h", and the humidity is shown as "Humedad: 42.0 %".

VIII. CONCLUSIONES

- La estación meteorológica mide 8 variables climatológicas que son: velocidad del viento, dirección del viento, presión barométrica, humedad relativa, temperatura, punto de rocío, radiación y la última intensidad de sismo en escala de Mercalli modificada.
- El sistema de sensores instalado en la estación meteorológica consta de un sensor TSL230BR-LF para la radiación solar, un sensor AIRMAR LB150 para medir la temperatura del aire, presión barométrica, velocidad del viento, dirección del viento, humedad relativa y punto de rocío, un acelerómetro ADXL-335 de 3 ejes para la detección de sismos y 4 paneles solares para el posicionamiento optimizado del panel solar.
- El sensor de radiación solar TSL230BR-LF tiene un porcentaje de error máximo del 5% en la medición de radiación solar con respecto a la estación meteorológica “La Aurora”.
- Se utilizó el dispositivo AIRMAR LB150 ya que realiza la medición de 7 variables ambientales, por un costo menor al de realizar la medición de estas variables por medio de sensores individuales con la misma exactitud y resolución.
- La velocidad del viento tienen una exactitud de ± 1.1 MPH o 4% de la velocidad real del viento (La mayor), según las especificaciones técnicas del fabricante [60]. No fue posible validar los datos contra un dispositivo calibrado.
- La dirección del viento tiene una exactitud de $\pm 1.5^\circ$, según las especificaciones técnicas del fabricante [60]. No fue posible validar los datos contra un dispositivo calibrado.
- El máximo porcentaje de error que se obtuvo en la medición de la humedad relativa es del 4.16%.
- El mayor porcentaje de error obtenido en el cálculo de la temperatura de rocío es del 0.19%. En comparación con la estación meteorológica “La Aurora”.

- El máximo porcentaje de error que se obtuvo en la medición de la presión barométrica es del 0.22% después de la linealización de los resultados que se obtienen con las mediciones del dispositivo AIRMAR LB150.
- El acelerómetro ADXL-335 permitió la detección de sismos con un rango de intensidades desde III hasta X en la escala de Mercalli Modificada.
- La estación meteorológica necesita de un sistema de alimentación de energía solar, constituido por un panel de 50 watts, una batería de 100 Ah y un regulador de 10A.
- Se observó que al utilizar la batería de 100 Ah, la autonomía del sistema es como mínimo de 10 días en caso que el panel no entregara energía.
- Al utilizar un panel solar de 50 watts, el sistema puede consumir hasta 16 Ah sin descargarse por completo.
- El regulador de voltaje incrementa la vida de la batería, al evitar el paso de corriente reversa hacia el panel e impidiendo sobrecargarla, también contribuye a proteger los circuitos de un corto-circuito.
- Se observó que el sistema de alimentación de la estación meteorológica, es capaz de soportar una carga 16 Ah.
- El sistema electrónico de medición y orientación automática instalados en la estación meteorológica, están constituidos por 6 microcontroladores PIC16F887.
- Con los resultados finales del análisis estructural, se pudo determinar que las dimensiones iniciales seleccionadas en la sección geometría de la estructura cumplen con los requerimientos de diseño.
- El material óptimo para la estructura principal fue aluminio 6063 T6, para los ejes aluminio 6061 T5 y para las uniones, acero galvanizado recubierto con pintura anticorrosiva.
- Se seleccionó un mecanismo de 4 barras doble paralelogramo articulado para el movimiento diario del panel solar.
- Se seleccionó un actuador lineal DC para el movimiento anual del panel solar.

- El movimiento anual se implementó a través de un actuador lineal DC que tiene un consumo máximo de 3.2 amperios con carga y tiene la capacidad para resistir una fuerza del viento con velocidad de 230 km/h sin que se sobrepase el torque de parada.
- La estructura debe estar orientada de Sur a Norte, para cumplir con los requerimientos de orientación tanto diaria como anual.
- La captación de energía mejoró en un 50% en el panel solar móvil con respecto al panel solar fijo.
- Se utilizó comunicación RS-485 para transmitir información dentro de los circuitos de la estación meteorológica y comunicación serial a 4800 Baudios para transmitir los datos.
- Se observó que la transmisión de datos en formato serial es la más indicada para la recepción de los mismos, ayudando a diferenciar la información por medio de encabezados definidos en el protocolo interno.
- La estación meteorológica transmite 5 cadenas de datos que son procesadas en el servidor central; dichas cadenas son: \$WIMDA, \$WIMDE, \$WIMDI, \$WIMDO Y \$WIMDU, cada una de ellas posee información de las variables climáticas medidas.
- La estación meteorológica transmite datos a una velocidad promedio en el día de 6 paquetes por minuto y en la noche de 1 paquete cada 5 minutos. Cada paquete contiene las 5 cadenas con la información de las variables climáticas.
- El módulo de comunicación puede conectarse a una estación meteorológica a la vez, pero pueden inicializarse las instancias independientes del programa, para conectar todas las estaciones necesarias
- La información recopilada por la estación meteorológica se procesa en un servidor ubicado en la Universidad del Valle de Guatemala.
- La información recopilada por la estación meteorológica se almacena en una base de datos MySQL .
- La información más reciente recopilada por la estación meteorológica, se muestra en la página web estacionmeteorologica.uvg.edu.gt.

IX. RECOMENDACIONES

- Se recomienda para futuros estudios, realizar la comparación y validación de datos de dirección de viento y velocidad de viento, contra una estación meteorológica certificada.
- Se recomienda a las instituciones de sismología, después de formar una base de datos amplia de las intensidades registradas por la Estación Meteorológica, encontrar la ecuación de relación entre la aceleración pico del suelo y la intensidad sísmica en la escala de Mercalli Modificada para Guatemala.
- En la detección de sismos, para la detección de intensidades grado I y grado II en la escala de Mercalli Modificada, se recomienda el uso de un acelerómetro especializado en la detección de sismos que, preferiblemente, cuente con filtros para la supresión de ruido.
- En la detección de sismos, para la detección de intensidades grado XI y grado XII en la escala de Mercalli Modificada, se recomienda el uso de un microcontrolador que permita una conversión de análogo a digital con mayor resolución y rango de conversión.
- Se recomienda darle mantenimiento a la estructura de la estación meteorológica, ya que se deben engrasar los cojinetes y pintar las partes galvanizadas para evitar la corrosión.
- Se debe seleccionar la fijación de la estructura a la superficie dependiendo del lugar en donde se encuentre ubicada la estación meteorológica. Se recomienda a las instituciones generadoras de energía eléctrica renovable, realizar estudios para la generación de energía solar a partir de los datos recopilados de radiación de la Estación Meteorológica.
- Para evitar el uso del puerto paralelo para la comunicación entre el master y el esclavo 1 se recomienda utilizar un microcontrolador con la capacidad de 2 módulos USART, de este modo se podría estar obteniendo los datos del sensor y comunicando al master al mismo tiempo.

- Existe una manera de poder depurar un microcontrolador juntando las funciones del esclavo 1 y el maestro, esto se logra utilizando un driver MAX485 como compuerta de la misma manera que se utiliza con los esclavos 2 y 3 solo que esta vez de lo que se recibe directamente del sensor New Mountain NM150, y ahora el master filtra la cadena GPGGA y la manda a la base de datos.
- Se sugiere utilizar el lenguaje ensamblador a la hora de manejar cadena de datos y transmitirlos, ya que con el lenguaje ensamblador se tiene un mejor control de los bancos.
- Para transmisiones de datos de este tipo se sugiere utilizar el protocolo RS-485, ya que por la importancia de los datos y la forma de utilizar los sensores; los microcontroladores de los módulos esclavos no pueden ser interrumpidos cada vez que el master quiera, por lo tanto con este protocolo se puede manejar la comunicación por medio de su driver.
- Se recomienda implementar redes neuronales para optimizar el tiempo de transferencia de cada una de las variables, debido a que el sensor de radiación dirige el tiempo de transmisión, por medio de redes neuronales puede aprender el tiempo que se tarda en enviar radiación solar y no poner atención a este sensor hasta que esté cerca de enviar, por lo tanto se tendría una base de datos más grande para realizar estudios.
- La estación meteorológica provee información de las variables climáticas en el lugar donde está instalada. Para analizar los datos, realizar estudios y pronósticos confiables, se recomienda instalar más de una estación en el área de estudio.
- El software Transmisor puede ser instalado directamente en el servidor destinado, lo que proporciona una herramienta útil si se desea agregar la funcionalidad de una conexión GPRS y un COM virtual, simplemente se elige el COM adecuado y los datos serán actualizados en el momento de ser recibidos.

- El tráfico de datos es alto, en un día entero de transmisión se reciben aproximadamente 1,440 paquetes de información de aproximadamente 100 Bytes, por lo que al momento de realizar búsquedas en el historial entre fechas lejanas (mayores a un mes por ejemplo), el sistema se puede volver muy lento en recolectar toda esa información. Es recomendable descargar periódicamente los datos, por lo menos una o dos veces al mes si se requieren hacer análisis locales, para facilitar la obtención de los mismos.
- Los datos se recopilan cronológicamente, es decir, se ordenan por el tiempo en que fueron recopilados. Si ha habido un tiempo en el que no se tomaron datos se mostrará este intervalo como la unión desde el último valor hasta el nuevo que ha sido tomado, por lo que es indispensable que no se deje en ningún momento muestrear y actualizar los datos al servidor para preservar la confiabilidad de la información.

X. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Aguayo, M. Á. (2009). *Articulos Facultad de Ingeniería*. Recuperado el 8 de Octubre de 2011, de Universidad de Colima:
http://docente.ucol.mx/al000408/public_html/CODIGO%20MANCHESTER.html
- [2] AIRMAR. (s.f.). *Sintaxis GPGGA, PB100 Wheather Station*. Composición de Oración NMEA 0183: AIRMAR.
- [3] AIRMAR. (s.f.). *Sintaxis WIMDA, PB100 Weather Station*. Composición de Oración NMEA 0183: AIRMAR.
- [4] Alduchov, Oleg; 1992. *Improved Mangus' Form Approximation of Saturation Vapor Pressure*, Rusia. 21 págs.
- [5] Alumicentro. "Catálogos de perfiles de aluminio". [en línea]
<http://www.alumicentro.com/>
- [6] Amengual, C. "Sistemas de coordenadas en la esfera celeste", [en línea], febrero 2010, <http://www.astronomia.org/doc/esfcel.pdf>
- [7] Askeland, D. "Ciencia e Ingeniería de los materiales", 1998. 3ra edición, Mexico Df. 624 págs.
- [8] Asm. "Aluminum 6063 T5". [en línea]
<http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA6063T5>
- [9] Atkinson, Gail; 2006. *Relationships between felt intensity and instrumental ground motion for new Madrid shake-maps*, España, Universidad de Carleton, Departamento de Ciencias Terrestres,. 27 págs.
- [10] Beer, J. "Mecánica vectorial para ingenieros dinámica", 2008, 9na edición, Mexico Df. 534 págs.
- [11] Biggs, William; 1984, *Principles of Radiation Measurements*, Holanda, 10 págs.
- [12] Bramer, Van; 1998. *Pressure vs. Altitude Relationships*, Estados Unidos, 2 págs

- [13] Budynas,R. “Diseño en ingeniería mecánica de Shigley”, 2008, 8va edición, Mexico Df. 1059 págs.
- [14] Castro, Otto; 2009. La variabilidad de la radiación solar en la superficie terrestre y sus efectos en la producción de caña de azúcar en Guatemala, Guatemala, 10 págs.
- [15] Colaboradores CODESO. CÁLCULOS PARA LA ELECTRIFICACIÓN SOLAR [En línea] Junio 2006 <http://www.codeso.info/Calculo02.html>
- [16] Colaboradores de asociación 1011, “Estación meteorológica base aérea de alcantarilla”, [en línea] Julio 2011. <http://1011ideas.blogspot.com/2011/07/estacion-meteorologica-base-aerea-de.html>.
- [17] Colaboradores de Sensstech, TODO SOBRE LAS BATERÍAS DE CICLO PROFUNDO [En línea] Octubre 2009 <http://colombia.sensstech.com/2009/10/todo-sobre-las-baterias-de-ciclo-profundo-faq-y-tutorial/>
- [18] Colaboradores de Solarweb. “Cálculo de fuerza del viento sobre la estructura”. [en línea]. <http://www.solarweb.net/forosolar/aspectos-tecnicos/8029-calculo-fuerza-del-viento-sobre-la-estructura-2.html>
- [19] Colaboradores de tayabeixo, “Coordenadas horizontales”, [en línea] http://www.tayabeixo.org/que_obs/coord_hor.htm
- [20] Colaboradores Electropedia, BATTERY AND ENERGY TECHNOLOGIES [En línea] 2005 <http://www.mpoweruk.com/performance.htm>
- [21] Colaboradores EPSolar, SOLAR LIGHT CONTROLLER [En línea] <http://www.epsolarpv.com/files/pdf/LS1024R.pdf>
- [22] Colaboradores Free Energy Europe, SOLAR PANEL DATASHEETS[En línea] Marzo 2008 <http://www.freeenergyeurope.com/pdf/FEE-12-lineC.pdf>
- [23] Colaboradores Temas Actuales, MAPAS DE POTENCIA PARA ENERGIASOLAR [En línea] <http://www.temasactuales.com/Spanish/tools/mapasolar.php>

- [24] Coquet, E. (2010). Recuperado el 4 de Octubre de 2011, de Comunidad del Electrónico:
<http://www.comunidadelectronicos.com/articulos/i2c.htm>
- [25] Cuellar, A. "Puente H para motor DC". [en línea]
<http://www.angelfire.com/co2/piel/puenteh.html>
- [26] David Sawyer McFarland, CSS: The Missing Manual, O'Reilly Media Inc, USA, 2009.
- [27] *DHT11 Temperature & Humidity Sensor features a temperature & humidity sensor complex with a calibrated digital signal output*, 2010. D-Robotiks, Reino Unido. 9 págs.
- [28] Díaz, P., Catenazzi, N. Aedo, I. (1996): "De la Multimedia a la Hipermedia". RA-MA Editores, Madrid. 1996.
- [29] Direct Industry, "Estación meteorológica", [en línea]
<http://www.directindustry.es/prod/atlas-material-testing-technology/estaciones-meteorologicas-27780-414912.html>.
- [30] *DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer*, 2008, Estados Unidos Maxim, 22 páginas.
- [31] Elnashai, Amr; Di Sarno, Luigi; 2008. *Fundamentals of Earthquake Engineering*, 1ª Edición, Estados Unidos, John Wiley & Sons, Ltd. 374 páginas.
- [32] *Escala de Beaufort*, Ciese,
<http://www.ciese.org/curriculum/weatherproj2/es/popup/beaufort.shtml>
- [33] Espinosa, J. D., Cano, J. M., & Sepúlveda, A. (2010). *Redes de Datos*. Recuperado el 7 de Octubre de 2011, de Universidad Politécnica de Colombia: <http://juandeg.tripod.com/rs232.htm>
- [34] Espinosa, M. (2011). *Protocolos*. Recuperado el 7 de Octubre de 2011, de ZeroCircuits:
http://zerocircuits.zobyhost.com/Protocolos/protocolo_RS232.php

- [35] Espulga, Nelson. CELDAS FOTOVOLTAICAS. *Angelfire* [En línea] 2004
<http://www.angelfire.com/electronic2/electronicaanalogica/celda.html>
- [36] Esquit, C.; 2010, *Instrumentación Electrónica- Caracterización de los instrumentos de medición*, Universidad del Valle de Guatemala, Presentación PPT, 37 páginas.
- [37] Estrada, F. "Módulo de sensores de estación meteorológica", 2011, Tesis, Universidad del Valle, Guatemala.
- [38] Figueroa, A. noviembre 2010 "Análisis, diseño y construcción de un seguidor solar para celdas fotovoltaicas". Tesis Universidad Mayor. Chile. [en línea] <http://www.ingenieria.cl/web/download/electronica/3.pdf>
- [39] González, C. FÍSICA DE LAS RADIACIONES SOLARES. *LaPiel.com* [En línea] Junio 2004
http://www.lapiel.com/frontend/lapiel/noticia.php?id_noticia=555&id_seccion=224
- [40] Gonzáles Garcia, M. (2009). *Sección de Electrónica*. Recuperado el 8 de Octubre de 2011, de Portal de Tecnología de Habla Hispana:
<http://www.pablin.com.ar/electron/cursos/i2c/index.htm>
- [41] Hibbeler, R. "Mecánica de materiales", 2006. 6ta edición, México Df. [en línea]. http://books.google.com/books?id=iCBye0_lEXsC&pg=PA91&lpg=PA91&dq=materiales+ductiles+y+fragiles&source=bl&ots=XjrLrDC6ge&sig=1XqEC-SQKuHGrSTTsXaab5rQKWk&hl=en&ei=uz6JToaSB4mUtwfDy8Uz&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=8&ved=0CGcQ6AEwBw#v=onepage&q&f=false
- [42] *HS1101LF - Relative Humidity Sensor*, 2008. Humirel Measurement Specialties, Francia. 6 págs.
- [43] *Humidity at Glance*, 2008. Sensirion, Japón. 2 págs.
- [44] Ibañez, M. "Posición del Sol", Tecnología solar, Madrid, 2004. Págs. 29-31.
 Internet: <http://books.google.com/books?id=C1YKKKpKLi0C&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

- [45] Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. PROMEDIOS MENSUALES Y ANUALES DE RADIACION SOLAR EN GUATEMALA [En línea] 2011.
<http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/ESTACIONES/GUATEMALA/Insivumeh/Radiacion%20Solar%20Insivumeh.htm>
- [46] Introducción a SQL y SQL Server, Disponible en:
http://www.w3schools.com/sql/sql_intro.asp
- [47] Jameco Electronics, "Solar panel". [en línea]
http://www.jameco.com/webapp/wcs/stores/servlet/Product_10001_10001_1928142_-1.
- [48] Jaramillo, Oscar; 1998, *Transporte de energía solar concentrada a través de fibras ópticas: acoplamiento fibra-concentrador y estudio térmico*, Tesis de la Universidad Autónoma de México, Unidad Académica de los ciclos Profesionales de Posgrado. 171 págs.
- [49] JQuery, Funcionamiento de JQuery, 2011 Disponible en
http://docs.jquery.com/How_jQuery_Works
- [50] Kramer, Steven; 1996, *Geotechnical Earthquake Engineering*, 1ª Edición, Estados Unidos, Prentice-Hall. 319 págs.
- [51] Linkimer, Lepolt; 2001, *Relationship between Peak Ground Acceleration and Modified Mercalli Intensity in Costa Rica*, Costa Rica, Revista Geológica de América Central. 14 páginas.
- [52] Maxim Integrated Products. (2008). Datasheet DS18B20. Sunnyvale, California, Estados Unidos de América: Maxim Integrated Products, Inc.
- [53] Mayné Grau, J. (2008). *Departamento de Ingeniería Electrónica*. Recuperado el 5 de Octubre de 2011, de Universidad Politécnica de Cataluña: <http://tec.upc.es/ie/practi/Sistemas.pdf>
- [54] Mérida, L. "Módulo de alimentación de estación meteorológica", 2011, Tesis, Universidad del Valle, Guatemala.
- [55] Microchip. (2008). *Datasheet PIC16F887*. Microchip Technology Inc.

- [56] Ministerio de Energía y Minas Guatemala. LA ENERGÍA EN GUATEMALA [En línea] Marzo 2007
[http://www.infoiarna.org.gt/media/file/areas/energia/documentos/pres/\(1\)%20GUATEMALA2020La20EnergC3ADa20en0Guatemala.pdf](http://www.infoiarna.org.gt/media/file/areas/energia/documentos/pres/(1)%20GUATEMALA2020La20EnergC3ADa20en0Guatemala.pdf)
- [57] Montgomery, D; 2003, *Applied Statistics and Probability for Engineers*, 3ª Edición, Estados Unidos, John Wiley & Sons Inc. 822 páginas.
- [58] Mora, L y Ramírez, L., RADIACIÓN SOLAR EXTRATERRESTRE. RADIACIÓN EN UNA SUPERFICIE HORIZONTAL. *Universidad Internacional de Andalucía* [En línea] Julio 2010 <http://ocw.unia.es/ciencias-de-la-ingenieria/caracterizacion-y-evaluacion-de-la-radiacion-solar/tema-4>
- [59] Morera, C. (2009). *Técnicas Digitales III*. Recuperado el 7 de Octubre de 2011, de Ayuda Electrónica: <http://ayudaelectronica.com/codigo-Manchester/>
- [60] MySQL, Características de MySQL, 2011 Disponible en:
<http://www.mysql.com/why-mysql/>
- [61] Nibbelink, Brett; 2009. *Capacitive Humidity Sensor Presentation*, Estados Unidos. 14 págs.
- [62] Nicholas C. Zakas , *Professional JavaScript for Web Developers*, Wiley Publishing Inc, 2005.
- [63] *NM150 Technical Manual*, 2008. New Mountain Innovations, Estados Unidos, 72 págs.
- [64] Norton, R. "Design of machinery", 1999, 2da edición, Mexico Df. 920 págs.
- [65] Nuño Garcia, F. (2007). *Área de Tecnología Electrónica*. Recuperado el 4 de Octubre de 2011, de Universidad del Oviedo:
<http://www2.ate.uniovi.es/fernando/Doc2007/>
- [66] OMEGA, "introduction to stepper motors and drives", [en línea]
http://www.omega.com/prodinfo/stepper_motors.html
- [67] *Op Amp Circuit Collection*, 2002. National Semiconductors, Estados Unidos. 33 págs.

- [68] Palazzesi, A. (2009). *Departamento de Electrónica*. Recuperado el 9 de Octubre de 2011, de UControl:
<http://www.ucontrol.com.ar/wiki/index.php?title=USART>
- [69] Pastor, F. (2009). Recuperado el 4 de Octubre de 2011, de Universidad de Valencia: <http://www.uv.es/gomis/Robotica/protocoloI2C.htm>
- [70] Peng, K.H.; 2004. *The Temperature Compensation of the Silicon Piezo-Resistive Pressure Sensor Using the Half-Bridge Technique*, I-Shou University, Departamento de Electrónica, Taiwan , 10 págs.
- [71] Php.net, Manual de PHP, septiembre de 2011 Disponible en:
<http://www.php.net/manual/es/>
- [72] Pidwirny, M. SOLAR IRRADIATION. *Encyclopedia of Earth* [En línea] Enero 2010 http://www.eoearth.org/article/Solar_radiation
- [73] *PIC16F882/883/884/886/887 Datasheet*, 2008. Microchip, Estados Unidos, 328 págs.
- [74] Pinto, H. “Diseño óptimo de mecanismos de cuatro barras para generación de movimiento con restricciones de montaje y ángulo de transmisión”, Universidad nacional de Colombia, octubre 2007. [en línea] <http://www.bdigital.unal.edu.co/1014/>
- [75] Prera, A. “Seguidor electrónico del Sol para control de módulos solares con monitorización y datos”, 2004, Tesis, Universidad del Valle, Guatemala.
- [76] *Radiometric and Photometric Measurements with TAOS PhotoSensors*, 2007. Texas Advanced Optoelectronic Solutions, Designer’s Notebook, Estados Unidos, 9 págs.
- [77] Rasmus Lerdorf, Resume, Disponible en: <http://lerdorf.com/resume/>
- [78] Recinos, B. (2010). *Sugerencias Electrónicas*. Recuperado el 2011 de Octubre de 6, de LedMatic: <http://www.pantallas-electronicas.es/index.php/es/maes-lejos-con-rs485.html>
- [79] Sandoval, J. (2009). *Tropic Hardware y Electrónica*. Recuperado el 6 de Octubre de 2011, de EUSKALNET:
<http://www.euskalnet.net/shizuka/rs232.htm>

- [80] Sarmiento, Antonio. LA HORA SOLAR PICO [En línea]
<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia22/HTML/articulo03.htm>
- [81] Schmidt, Victor; 2005. *Proyecto de investigación: Redefinición de la escala de intensidad Mercalli Modificada para Costa Rica, No. 731-A5-093*, Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería, Costa Rica, 21 págs.
- [82] Serway, R. "Física para ciencias e ingenierías", 2005, 6ta edición, Mexico Df. 702 págs.
- [83] *Sismología*, INSIVUMEH,
<http://www.insivumeh.gob.gt/geofisica/indice%20sismo.htm>
- [84] Smith, W. "Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales", 1999, 3ra edición, Madrid España. 715 págs.
- [85] *Solar Radiation*, 1994. The Concise Columbia Electronic Encyclopedia, 3ª edición, 4 págs.
- [86] *Solar Radiation*, 2009, Almashriq,
<http://almashriq.hiof.no/lebanon/600/610/614/solar-water/idrc/01-09.html>
- [87] *Sonic Anemometer*, Applied Technologies, Inc., Estados Unidos, 24 páginas.
- [88] Steyn, T.; 2007, *Ecological Assessment Report*, Naledzi Enviromental Consultantes, 53 páginas.
- [89] Stoffel, Tom; Wilcox, S. 2004. *Solar Radiation Measurements*, Estados Unidos, 49 págs.
- [90] *Thermal Management Handbook*, Maxim, Estados Unidos, Maxim Integrated Products, Inc., 70 páginas.
- [91] *TSL230RD, TSL230ARD, TSL230BRD Programmable light-to-frequency converters*, 2007. Texas Advanced Optoelectronic Solutions, Estados Unidos, 14 págs.
- [92] Tutoriales y cursos en línea para desarrollo web Disponible en
<http://www.w3schools.com/php/default.asp>

- [93] Universidad Carlos III, “Análisis de mecanismos de cuatro barras” [en línea]. ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/teoria-de-maquinas/practicas-1/p3.pdf
- [94] Universidad de Valladolid, “Propiedades útiles”. [en línea]. <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso03-04/PMAM/PROPIEDADES.htm>
- [95] Universidad Nacional de la Plata, “Materiales aeronáuticos El aluminio aleado y sus aplicaciones en aeronáutica” [en línea]. <http://www.ing.unlp.edu.ar/aeron/catedras/archivos/Apunte%20de%20Aluminio11.pdf>
- [96] Villagrán, *et al.* 1994, *Seismic Hazzard For Guatemala*, Guatemala, 63 págs.
- [97] Wald, David; 1999. *Relationships between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Modified Mercalli Intensity in California*, Volúmen 15. 8 págs.
- [98] Zárate, H. (2010). *Redes de Datos*. Recuperado el 8 de Octubre de 2011, de Universidad Nacional Autónoma de México: <http://es.scribd.com/doc/32290415/Codificacion-Manchester>

XI. APÉNDICE

A. ANEXO 1-CÓDIGO FUENTE DE MÓDULO DE SENSORES

1. RADIACIÓN SOLAR

```
1: /*Universidad del Valle de Guatemala
2: Ingeniería Mecatrónica
3: Megaproyecto: Estación Meteorológica
4: Fernando José Estrada Samayoa
5: Carné: 07159*/
6:
7: //Declaración de Variables
8: unsigned long int contador=0;
9: unsigned long int tempcontador=0;
10: short tempth;
11: short temptl;
12: int ct=0;
13: short tcon;
14: bit estado;
15: unsigned char msj[3];
16:
17: /*Interrupción en el que:
18: - En caso de sobrecarga de TMR1 se aumenta el contador y reinicia TMR1
19: - Al contar 16 pulsos en el módulo de captura y se guarda el contador
20:   y el TMR1 para así ser enviados después*/
21:
22: void interrupt() {
23:
24: //Sobrecarga del TMR1
25:   if(tmrlif_bit==1)
26:   {
27:     TMR1H=0;
28:     TMR1L=0;
29:     contador++;
30:     tmrlif_bit=0;
31:   }
32:
33: //Guardado de variables al contar 16 pulsos
34:   if (CCP1IF_bit==1 || contador>2000){
35:     asm BCF INTCON, GIE
36:     asm BCF INTCON, PEIE
37:     asm BCF T1CON, TMR1ON
38:     asm CLRF CCP1CON
39:     tempth=ccpr1h;
40:     temptl=ccpr1l;
41:     ct=ct+1;
42:     tempcontador=contador;
43:     estado=1;
44:   }
45: }
46:
47: void main()
48: {
49: //Inicialización de Variables
50:   OSCCON = 0;
51:   ANSEL = 1;
52:   estado=0;
53:   C1ON_bit = 0;
54:   C2ON_bit = 0;
55:   TRISD=0;
56:   TRISB=0;
57:   TRISC = 0B11000100;
```

```

58:     CCP1CON=0B00001111;
59:     T1CON=0B10000101;
60:     portc=0;
61:
62: // Inicialización del UART a 4800 baudios
63:     UART1_Init(4800);
64:     CCP1IE_bit=1;
65:     CCP1IF_bit=0;
66:     tmrlif_bit=0;
67:     estado=0;
68:
69: //Habilitación de TMR1 e interrupciones
70:     tmrlon_bit=1;
71:     TMR1IE_bit=1;
72:     PEIE_bit = 1;
73:     GIE_bit = 1;
74:
75: //Ciclo principal
76:     do
77:     { //Envío de datos cuando se contaron 16 pulsos en el módulo de captura
78:         if(estado==1)
79:         {
80:             estado=0;
81:             contador=0;
82:             if(ct>2)
83:             {
84:                 UART1_Write_Text("$WIMDO,");
85:                 ByteToStr(tempth,msj);
86:                 UART1_Write(msj[0]);
87:                 UART1_Write(msj[1]);
88:                 UART1_Write(msj[2]);
89:                 UART1_Write_Text(",");
90:                 delay_ms(10);
91:                 ByteToStr(temptl,msj);
92:                 UART1_Write(msj[0]);
93:                 UART1_Write(msj[1]);
94:                 UART1_Write(msj[2]);
95:                 UART1_Write_Text(",");
96:                 delay_ms(10);
97:                 tcon=tempcontador;
98:                 ByteToStr(tcon,msj);
99:                 UART1_Write(msj[0]);
100:                 UART1_Write(msj[1]);
101:                 UART1_Write(msj[2]);
102:                 UART1_Write_Text(",");
103:                 delay_ms(10);
104:                 tempcontador=tempcontador>>8;
105:                 tcon=tempcontador;
106:                 ByteToStr(tcon,msj);
107:                 UART1_Write(msj[0]);
108:                 UART1_Write(msj[1]);
109:                 UART1_Write(msj[2]);
110:                 UART1_Write_Text(",");
111:                 delay_ms(10);
112:                 tempcontador=tempcontador>>8;
113:                 tcon=tempcontador;
114:                 ByteToStr(tcon,msj);

```

```

115:         UART1_Write(msj[0]);
116:         UART1_Write(msj[1]);
117:         UART1_Write(msj[2]);
118:         UART1_Write_Text(",");
119:         delay_ms(10);
120:         tempcontador=tempcontador>>8;
121:         tcon=tempcontador;
122:         ByteToStr(tcon,msj);
123:         UART1_Write(msj[0]);
124:         UART1_Write(msj[1]);
125:         UART1_Write(msj[2]);
126:         UART1_Write_Text("$\r\n");
127:         delay_ms(10);
128:         ct=0;
129:     }
130:
131:     /*Reinicialización de Variables y habilitación del TMR1
132:     para volver a contar el tiempo de los nuevos 16 pulsos*/
133:
134:     asm BCF PIR1, CCP1IF
135:     asm BSF T1CON, TMR1ON
136:     asm MOVLW 0x07
137:     asm MOVWF CCP1CON
138:     asm CLRF TMR1L
139:     asm CLRF TMR1H
140:     asm BSF INTCON, GIE
141:     asm BSF INTCON, PEIE
142: }
143: }while(1);
144: }

```

2. TEMPERATURA

```

1: /*Universidad del Valle de Guatemala
2: Ingeniería Mecatrónica
3: Megaproyecto: Estación Meteorológica
4: Fernando José Estrada Samayoa
5: Carné: 07159
6:
7: **Este código es una modificación al código:
8:     - OneWire (Interfacing the DS1820 temperature sensor - all versions)
9:     - Con derechos de autor para:(c) Mikroelektronika, 2009.
10: */
11:
12: //Declaración de Variables
13: char rxchar, k=0;
14: int cont3=1;
15: unsigned char rxarray[80];
16: char i = 0;
17: char j = 0;
18: char cont1=0, flag=0, cont2=0, flag1=0, flag2=0, flag3=0;
19: const unsigned short TEMP_RESOLUTION = 12;
20: char tempch[7] = "000.00";
21: unsigned temp5;
22:
23: //Obtención de la temperatura
24: void GetTemp(unsigned int temp2write)
25: {
26:     const unsigned short RES_SHIFT = TEMP_RESOLUTION - 8;
27:     char temp_whole;
28:     unsigned int temp_fraction;
29:
30:     // Chequear si la Temperatura es Negativa
31:     if (temp2write & 0x8000) {
32:         tempch[0] = '-';
33:         temp2write = ~temp2write + 1;
34:     }
35:
36:     // Obtener la parte entera de la temperatura
37:     temp_whole = temp2write >> RES_SHIFT ;
38:
39:     // Convertirlo a caracteres
40:     if (temp_whole/100)
41:         tempch[0] = temp_whole/100 + 48;
42:     else
43:         tempch[0] = '0';
44:
45:     tempch[1] = (temp_whole/10)%10 + 48;           // Obtener la decena
46:     tempch[2] = temp_whole%10 + 48;             // Obtener la unidad
47:
48:     // Obtener la parte decimal de la temperatura
49:     temp_fraction = temp2write << (4-RES_SHIFT);
50:     temp_fraction &= 0x000F;
51:     temp_fraction *= 625;
52:
53:     // Convertir la parte decimal a caracteres
54:     tempch[4] = temp_fraction/1000 + 48;         // Obtener los miles
55:     tempch[5] = (temp_fraction/100)%10 + 48;   // Obtener la centena
56: }
57:

```

```

58: void main()
59: {
60:     //Inicialización de Variables
61:
62:     TRISD = 0xFF;
63:     PORTD = 0x00;
64:     ANSEL = 0x00;
65:     TRISA = 0B00110000;
66:     ANSELH = 0;
67:     PORTA = 0x00;
68:     C1ON_bit = 0;
69:     C2ON_bit = 0;
70:
71:     //Inicialización del UART a 4800 baudios
72:     UART1_Init(4800);
73:
74:     //Habilitación de interrupciones
75:     PIR1.RCIE = 1;
76:     INTCON.PEIE = 1;
77:     INTCON.GIE = 1;
78:     Delay_ms(100);
79:     do
80:     {
81:         Ow_Reset(&PORTE, 2); // Onewire señal de reseteo
82:         Ow_Write(&PORTE, 2, 0xCC); // Comando SKIP_ROM
83:         Ow_Write(&PORTE, 2, 0x44); // Comando CONVERT_T
84:         Delay_us(120);
85:         Ow_Reset(&PORTE, 2);
86:         Ow_Write(&PORTE, 2, 0xCC); // Comando SKIP_ROM
87:         Ow_Write(&PORTE, 2, 0xBE); // Comandod READ_SCRATCHPAD
88:
89:         temp5 = Ow_Read(&PORTE, 2); //Lectura de los primeros 8 bits
90:         temp5 = (Ow_Read(&PORTE, 2) << 8) + temp5; //Lectura de los últimos 4 bits
91:         GetTemp(temp5); //Obtener la temperatura en tempch
92:     }
93:     Delay_ms(100);
94:
95:     //Guardar resultados en un arreglo de literales
96:     rxarray[0]='$';
97:     rxarray[1]='M';
98:     rxarray[2]='D';
99:     rxarray[3]='E';
100:    rxarray[4]=',';
101:    rxarray[5]= tempch[0];
102:    rxarray[6]= tempch[1];
103:    rxarray[7]= tempch[2];
104:    rxarray[8]= tempch[3];
105:    rxarray[9]= tempch[4];
106:    rxarray[10]= tempch[5];
107:    rxarray[11]=',';
108:    rxarray[12]= 10;
109:    rxarray[13]= 13;
110:
111:    //Envío de datos
112:    while (j<14 && i>5)
113:    {
114:        UART1_Write(rxarray[j]);
115:        j++;
116:        flag2=1;
117:    }while(1);
118: }

```

3. DETECCIÓN DE SISMOS

```

1: /*Universidad del Valle de Guatemala
2: Ingeniería Mecatrónica
3: Megaproyecto: Estación Meteorológica
4: Fernando José Estrada Samayoa
5: Carné: 07159*/
6:
7: //Declaración de Variables
8: unsigned long int rtp=0;
9: int inicialcontador=0;
10: unsigned int zini=0;
11: unsigned int yini=0;
12: unsigned int xini=0;
13: unsigned int ejex=0;
14: unsigned int ejey=0;
15: unsigned int ejez=0;
16: unsigned int cnt=0;
17: int bandera=0;
18: float bigx=0.0;
19: float bigy=0.0;
20: float bigz=0.0;
21: float lpf=0.6;
22: float xf=512.0;
23: float yf=512.0;
24: float zf=512.0;
25: float mx=0.0;
26: float my=0.0;
27: float mz=0.0;
28: float cerox=0;
29: float ceroy=0;
30: float ceroz=0;
31: float icerox=0;
32: float iceroy=0;
33: float iceroz=0;
34: char fx[20]="";
35: char fy[20]="";
36: char fz[20]="";
37:
38: //Lectura del puerto ADC con referencia de voltaje externas
39: int GetEje(int ch3,int ch2, int ch1, int ch0, int veces)
40: {
41:     rtp=0;
42:     veces=veces+1;
43:     CHS3_bit=ch3;
44:     CHS2_bit=ch2;
45:     CHS1_bit=ch1;
46:     CHS0_bit=ch0;
47:
48:     do{
49:         delay_us(500);
50:         asm BSF ADCON0,GO
51:         asm BTFSC ADCON0,GO
52:         asm GOTO $-1
53:         rtp+=ADRESH*256;
54:         rtp+=ADRESL;
55:         veces--;
56:     }while(veces>0);
57:     return rtp;

```

```

58: }
59:
60: void main() {
61:     //Inicialización de Variables
62:
63:     OSCCON = 0b01110101;
64:     OPTION_REG=0b11000000;
65:     ANSEL = 0b1110000;           // Configuración de entradas analógicas
66:     ANSELH = 0b11111111;
67:     C1ON_bit = 0;               // Deshabilitar comparadores
68:     C2ON_bit = 0;
69:     TRISA = 0xFF;              // Configuración de periféricos
70:     TRISB = 0xFF;
71:     TRISC = 0B11000000;
72:     PORTE=0;
73:     TRISE=0B00000111;
74:     PORTE=0;
75:     TRISD = 0b00000100;
76:
77:     UART1_Init(4800);           //Inicialización del UART a 4800 baudios
78:     Delay_ms(100);
79:     UART1_write_text("INICIO");
80:
81: /* Inicialización del ADC y configuración para que funcione con voltajes
82: de referencia externos*/
83:
84:     ADC_Init();
85:     VCFG1_bit=1;
86:     VCFG0_bit=1;
87:     ADCS1_bit=1;
88:     ADCS0_bit=1;
89:
90: //Inicialización de variables
91:
92:     PORTA=0;
93:     PORTB=0;
94:     PORTC=0;
95:     PORTD=0;
96:     PORTE=0;
97:
98:     mx=0;
99:     my=0;
100:    mz=0;
101:
102: //Recepción de los primeros datos para descartar datos incorrectos
103:    ejex=GetEje(0,1,0,1,8);
104:    ejex=ejex>>3;
105:    cerox=ejex;
106:
107:    ejey=GetEje(0,1,1,0,8);
108:    ejey=ejey>>3;
109:    ceroy=ejey;
110:
111:    ejez=GetEje(0,1,1,1,8);
112:    ejez=ejez>>3;
113:    ceroz=ejez;
114:

```

```

115:     delay_ms(1000);
116:     delay_ms(1000);
117:
118:     /*Búsqueda de la aceleración cero, para después poder encontrar la diferencia
119:     entre los datos obtenidos y este "cero" de cada eje*/
120:
121:     do{
122:     delay_ms(500);
123:     ejex=GetEje(0,1,0,1,8);
124:     ejex=ejex>>3;
125:     cerox=ejex;
126:
127:     ejey=GetEje(0,1,1,0,8);
128:     ejey=ejey>>3;
129:     ceroy=ejey;
130:
131:     ejez=GetEje(0,1,1,1,8);
132:     ejez=ejez>>3;
133:     ceroz=ejez;
134:
135:     if(bandera==0){
136:         icerox=ejex;
137:         iceroy=ejey;
138:         iceroz=ejez;
139:         bandera=1;
140:     }
141:     else
142:     {
143:         if(fabs(icerox-ejex)<32.5 && fabs(iceroy-ejey)<2.5 && fabs(iceroz-ejez)<2.
.5)
144:         {
145:             inicialcontador++;
146:         }
147:         else
148:         {
149:             inicialcontador=0;
150:             bandera=0;
151:         }
152:     }
153: }
154: while(inicialcontador>3);
155:
156: //Inicialización de lectura de datos
157: do {
158:     ejex=GetEje(0,1,0,1,8);
159:     ejex=ejex>>3;
160:     xf=ejex*1.0;
161:     ejey=GetEje(0,1,1,0,8);
162:     ejey=ejey>>3;
163:     yf=ejey*1.0;
164:     ejez=GetEje(0,1,1,1,8);
165:     ejez=ejez>>3;
166:     zf=ejez*1.0;
167:
168:     //Diferencia entre el cero encontrado y el dato obtenido
169:     mx=fabs(icerox-xf);
170:     my=fabs(iceroy-yf);

```

```

171:         mz=fabs(iceroz-zf);
172:
173:         //Actualización del mayor sismo
174:         if(mx>bigx)
175:         {
176:             bigx=mx;
177:         }
178:         if(my>bigy)
179:         {
180:             bigy=my;
181:         }
182:         if(mz>bigz)
183:         {
184:             bigz=mz;
185:         }
186:
187:         //Envío de datos
188:
189:         FloatToStr(bigx,fx);
190:         FloatToStr(bigy,fy);
191:         FloatToStr(bigz,fz);
192:         UART1_Write_Text("$WIMDI,");
193:         UART1_Write_Text(fx);
194:         delay_ms(10);
195:         UART1_Write_Text(",");
196:         delay_ms(10);
197:         UART1_Write_Text(fy);
198:         delay_ms(10);
199:         UART1_Write_Text(",");
200:         delay_ms(10);
201:         UART1_Write_Text(fz);
202:         delay_ms(10);
203:         UART1_Write_Text("$\r\n");
204:         delay_ms(10);
205:
206:         //Reseteo de los máximos para iniciar un nuevo análisis
207:
208:         if(RD2_BIT==1)
209:         {
210:             bigx=0;
211:             bigy=0;
212:             bigz=0;
213:         }
214:
215:     } while(1);
216: }

```

**B. ANEXO 2 – MEDICIONES DE ENERGÍA DE RADIACIÓN PROMEDIO MENSUAL EN
GUATEMALA**

Tabla 74– Energía de radiación mensual en Guatemala (Watt*hora/m²)[43]

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
ENE	3516.88	6196.40	6698.81	5191.58	5024.11	6196.40	5526.52	5861.46
FEB	4354.23	7703.64	8373.52	5861.46	6196.40	6028.93	5024.11	6196.40
MAR	4689.17	8206.05	7871.11	6196.40	5861.46	6196.40	5359.05	6698.81
ABR	4689.17	7703.64	7033.76	6196.40	5861.46	6028.93	4354.23	7201.23
MAY	4689.17	7703.64	7201.23	5359.05	5526.52	4856.64	4689.17	5861.46
JUN	7536.17	7201.23	5359.05	5861.46	4689.17	6196.40	5861.46	6196.40
JUL	7033.76	7201.23	6531.34	5359.05	5693.99	5024.11	6363.87	5526.52
AGO	5693.99	8038.58	6531.34	5526.52	5693.99	5359.05	8875.93	5359.05
SEP	4689.17	7201.23	6196.40	5359.05	4186.76	5024.11	6028.93	4689.17
OCT	6196.40	6698.81	5191.58	5024.11	5359.05	5693.99	6531.34	5191.58
NOV	6363.87	6531.34	5191.58	4856.64	4856.64	5191.58	5693.99	5693.99
DIC	5693.99	6196.40	4856.64	5359.05	5861.46	5359.05	5024.11	5526.52
ANUAL	5428.83	7215.18	6419.70	5512.57	5400.92	5596.30	5777.73	5833.55

Tabla 75– Energía de radiación mensual 2 en Guatemala (Watt*hora/m²)[43]

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
ENE	6866.29	7871.11	8708.46	8875.93	6676.49	8373.52	8373.52	6866.29
FEB	6363.87	8875.93	9545.81	8708.46	9210.87	10048.22	8373.52	6531.34
MAR	5191.58	9713.28	9210.87	9713.28	9378.34	8373.52	7703.64	6866.29
ABR	6028.93	9880.75	9210.87	9378.34	9713.28	10048.22	7033.76	6028.93
MAY	5024.11	7871.11	7871.11	7871.11	8373.52	8373.52	8373.52	6028.93
JUN	5191.58	8038.58	8206.05	6363.87	8373.52	8373.52	5861.46	6028.93
JUL	6196.40	8540.99	7871.11	6642.99	8373.52	6698.81	6698.81	6531.34
AGO	5191.58	8875.93	7536.17	7871.11	6698.81	6698.81	6196.40	4689.17
SEP	5861.46	8540.99	6698.81	8373.52	6698.81	6698.81	6531.34	6698.81
OCT	5861.46	8373.52	7033.76	7871.11	6698.81	8373.52	6363.87	8038.58
NOV	7368.70	7871.11	8373.52	7871.11	8373.52	8373.52	5861.46	6698.81
DIC	7536.17	8373.52	8206.05	8540.99	6698.81	6698.81	5693.99	7703.64
ANUAL	6056.85	8568.90	8206.05	8173.48	7939.03	8094.40	6922.11	6559.26

C. ANEXO 3 – SIMULACIONES DE CARGA Y CONSUMO

Tabla 76- Resultados de simulación de carga y descarga

Batería (Ah)	Desviación (Watt*hora/m ²)	Consumo (Watt*hora)	Potencia (Watts)	Descargo (días)	Sin Carga (días)	Critico (días)
100	8000	17	50	1100	2	49
100	3000	10	50	4	0	0
100	3000	11	50	5	0	0
100	3000	12	50	14	0	0
100	3000	13	50	26	0	0
100	3000	14	50	50	0	0
100	3000	15	50	107	0	0
100	3000	16	50	163	0	23
100	3000	17	50	289	0	58
100	3000	18	50	386	11	78
100	3000	10	25	711	26	154
100	1000	10	25	408	47	142
100	1000	10	50	0	0	0
100	1000	11	50	0	0	0
100	1000	12	50	0	0	0
100	1000	13	50	3	0	0
100	1000	14	50	13	0	0
100	1000	15	50	19	0	0
100	1000	16	50	30	0	0
100	1000	17	50	58	0	30
100	1000	18	50	115	11	70
100	1000	19	50	234	38	141
100	8000	10	50	309	0	0
100	8000	10	50	299	0	0
100	8000	11	50	424	0	1
100	8000	12	50	505	0	0
100	8000	13	50	625	0	15
100	8000	14	50	754	0	5
100	8000	15	50	832	0	21
100	8000	16	50	987	1	30
100	8000	17	50	1134	12	31

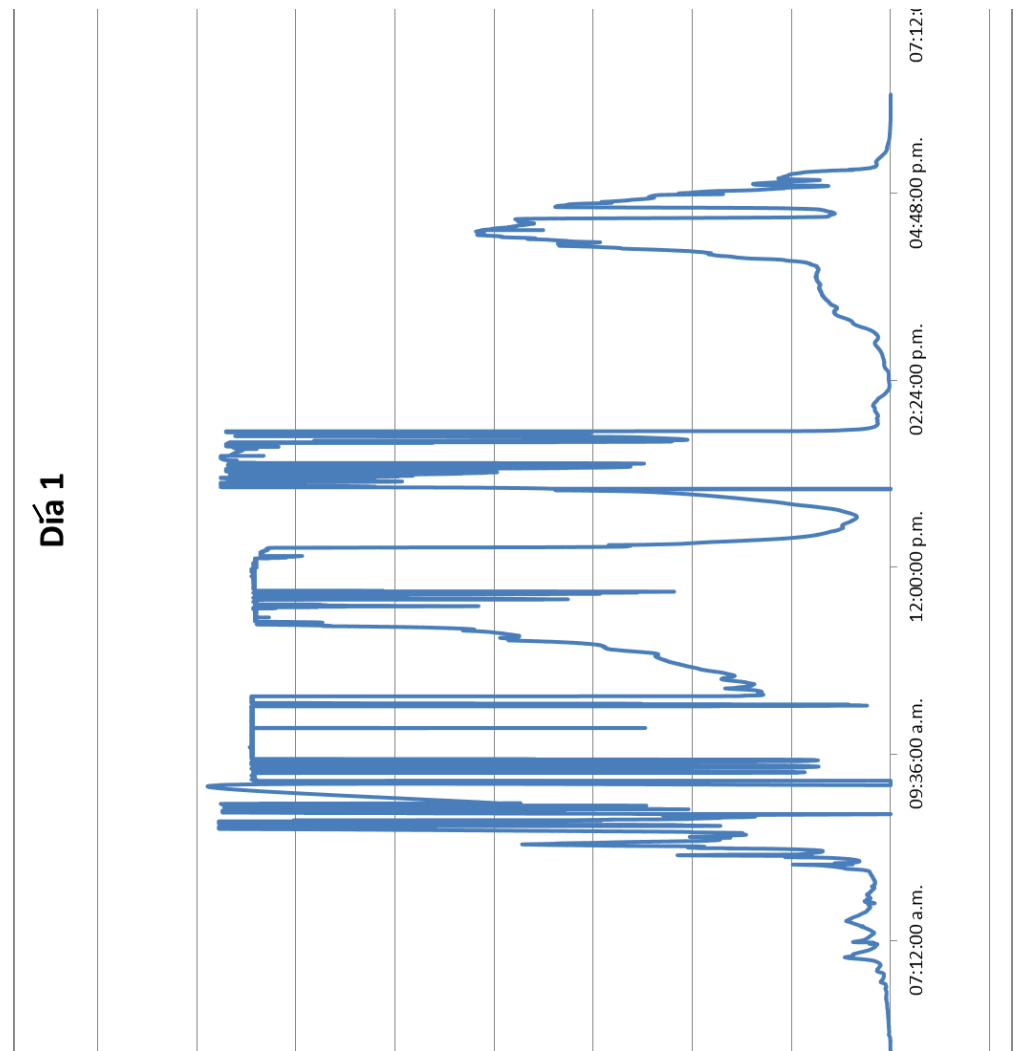
D. ANEXO 4 – GRÁFICAS DE RADIACIÓN DIARIA EXPERIMENTAL**Figura 117- Radiación medida (W/m²) en el día 1 – panel horizontal**

Figura 118- Radiación medida (W/m2) en el día 2 - panel horizontal

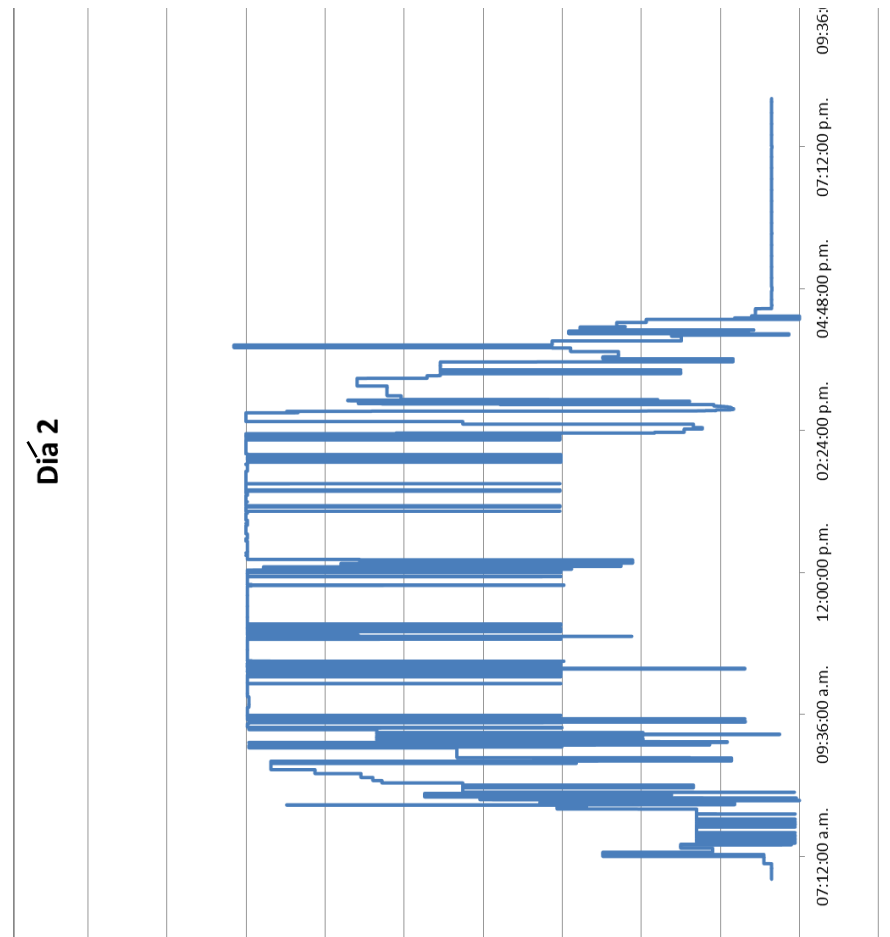


Figura 119- Radiación medida (W/m2) en el día 3 - panel horizontal

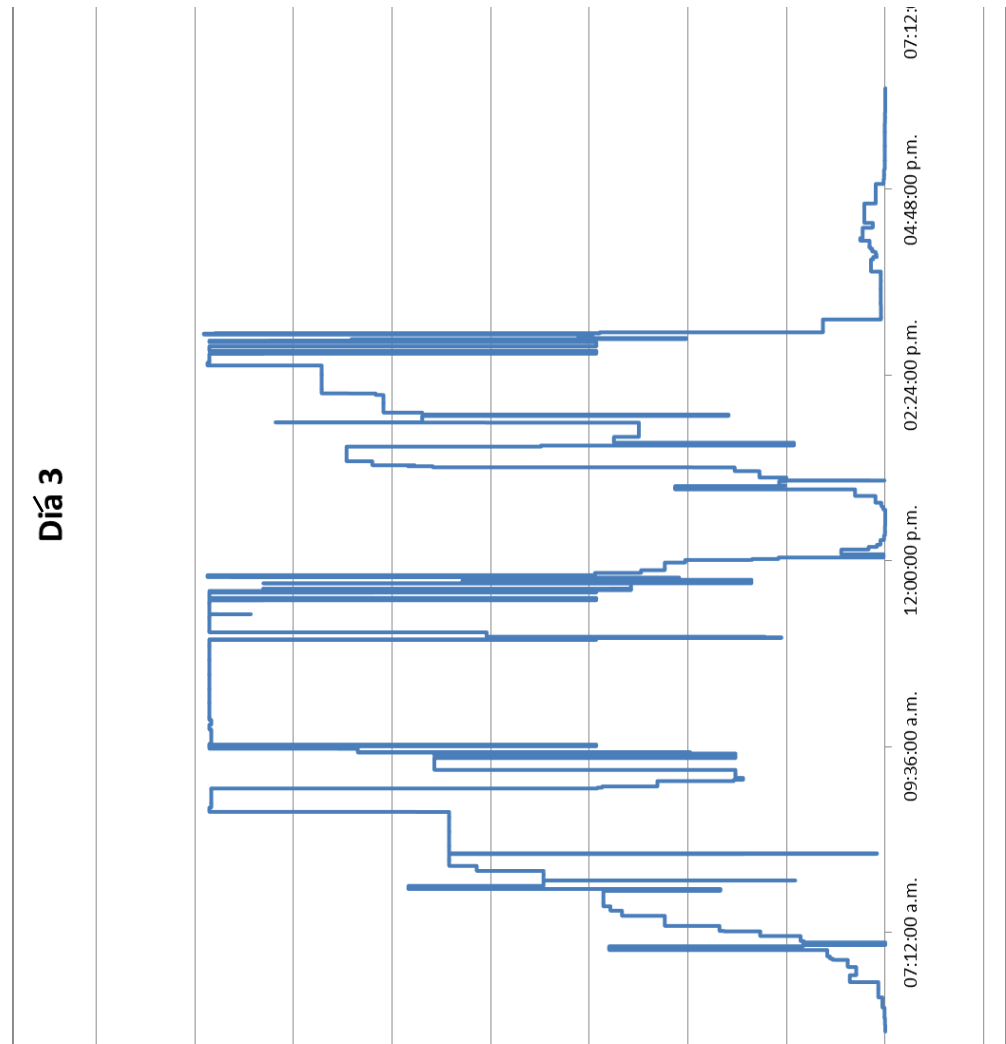


Figura 120- Radiación medida (W/m2) en el día 4 - panel horizontal

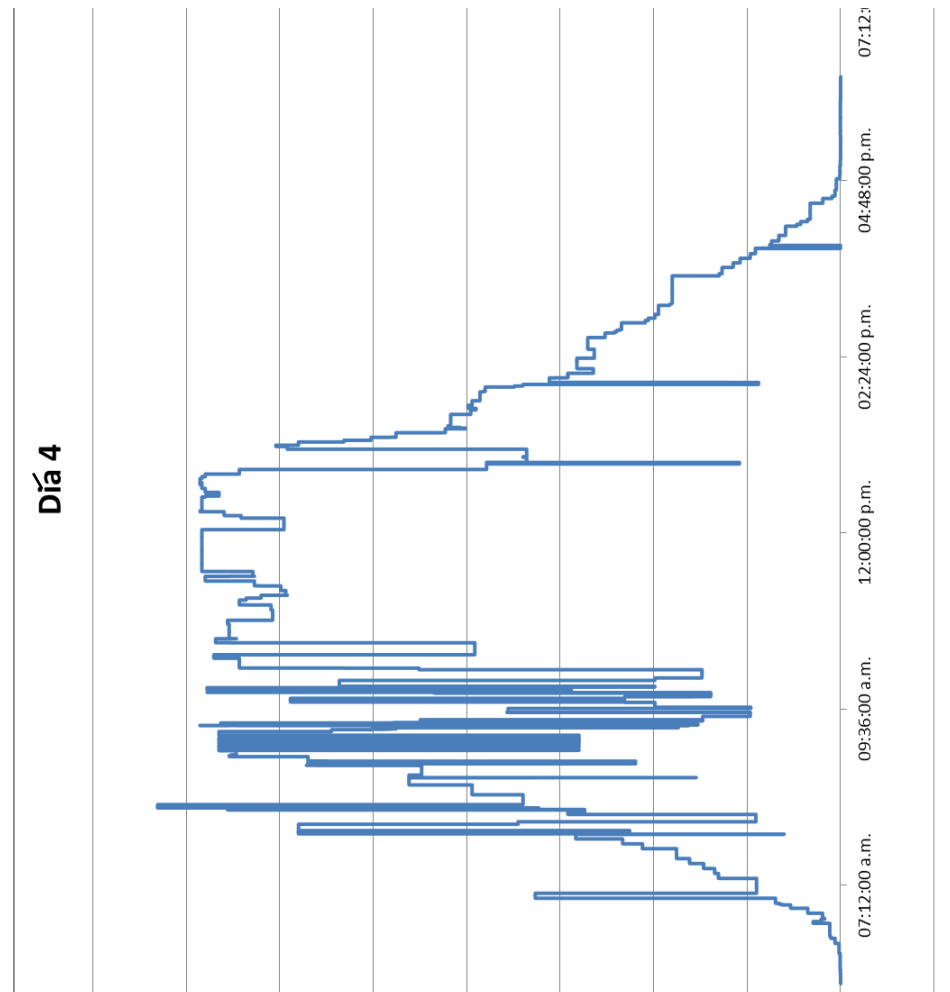


Figura 121- Radiación medida (W/m²) en el día 5 - panel horizontal

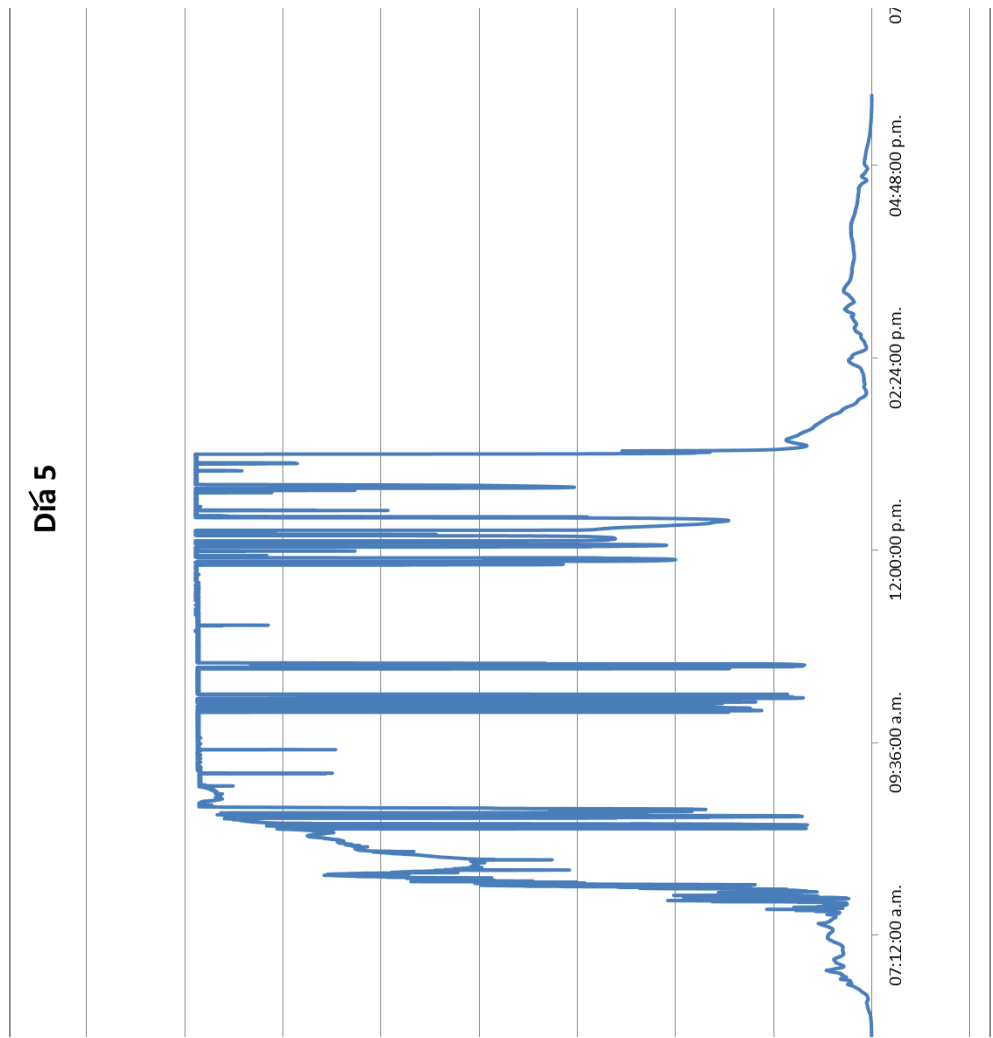


Figura 122- Radiación medida (W/m²) en el día 6 - panel horizontal

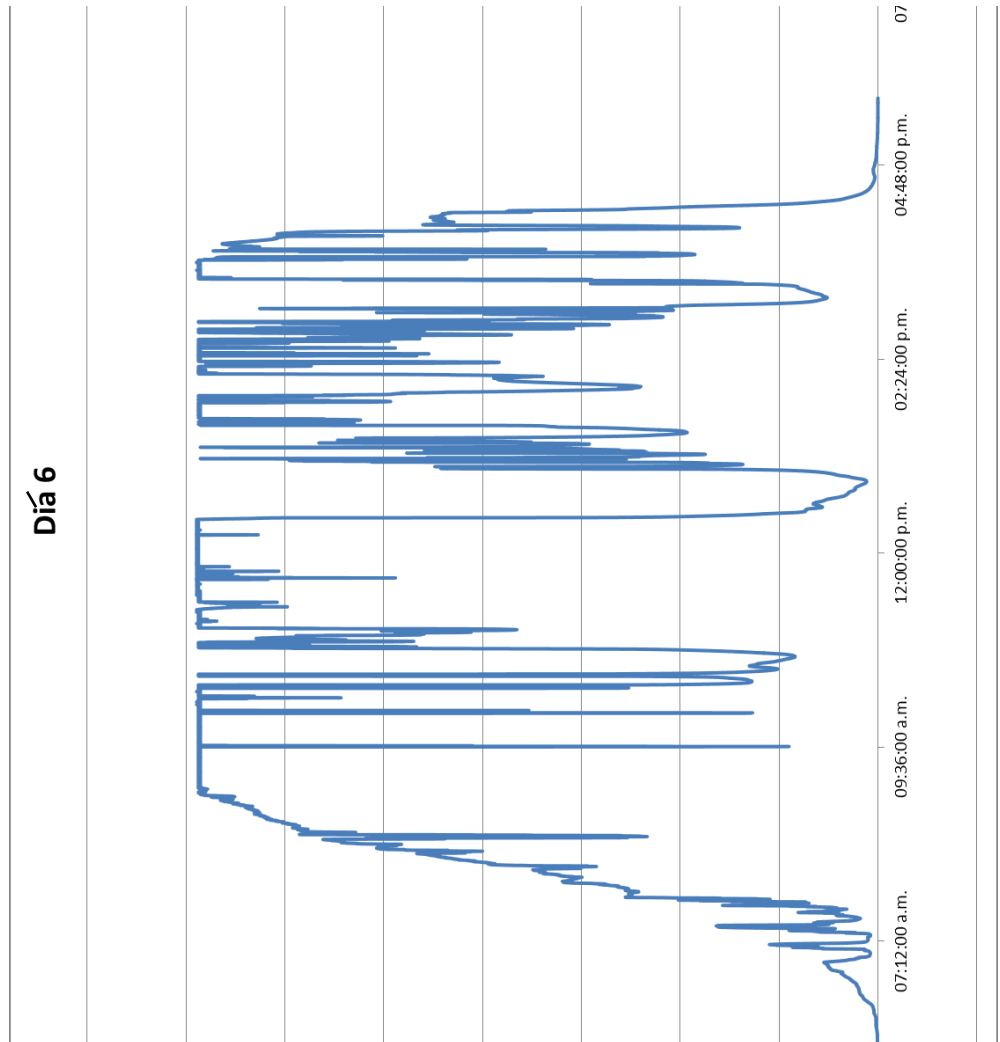


Figura 123- Radiación medida (W/m²) en el día 7 - panel horizontal

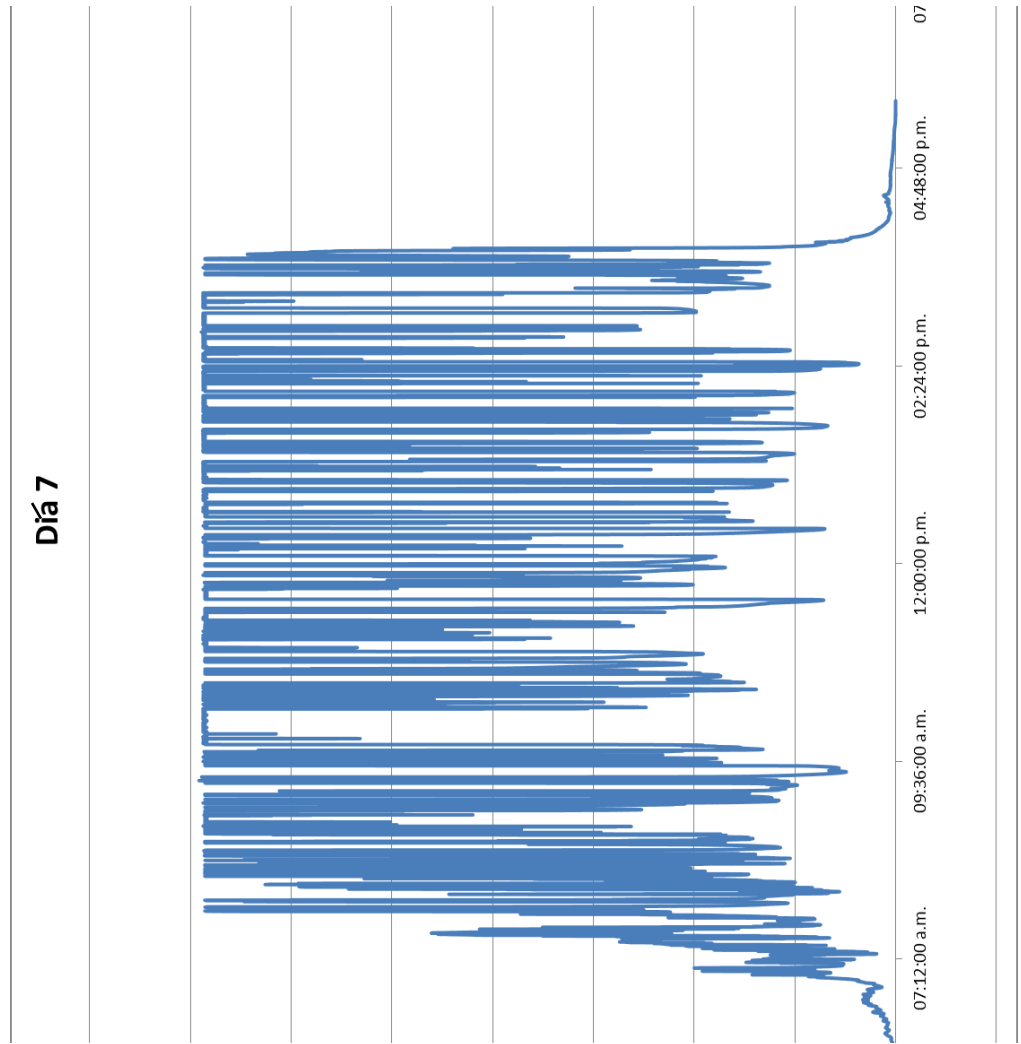


Figura 124- Radiación medida (W/m²) en el día 8 - panel horizontal

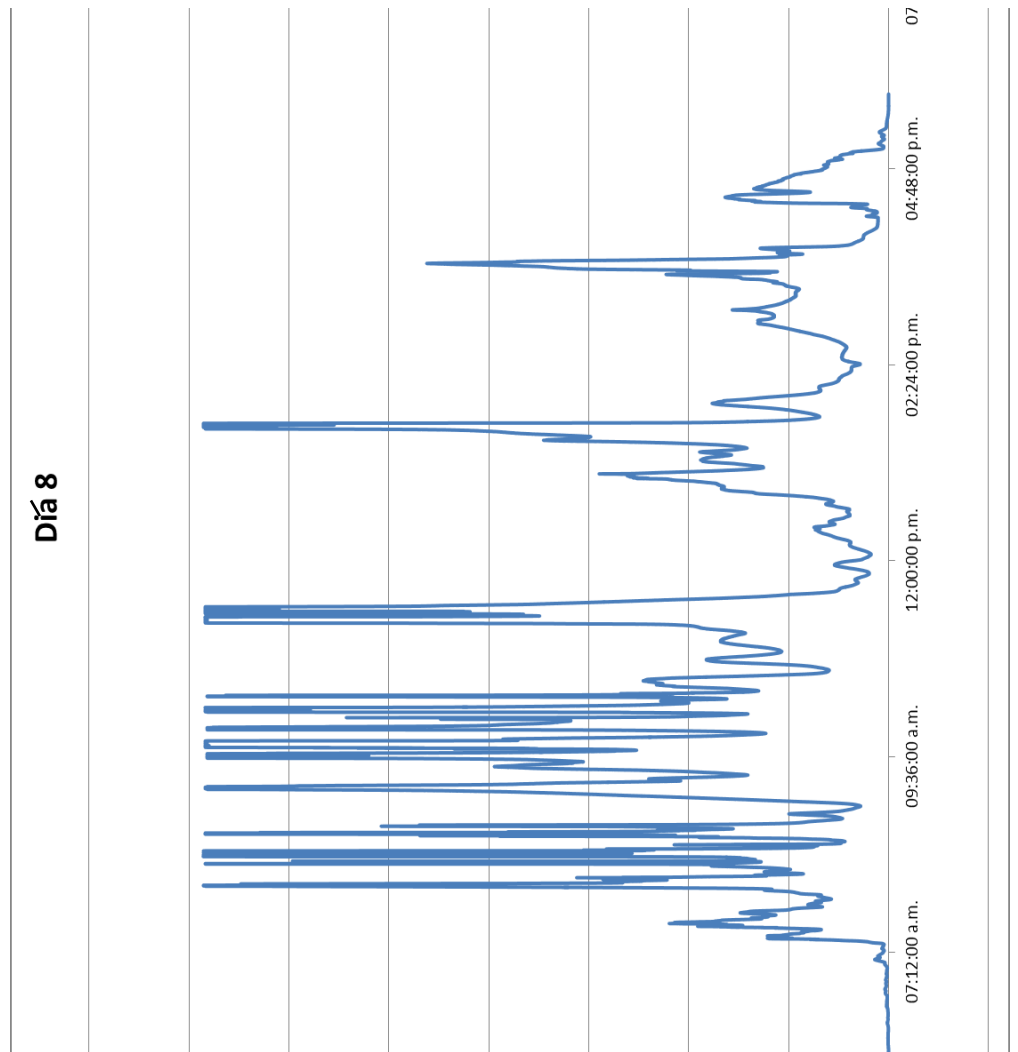


Figura 125- Radiación medida (W/m2) en el día 9 - panel horizontal

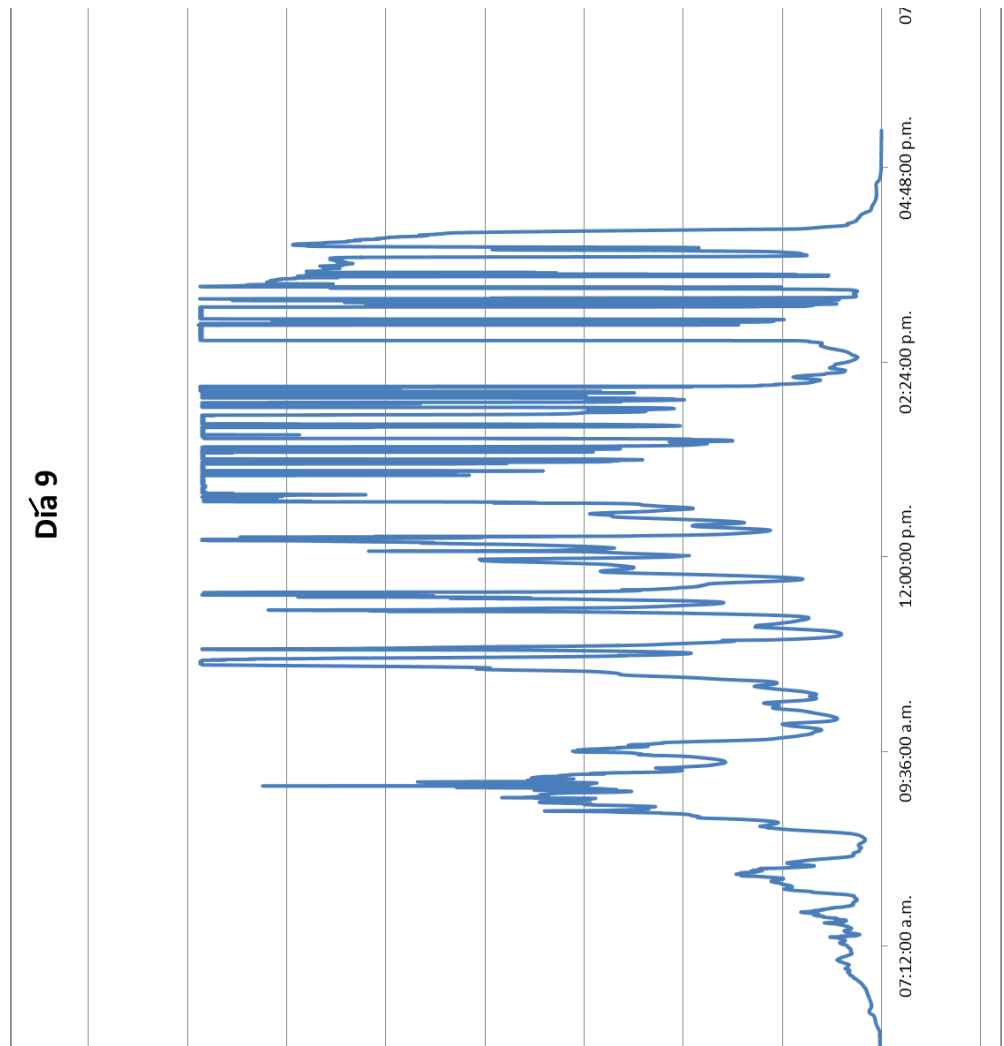


Figura 126- Radiación medida (W/m2) en el día 1 - panel móvil

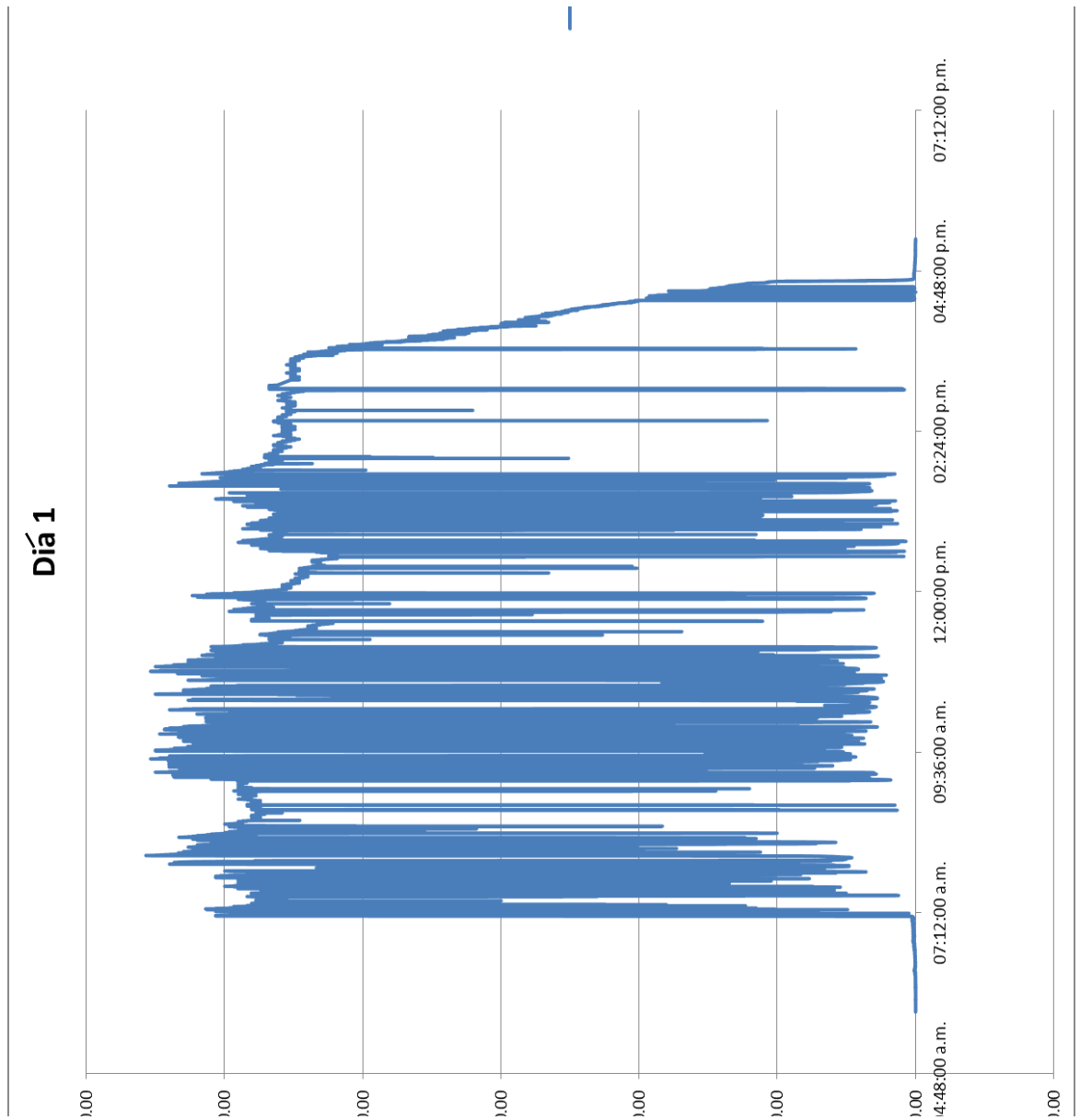


Figura 127- Radiación medida (W/m2) en el día 2 - panel móvil

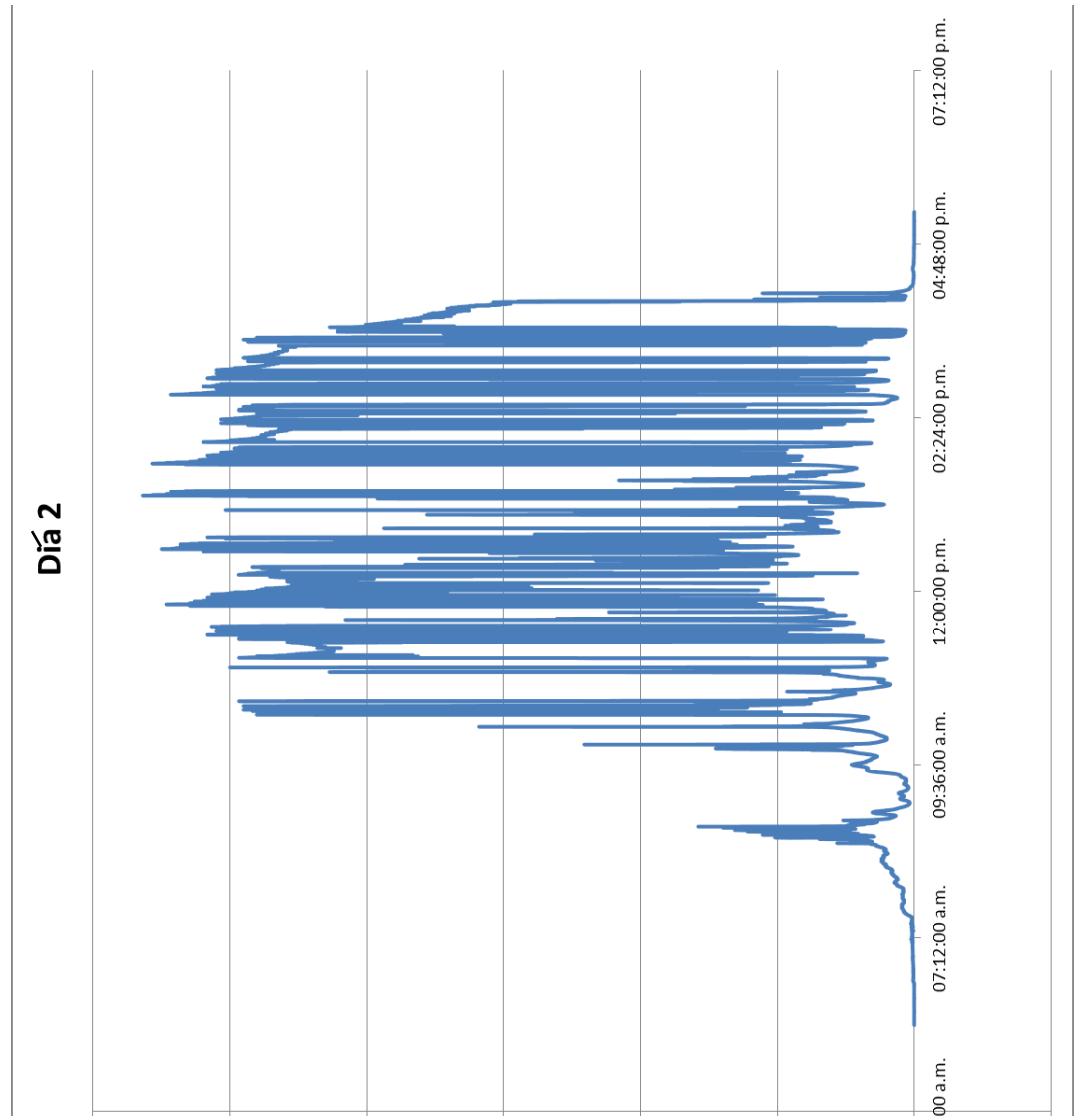


Figura 128- Radiación medida (W/m²) en el día 3 - panel móvil

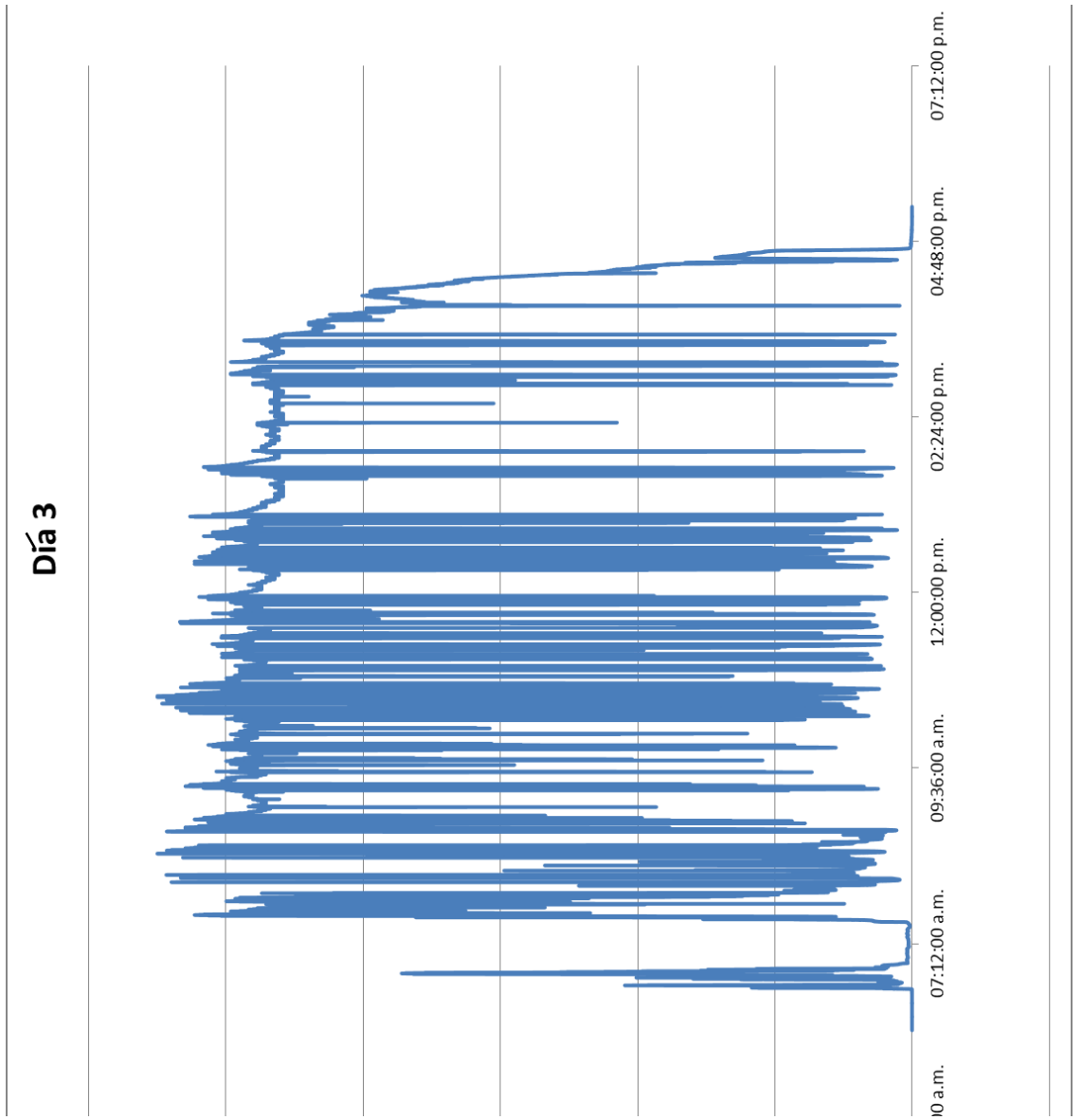


Figura 129- Radiación medida (W/m²) en el día 4 - panel móvil

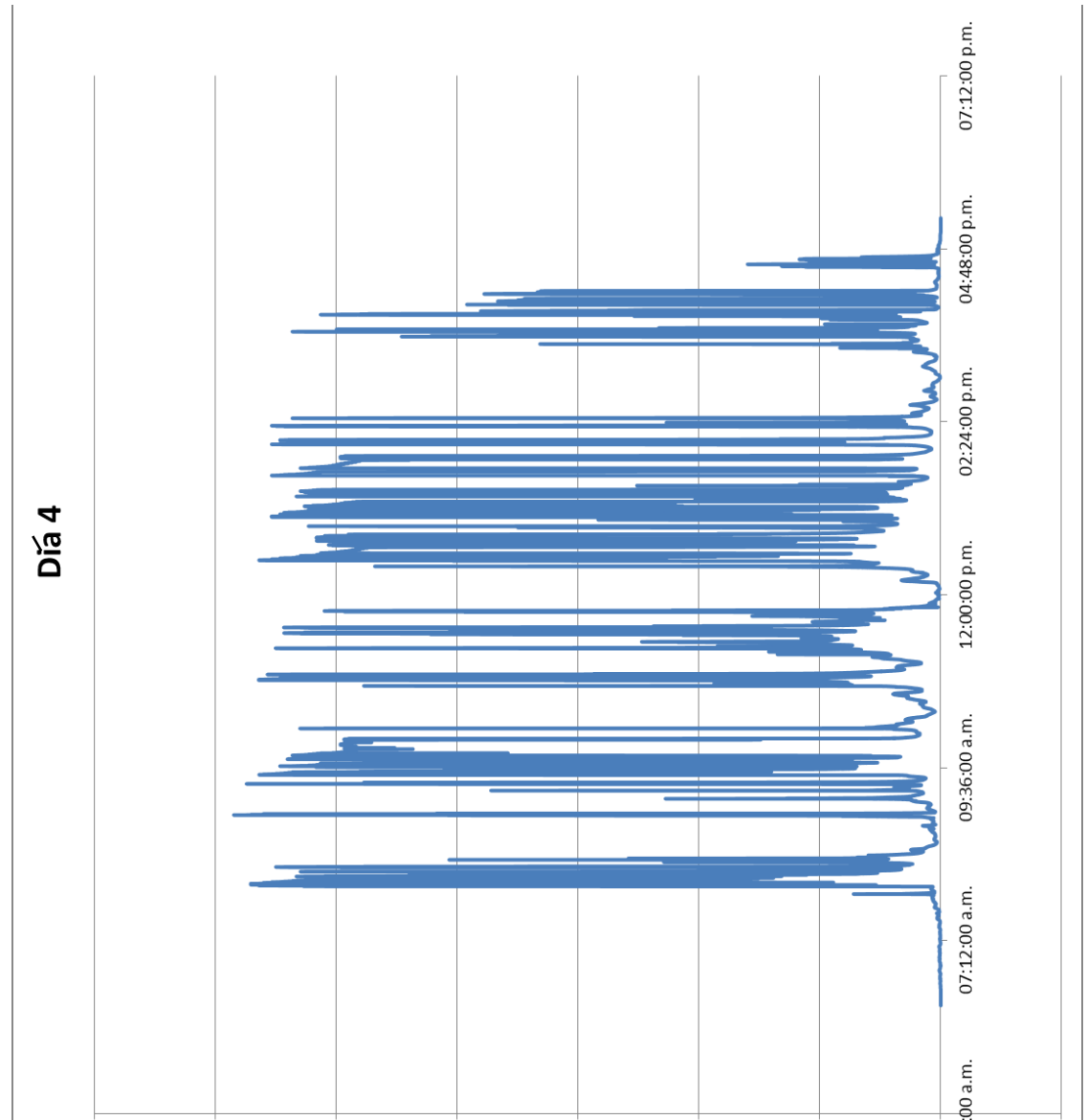


Figura 130- Radiación medida (W/m²) en el día 5 - panel móvil

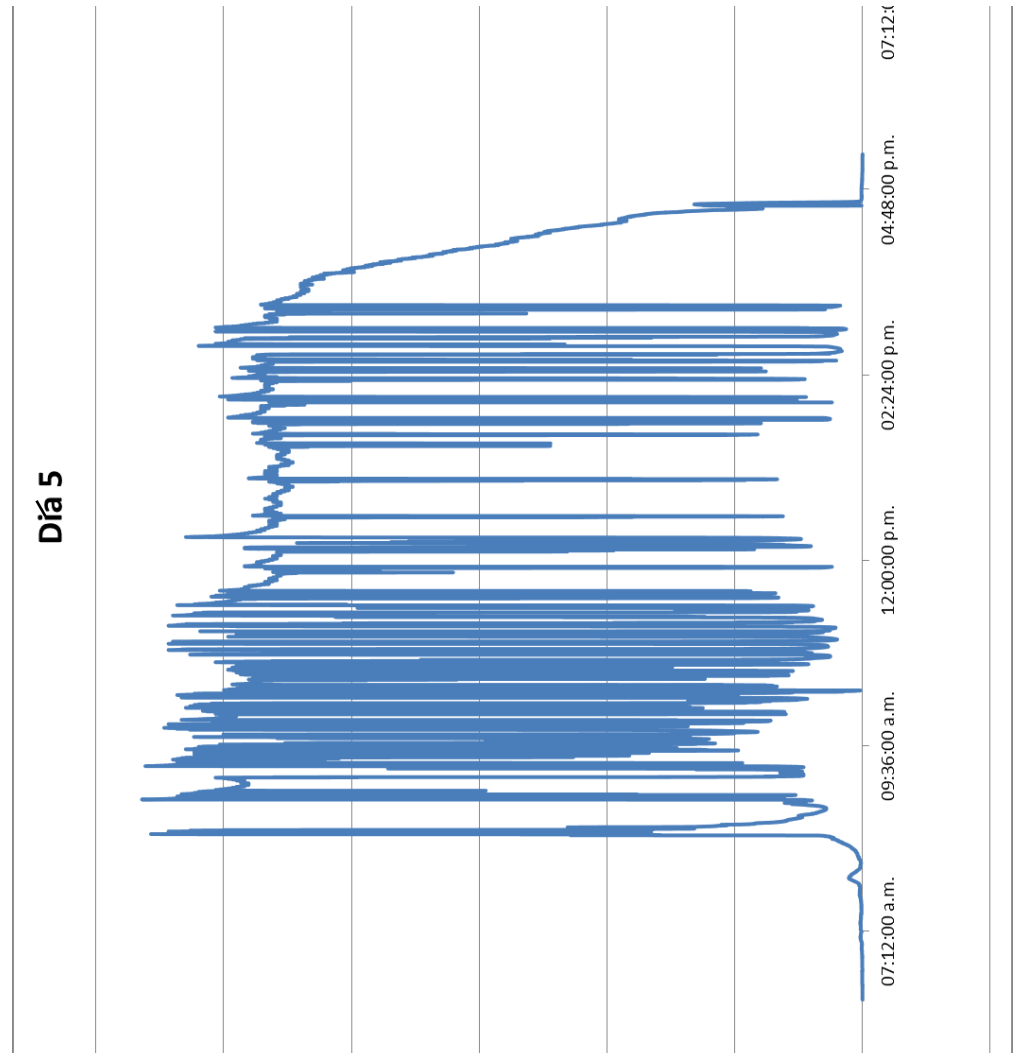
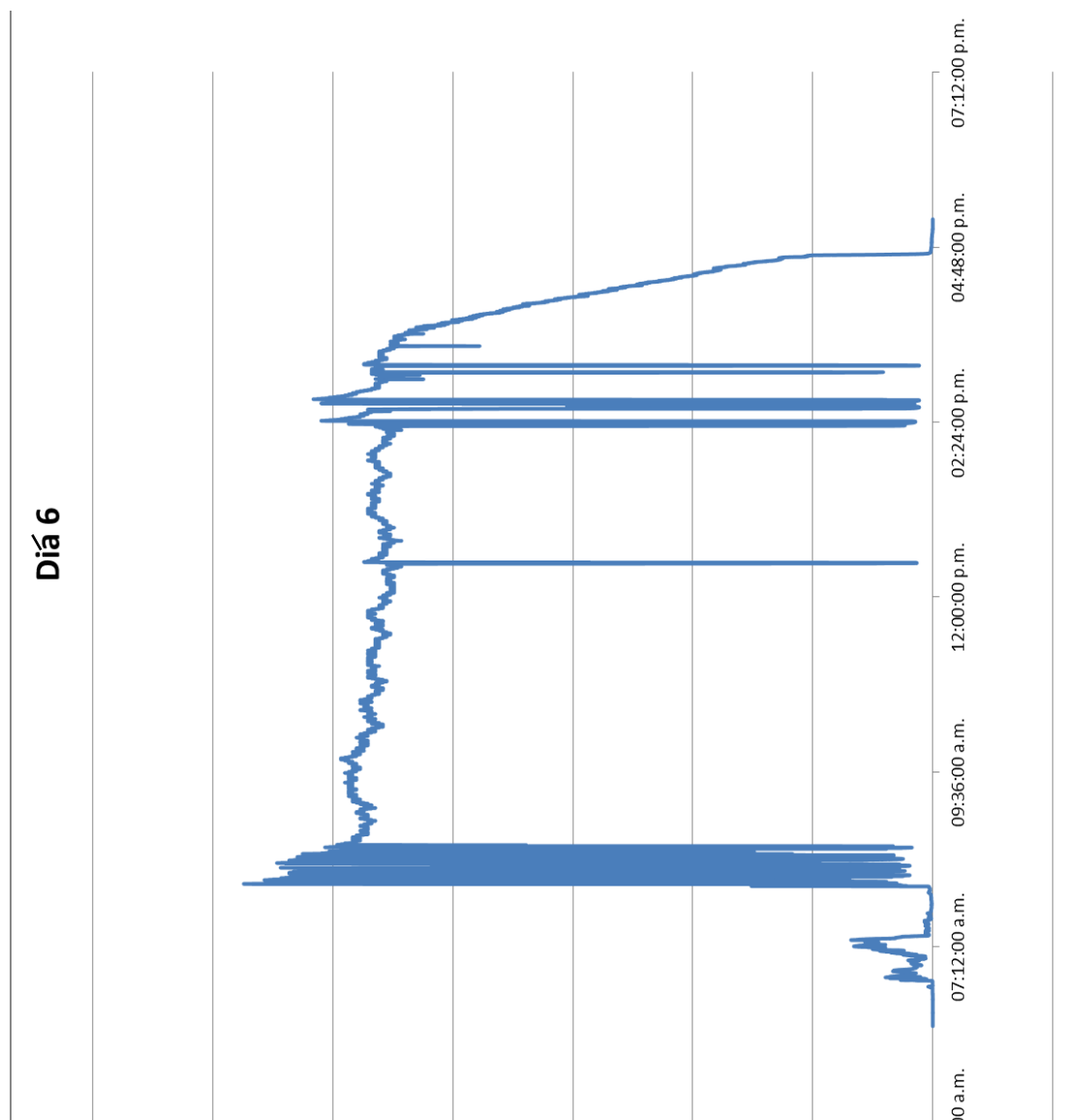


Figura 131- Radiación medida (W/m²) en el día 6 - panel móvil

E. ANEXO 5 - TABLAS DE RESULTADOS

Tabla 77- Medición de frecuencia y porcentaje de error de las mediciones de radiación solar

Frecuencia Real	TMRH	TMRL	CONTADOR L	CONTADOR H	Frecuencia Obtenida	% Error
20000	15	93	0	0	20340.70684	1.703534
19500	15	191	0	0	19846.19201	1.775344
19000	16	63	0	0	19235.39312	1.238911
18500	16	162	0	0	18788.16346	1.55764
18000	17	23	0	0	18285.71429	1.587302
17500	17	159	0	0	17734.42696	1.339583
17000	18	55	0	0	17156.33712	0.91963
16500	18	180	0	0	16708.43776	1.263259
16000	19	71	0	0	16210.73961	1.317123
15500	19	235	0	0	15689.35085	1.221618
15000	20	159	0	0	15154.3853	1.029235
14500	21	86	0	0	14646.64958	1.011376
14000	22	19	0	0	14156.78641	1.119903
13500	22	255	0	0	13589.26448	0.661218
13000	23	201	0	0	13138.44638	1.064972
12500	24	199	0	0	12612.32855	0.898628
12000	25	204	0	0	12113.87038	0.94892
11500	26	239	0	0	11602.61059	0.892266
11000	28	47	0	0	11088.01109	0.800101
10500	29	150	0	0	10562.45049	0.594767
10000	31	7	0	0	10071.7613	0.717613
9500	32	159	0	0	9579.691055	0.838853
9000	34	151	0	0	9034.443817	0.382709
8500	36	250	0	0	8451.299387	0.572948
8000	38	221	0	0	8041.009147	0.512614
7500	41	119	0	0	7536.504946	0.486733
7000	44	113	0	0	7031.730685	0.453295
6500	47	233	0	0	6522.625357	0.348082
6000	51	220	0	0	6025.911419	0.431857
5500	56	159	0	0	5519.144533	0.348082
5000	62	71	0	0	5017.876184	0.357524
4500	69	126	0	0	4496.908375	0.068703
4000	78	27	0	0	4001.00025	0.025006
3500	89	29	0	0	3506.772454	0.193499
3000	104	78	0	0	2996.03026	0.132325
2500	124	184	0	0	2505.637685	0.225507
2000	156	59	0	0	2000.250031	0.012502

Tabla 78(continuación)- Medición de frecuencia y porcentaje de error de las mediciones de radiación solar

Frecuencia Real	TMRH	TMRL	CONTADOR L	CONTADOR H	Frecuencia Obtenida	% Error
1500	208	39	0	0	1501.304258	0.086951
1000	55	247	1	0	1001.715438	0.171544
900	91	13	1	0	900.4445945	0.049399
800	134	159	1	0	800.0080001	0.001
700	190	98	1	0	700.0717574	0.010251
600	8	188	2	0	600.1140217	0.019004
500	113	14	2	0	499.9562538	0.008749
450	181	199	2	0	450.4326969	0.096155
400	13	155	3	0	399.8180828	0.045479
350	125	157	3	0	349.7038446	0.084616
300	17	68	4	0	300.1155445	0.038515
250	226	165	4	0	249.8711602	0.051536
200	25	135	6	0	200.1245775	0.062289
150	35	230	8	0	149.9593235	0.027118
100	54	200	12	0	99.94303247	0.056968
80	64	220	15	0	80.02849014	0.035613
60	83	50	20	0	60.05924845	0.098747
40	136	80	30	0	39.98048952	0.048776
20	13	32	61	0	19.99472139	0.026393
10	6	206	122	0	10.00358378	0.035838
5	210	152	243	0	5.006520994	0.13042
2.5	42	41	233	1	2.495484966	0.180601
1	172	6	202	4	0.995134118	0.486588

Tabla 79- Obtención de radiación a partir de la frecuencia (frecuencias >1000Hz)

Radiación INSIVUME H (w/m²)	Frecuencia Obtenida por el instrumento de Medición	Radiación (Linealización) (w/m²)	% de Error	Radiación (Linealización n y División) (w/m²)	% de Error Final
123.5110	1092.9963	123.5110	0.0000	129.5008	4.8496
192.2310	1556.2991	187.4495	2.4874	196.5401	2.2416
260.1830	2001.9018	248.9452	4.3192	261.0181	0.3210
352.0030	2665.9557	340.5885	3.2427	357.1057	1.4496
324.4490	2363.0976	298.7923	7.9078	313.2826	3.4416
285.9760	2079.0437	259.5912	9.2262	272.1804	4.8240
306.6650	2396.3575	303.3824	1.0704	318.0953	3.7273
369.2200	2642.0770	337.2931	8.6471	353.6505	4.2169
365.7260	2822.6815	362.2175	0.9593	379.7837	3.8438
440.8440	3262.2436	422.8796	4.0750	443.3877	0.5770
380.0350	2733.0514	349.8481	7.9432	366.8144	3.4788
353.6910	2670.4944	341.2148	3.5274	357.7625	1.1511
368.9290	2867.7258	368.4339	0.1342	386.3016	4.7089
480.9450	3666.2866	478.6399	0.4793	501.8521	4.3471
448.4040	3157.0779	408.3662	8.9290	428.1704	4.5124
352.4520	2656.8364	339.3299	3.7231	355.7862	0.9460
361.7220	2809.7780	360.4368	0.3553	377.9166	4.4771
332.0280	2523.0226	320.8629	3.3627	336.4235	1.3238
276.1530	2101.0160	262.6235	4.8993	275.3598	0.2872
330.0540	2368.3577	299.5182	9.2518	314.0437	4.8508
393.6550	2967.5792	382.2143	2.9063	400.7502	1.8024
401.7880	2968.4601	382.3358	4.8414	400.8777	0.2266
350.6820	2725.3786	348.7892	0.5398	365.7041	4.2837
264.1190	2047.1445	255.1890	3.3811	267.5647	1.3046
211.4980	1593.5659	192.5925	8.9389	201.9325	4.5227
209.5680	1671.7516	203.3826	2.9515	213.2459	1.7550
245.3890	1976.1333	245.3890	0.0000	257.2894	4.8496
230.5060	1857.1283	228.9656	0.6683	240.0696	4.1490

Tabla 80- Obtención de radiación a partir de la frecuencia (frecuencias entre 250 y 1000 Hz)

Radiación INSIVUMEH (w/m ²)	Frecuencia Obtenida por el instrumento de Medición	Radiación (Linealización) (w/m ²)	% de Error	Radiación (Linealización y División) (w/m ²)	% de Error Final
87.8810	604.7417	87.8810	0.0000	83.5957	4.8763
68.0410	456.7550	68.1631	0.1794	64.8393	4.7056
77.0130	552.1284	80.8707	5.0092	76.9272	0.1113
117.2260	872.1534	123.5113	5.3617	117.4885	0.2239
55.3840	376.3757	57.4533	3.7362	54.6517	1.3223
85.8990	623.7226	90.4100	5.2516	86.0014	0.1192
53.2520	360.3489	55.3178	3.8793	52.6204	1.1861
41.2880	267.3367	42.9248	3.9643	40.8316	1.1053
53.1020	360.4781	55.3350	4.2052	52.6367	0.8762
57.3020	398.3984	60.3876	5.3848	57.4429	0.2459
46.8480	306.2842	48.1142	2.7027	45.7680	2.3054
57.8530	398.7797	60.4384	4.4689	57.4912	0.6253
52.2480	337.3094	52.2481	0.0019	49.7002	4.8421

Tabla 81- Obtención de radiación a partir de la frecuencia (frecuencias menores a 250 Hz)

Radiación INSIVUMEH (w/m ²)	Frecuencia Obtenida por el Instrumento de Medición	Radiación (Linealización) (w/m ²)	% de Error	Radiación (Linealización y División) (w/m ²)	% de Error Final
35.7310	223.4950	35.7310	0.0000	33.9337	5.0302
32.3760	218.4718	34.9757	8.0296	33.2163	2.5955
30.6600	205.8900	33.0837	7.9052	31.4196	2.4773
32.6310	225.5472	36.0396	10.4458	34.2267	4.8902
29.6890	187.2727	30.2842	2.0049	28.7609	3.1262
15.6380	97.1374	16.7305	6.9863	15.8889	1.6047
3.4360	8.7257	3.4364	0.0116	3.2635	5.0191

Tabla 82- Comparación entre sensor de temperatura DS18B20 y SM-18

Hora	Temperatura DS18B20	Temperatura SM-18	% Error
10:55:00	20.375	20.3	0.369458
11:05:00	20.75	20.9	0.717703
11:15:00	21.8125	21.6	0.983796
11:25:00	21.75	21.4	1.635514
11:35:00	22.1875	22.2	0.056306
11:45:00	23.1875	23.2	0.053879
11:55:00	22.6875	22.6	0.387168
12:05:00	23.1875	22.9	1.255459
12:15:00	22.3125	22.2	0.506757
12:25:00	22.75	22.6	0.663717
12:35:00	22.3125	22.5	0.833333
12:45:00	21.8125	22.1	1.300905
12:55:00	21.625	22	1.704545
13:05:00	21.75	22	1.136364
13:15:00	21.5	21.8	1.376147
13:25:00	21.6875	21.5	0.872093
13:35:00	22.1875	22.5	1.388889
13:45:00	22.125	22	0.568182
13:55:00	21.9375	21.5	2.034884
14:05:00	21.75	21.9	0.684932
14:15:00	21.5625	21.3	1.232394
14:25:00	21.3125	21.1	1.007109
14:35:00	21.8125	21.3	2.406103
14:45:00	21.5	22	2.272727
14:55:00	21.5625	21.2	1.709906
15:05:00	21.4375	21.5	0.290698
15:15:00	21.4375	22	2.556818
15:25:00	21.375	20.9	2.272727
15:35:00	21.25	21.7	2.073733
Porcentaje de Error Máximo			2.56

Tabla 83- Comparación de velocidad de viento Estación “La Aurora” y NM150

Hora	Velocidad Real (m/s) Estación La Aurora	Velocidad Convertida (m/s) Estación La Aurora	Velocidad (m/s) NM150
9:30	1.454	1.052421697	0.9
9:40	1.999	1.44689888	0.7
10:00	1.821	1.318060461	1.3
10:10	1.991	1.441108389	0.6
10:20	1.926	1.394060652	1
10:30	1.723	1.247126949	0.5
10:40	1.295	0.937335693	0.9
10:50	0.693	0.501601263	0.5
11:00	1.198	0.867125992	0.9
11:10	1.322	0.956878599	1.5
11:20	1.733	1.254365062	0.5
11:30	1.984	1.43604171	0.3
11:40	1.822	1.318784272	0.7
11:50	1.583	1.14579336	0.7
12:00	1.507	1.090783698	1.7
12:10	0.908	0.657220702	1.2
12:20	1.154	0.835278293	1.5
12:30	0.894	0.647087343	1.1
12:40	1.175	0.850478331	1.7
12:50	1.496	1.082821773	1.6
13:00	2.283	1.652461302	2.2
13:10	2.777	2.010024107	0.9
13:20	3.793	2.745416434	1.2
13:30	3.809	2.756997416	1
13:40	4.555	3.29696068	1
13:50	4.036	2.921302591	2.7
14:00	3.999	2.894521572	2.6
14:10	4.91	3.553913707	2.9
14:20	4.655	3.369341814	2.1
14:30	4.391	3.178255619	2.2
14:40	4.149	3.003093273	2.1
14:50	4.828	3.494561177	2.7
15:00	4.562	3.302027359	1.1
15:10	3.99	2.888007269	0.3
15:20	3.678	2.66217813	1.6
15:30	3.255	2.35600593	2.4
15:40	2.922	2.114976752	1.7

Tabla 84(continuación) - Comparación de velocidad de viento Estación "La Aurora" y NM150

Hora	Velocidad Real (m/s) Estación La Aurora	Velocidad Convertida (m/s) Estación La Aurora	Velocidad (m/s) NM150
15:50	3.391	2.454444273	1.5
16:00	2.984	2.159853056	1
16:10	2.59	1.874671385	1.4
16:20	1.947	1.40926069	1
16:30	1.322	0.956878599	0.7
16:40	2.142	1.550403903	1.2
16:50	1.552	1.123355209	0.7
17:00	1.165	0.843240218	0.7
17:10	0.979	0.708611307	0.8
17:20	0.882	0.638401607	1
17:30	0.961	0.695582703	0.9
17:40	0.75	0.542858509	0.4
17:50	0.547	0.395924806	0.5
18:00	0.945	0.684001722	1
18:10	0.711	0.514629867	1
18:20	1.119	0.809944896	1.1
18:30	0.902	0.652877834	1.2
18:40	0.823	0.595696738	0.9
18:50	0.527	0.381448579	1.2
19:00	0.893	0.646363532	0.9
19:10	0.546	0.395200995	0.8

Tabla 85- Comparación de la dirección del viento Estación “La Aurora” y NM150

Hora	Dirección INSIVUMEH (°)	Dirección NM150 (°)
9:30	59.907	243.6
9:40	51.75	231.4
10:00	20.212	350.4
10:10	4.704	346.6
10:20	10.859	267.7
10:30	40.933	267.6
10:40	52.308	226.5
10:50	88.572	231.3
11:00	46.395	225.3
11:10	28.536	357.8
11:20	5.771	339.2
11:30	20.267	309.7
11:40	4.376	283.5
11:50	349.754	335.6
12:00	336.906	335.4
12:10	343.358	295.8
12:20	49.943	335.8
12:30	55.598	234.1
12:40	93.488	192.5
12:50	119.666	235.4
13:00	62.277	328.3
13:10	47.988	282.1
13:20	35.086	336.8
13:30	29.841	201.3
13:40	12.817	283.3
13:50	10.882	349.1
14:00	13.325	343.3
14:10	7.588	7.7
14:20	0.225	15.8
14:30	12.075	2.8
14:40	26.143	346
14:50	9.33	332.5
15:00	13.125	315.4
15:10	14.633	248.7
15:20	20.594	340.6
15:30	32.475	16.7
15:40	45.19	224.7
15:50	51.283	329.9
16:00	34.825	257.6

Tabla 86(continuación) - Comparación de la dirección del viento Estación "La Aurora" y NM150

Hora	Dirección INSIVUMEH (°)	Dirección NM150 (°)
16:10	36.159	295.7
16:20	19.232	293.5
16:30	17.918	295.4
16:40	327.351	9.9
16:50	350.698	314.8
17:00	357.47	285.9
17:10	26.692	232.4
17:20	47.442	272.7
17:30	45.008	229.2
17:40	28.59	270.2
17:50	2.221	282.5
18:00	19.199	243
18:10	119.464	231.6
18:20	175.605	202.9
18:30	198.615	231.4
18:40	149.089	230.5
18:50	68.289	224.5
19:00	85.38	290.9

Tabla 87- Variación interrumpida de la dirección del viento (ambiente controlado)

Número de Medición	Dirección del Viento (°)	Número de Medición	Dirección del Viento (°)
1	18.1	37	184.8
2	17.6	38	183.7
3	18.6	39	183.7
4	19.6	40	184
5	20.6	41	184.1
6	21.3	42	184.2
7	21.5	43	183
8	23	44	184.3
9	24.3	45	184.2
10	25.9	46	183.8
11	27.1	47	184.3
12	28.1	48	184.8
13	28.1	49	185.1
14	26.9	50	185.6
15	110	51	187.6
16	110.9	52	188.5
17	113.1	53	189.7
18	115.4	54	267.8
19	117.7	55	267.3
20	119.2	56	268.7
21	119.9	57	271.2
22	120.4	58	269.3
23	120.4	59	272
24	119.2	60	268.4
25	119.2	61	270.4
26	119.9	62	269.6
27	120.9	63	269.3
28	121.9	64	270.8
29	121.8	65	272.6
30	121.8	66	274.7
31	189.9	67	272.9
32	190	68	270.7
33	190.4	69	270.5
34	191.1	70	270.3
35	189.6	71	269.2
36	185.6	72	270.5

Tabla 88- Variación ininterrumpida de la dirección del viento (ambiente controlado)

Número de Medición	Dirección del Viento (°)	Número de Medición	Dirección del Viento (°)
1	305.6	64	104.4
2	284.4	65	100.8
3	271.4	66	100.9
4	264.8	67	101.1
5	261.3	68	103.6
6	258.4	69	104.3
7	257.2	70	102.4
8	256	71	105.2
9	255.4	72	111
10	254.4	73	99.4
11	254.4	74	94.7
12	254.2	75	94
13	254.9	76	94.9
14	255.4	77	95
15	254.4	78	92.6
16	255.1	79	90.7
17	255.3	80	91.4
18	255.7	81	91.2
19	255.8	82	86.5
20	256.8	83	84.3
21	257	84	80.5
22	259.8	85	76.4
23	260.1	86	72.6
24	251.7	87	69.3
25	237.6	88	66.1
26	224.8	89	65.5
27	207	90	64.7
28	196.6	91	63.7
29	190.4	92	65.1
30	184.1	93	68.2
31	178	94	69.1
32	174.2	95	70.5
33	170.5	96	73.5
34	167.8	97	73
35	167.7	98	76.6
36	165.8	99	75.4

Tabla 89(continuación) - Variación ininterrumpida de la dirección del viento (ambiente controlado)

Número de Medición	Dirección del Viento (°)	Número de Medición	Dirección del Viento (°)
37	165.6	100	67.5
38	164.5	101	64.2
39	165	102	56.7
40	164.6	103	45.2
41	165.5	104	36.9
42	165.2	105	31.3
43	164.4	106	27.3
44	162.9	107	24.1
45	164.9	108	22.1
46	167.6	109	19.6
47	168.5	110	17.5
48	170.4	111	17.3
49	170.7	112	17
50	168.3	113	16.6
51	165.6	114	16.9
52	166.7	115	17.5
53	166.9	116	17.7
54	165.3	117	17.8
55	164.9	118	18.7
56	168.3	119	20.1
57	169	120	19.4
58	172.8	121	16.3
59	161.1	122	16.3
60	140.2	123	15.3
61	120.4	124	14.9
62	113.8	125	15.6
63	108.7	126	16

Tabla 90- Comparación de humedad relativa Estación “La Aurora” y NM150

Hora	Humedad	NM150	%Error
10:00	99.998	99.9	0.098002
10:10	100	98.8	1.2
10:20	100	98.6	1.4
10:30	98.603	96.2	2.437046
10:40	96.24	97.6	1.413134
10:50	93.149	93	0.159959
11:00	91.009	91.5	0.539507
11:10	89.209	87.3	2.139919
11:20	87.74	88.4	0.752222
11:30	86.594	83.4	3.688477
11:40	84.736	82.7	2.402757
11:50	82.14	80.8	1.631361
12:00	78.656	79.8	1.454434
12:10	76.351	74.5	2.42433
12:20	76.612	76.7	0.114865
12:30	74.079	73.1	1.321562
12:40	73.286	71.2	2.846383
12:50	73.722	74.3	0.784026
13:00	76.552	76.5	0.067928
13:10	77.958	76	2.511609
13:20	80.406	77.7	3.36542
13:30	80.88	81.3	0.519288
13:40	80.292	78.5	2.231854
13:50	78.65	78.6	0.063573
14:00	76.504	74.8	2.227335
14:10	76.192	76.7	0.666737
14:20	77.024	78	1.267138
14:30	77.529	74.3	4.164893
14:40	77.076	75.9	1.525767
14:50	78.449	75.6	3.631659
15:00	79.676	80	0.406647
15:10	84.551	85.3	0.885856
15:20	91.892	93.5	1.74988
15:30	95.926	95.7	0.235598
15:40	97.22	97.4	0.185147
15:50	96.999	96.3	0.720626
16:00	98.573	98.3	0.276952
16:10	96.651	94.8	1.915138
16:20	93.159	92.5	0.707393
16:30	95.553	93.5	2.148546

Tabla 91- Comparación de humedad relativa Estación “La Aurora” y NM150

Hora	Humedad	NM150	%Error
16:40	93.499	93.2	0.31979
16:50	90.427	89.1	1.467482
17:00	93.369	91.6	1.894633
17:10	94.516	93.5	1.07495
17:20	95.643	96.4	0.791485
17:30	94.603	93.8	0.84881
17:40	94.94	95	0.063198
17:50	94.181	91.1	3.27136
18:00	94.817	93.5	1.388991
18:10	96.239	95.6	0.663972
18:20	98.919	97.6	1.333414
18:30	99.964	99.3	0.664239
18:40	100	96.6	3.4
18:50	99.925	98.2	1.726295
19:00	98.449	99.3	0.864407
19:10	94.038	93.1	0.997469
19:20	92.01	90.3	1.858494
Porcentaje Máximo de Error			4.164893

Tabla 92- Comparación de punto de rocío de la estación “La Aurora” y cálculo del punto de rocío con la ecuación 11

Hora	Temperatura °C Estación La Aurora	Humedad Relativa % Estación La Aurora	P.Rocío °C Estación La Aurora	P. Rocío °C Calculado con Ecuación	% De Error
9:30	17.87	99.94%	17.86	17.86077514	0.00434
9:40	17.817	99.92%	17.804	17.80412094	0.000679
9:50	17.761	99.97%	17.755	17.75559741	0.003365
10:00	17.626	100.00%	17.626	17.62568257	0.001801
10:10	17.75	100.00%	17.75	17.75	0
10:20	17.966	100.00%	17.966	17.966	1.98E-14
10:30	18.194	98.60%	17.968	17.96993502	0.010769
10:40	18.472	96.24%	17.855	17.8612119	0.034791
10:50	18.941	93.15%	17.799	17.80815504	0.051436
11:00	19.177	91.01%	17.661	17.67258658	0.065605
11:10	19.272	89.21%	17.436	17.44949385	0.077391
11:20	19.355	87.74%	17.253	17.26827641	0.088544
11:30	19.374	86.59%	17.062	17.07901998	0.099754
11:40	19.737	84.74%	17.074	17.0924059	0.107801
11:50	19.995	82.14%	16.831	16.85339344	0.133049
12:00	20.303	78.66%	16.446	16.47049078	0.148916
12:10	20.502	76.35%	16.167	16.19600914	0.179434
12:20	20.501	76.61%	16.222	16.24862158	0.164108
12:30	20.797	74.08%	15.977	16.00706143	0.188154
12:40	21.408	73.29%	16.4	16.4267033	0.162825
12:50	20.941	73.72%	16.042	16.07009971	0.175163
13:00	20.723	76.55%	16.426	16.45119099	0.15336
13:10	20.864	77.96%	16.852	16.87453625	0.13373
13:20	20.616	80.41%	17.098	17.1218737	0.139629
13:30	20.83	80.88%	17.402	17.42334751	0.122673
13:40	20.839	80.29%	17.296	17.31653485	0.118726
13:50	20.903	78.65%	17.028	17.05193442	0.140559
14:00	20.999	76.50%	16.683	16.70843637	0.152469
14:10	20.703	76.19%	16.331	16.35772507	0.163646
14:20	20.3	77.02%	16.113	16.13817788	0.156258
14:30	20.252	77.53%	16.168	16.19422402	0.162197
14:40	20.361	77.08%	16.183	16.20785999	0.153618
14:50	20.437	78.45%	16.536	16.55913061	0.13988
15:00	20.221	79.68%	16.571	16.5935765	0.136241
15:10	19.894	84.55%	17.184	17.21167866	0.161072
15:20	19.323	91.89%	17.958	17.9704761	0.069474
15:30	18.78	95.93%	18.11	18.11570193	0.031485

Tabla 93(continuación) - Comparación de punto de rocío de la estación "La Aurora" y cálculo del punto de rocío con la ecuación 11

Hora	Temperatura °C Estación La Aurora	Humedad Relativa % Estación La Aurora	P.Rocío °C Estación La Aurora	P. Rocío °C Calculado con Ecuación	% De Error
15:40	18.574	97.22%	18.12	18.124048	0.02234
15:50	18.58	97.00%	18.089	18.09377334	0.026388
16:00	18.517	98.57%	18.286	18.28752683	0.00835
16:10	18.534	96.65%	17.986	17.99072905	0.026293
16:20	18.455	93.16%	17.32	17.32804374	0.046442
16:30	18.572	95.55%	17.84	17.84680193	0.038127
16:40	18.394	93.50%	17.316	17.32524121	0.053368
16:50	18.338	90.43%	16.729	16.7419963	0.077687
17:00	18.485	93.37%	17.384	17.39345386	0.054383
17:10	18.583	94.52%	17.678	17.68436324	0.035995
17:20	18.633	95.64%	17.917	17.92243919	0.030358
17:30	18.63	94.60%	17.739	17.74565593	0.037521
17:40	18.625	94.94%	17.791	17.79718821	0.034783
17:50	18.635	94.18%	17.672	17.67961808	0.043108
18:00	18.651	94.82%	17.796	17.80241923	0.036071
18:10	18.594	96.24%	17.978	17.98247735	0.024905
18:20	18.461	98.92%	18.286	18.28750724	0.008243
18:30	18.416	99.96%	18.41	18.4102508	0.001362
18:40	18.305	100.00%	18.305	18.305	0
18:50	18.197	99.93%	18.185	18.1850405	0.000223
19:00	18.277	98.45%	18.025	18.02790657	0.016125
19:10	18.413	94.04%	17.428	17.43515173	0.041036
19:20	18.449	92.01%	17.116	17.1257342	0.056872

Tabla 94- Resultados de comparación de presión estación "La Aurora" y NM150

Hora	Presión (mm de Mercurio) Estación "La Aurora"	Presión (Pulgadas de Mercurio) NM150	Presión (mm de Mercurio) NM150	Presión Linealizada (mm de Mercurio)	% Error
9:30	849.215	30.1737	739.25565	849.215	0
9:40	849.246	30.1974	739.8363	849.8677099	0.073207
10:00	849.406	30.1856	739.5472	849.542732	0.016097
10:10	849.406	30.1915	739.69175	849.7052209	0.035227
10:20	849.4	30.1856	739.5472	849.542732	0.016804
10:30	849.22	30.2328	740.7036	850.8426436	0.191075
10:40	849.24	30.1737	739.25565	849.215	0.002944
10:50	849.139	30.1472	738.6064	848.4851767	0.076998
11:00	849.073	30.1974	739.8363	849.8677099	0.093597
11:10	848.919	30.1501	738.67745	848.5650442	0.041695
11:20	848.807	30.156	738.822	848.7275331	0.009362
11:30	848.661	30.1619	738.96655	848.8900221	0.026986
11:40	848.484	30.1767	739.32915	849.2976215	0.095891
11:50	848.333	30.156	738.822	848.7275331	0.046507
12:00	848.158	30.1501	738.67745	848.5650442	0.047992
12:10	848.052	30.1531	738.75095	848.6476657	0.070239
12:20	847.85	30.1472	738.6064	848.4851767	0.074916
12:30	847.673	30.1354	738.3173	848.1601988	0.057475
12:40	847.461	30.1383	738.38835	848.2400663	0.091929
12:50	847.27	30.097	737.3765	847.1026436	0.019752
13:00	847.07	30.1206	737.9547	847.7525994	0.080584
13:10	846.886	30.1383	738.38835	848.2400663	0.159888
13:20	846.734	30.1117	737.73665	847.507489	0.09135
13:30	846.606	30.0822	737.0139	846.6950442	0.010518
13:40	846.467	30.0999	737.44755	847.182511	0.084529
13:50	846.474	30.1029	737.52105	847.2651325	0.093462
14:00	846.472	30.0822	737.0139	846.6950442	0.02635
14:10	846.465	30.0999	737.44755	847.182511	0.084766
14:20	846.449	30.0881	737.15845	846.8575331	0.048264
14:30	846.419	30.094	737.303	847.0200221	0.071008
14:40	846.229	30.0763	736.86935	846.5325552	0.035872
14:50	846.183	30.0527	736.29115	845.8825994	0.035501
15:00	846.034	30.0674	736.6513	846.2874448	0.029957
15:10	846.031	30.0999	737.44755	847.182511	0.136107
15:20	846.072	30.1206	737.9547	847.7525994	0.198636
15:30	846.189	30.1206	737.9547	847.7525994	0.184781
15:40	846.081	30.0468	736.1466	845.7201105	0.042654

Tabla 95(continuación) - Resultados de comparación de presión estación "La Aurora" y NM150

Hora	Presión (mm de Mercurio) Estación "La Aurora"	Presión (Pulgadas de Mercurio) NM150	Presión (mm de Mercurio) NM150	Presión Linealizada (mm de Mercurio)	% Error
15:50	845.97	30.0822	737.0139	846.6950442	0.085706
16:00	845.966	30.0763	736.86935	846.5325552	0.066971
16:10	845.954	30.0911	737.23195	846.9401546	0.116573
16:20	845.948	30.0733	736.79585	846.4499337	0.059334
16:30	846.063	30.0792	736.9404	846.6124227	0.064939
16:40	846.14	30.0763	736.86935	846.5325552	0.046394
16:50	846.325	30.0999	737.44755	847.182511	0.101322
17:00	846.363	30.1147	737.81015	847.5901105	0.144986
17:10	846.506	30.0999	737.44755	847.182511	0.079918
17:20	846.505	30.0852	737.0874	846.7776657	0.032211
17:30	846.509	30.0704	736.7248	846.3700663	0.016413
17:40	846.64	30.097	737.3765	847.1026436	0.054645
17:50	846.688	30.1029	737.52105	847.2651325	0.068164
18:00	846.783	30.0822	737.0139	846.6950442	0.010387
18:10	846.881	30.0911	737.23195	846.9401546	0.006985
18:20	847.062	30.1206	737.9547	847.7525994	0.081529
18:30	847.065	30.1619	738.96655	848.8900221	0.215452
18:40	847.067	30.1619	738.96655	848.8900221	0.215216
18:50	847.208	30.1058	737.5921	847.345	0.016171
19:00	847.235	30.0911	737.23195	846.9401546	0.034801
19:10	847.345	30.1058	737.5921	847.345	0
Porcentaje de Error Máximo					0.215452

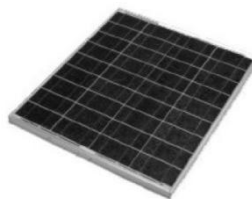
F. ANEXO 6 - MATERIALES UTILIZADOS PARA EL MÓDULO DE ESTRUCTURA

1. PANEL SOLAR PRINCIPAL

Tabla 96- Características del panel solar principal

Característica	Descripción
Masa	17 lbm
Ancho panel solar principal	30.5625 pulgadas
Largo panel solar principal	26.0625 pulgadas
Espesor panel solar principal	1.53125 pulgadas

Figura 132- Panel solar principal



2. PANEL SOLAR PARA POSICIONAMIENTO DEL PANEL SOLAR PRINCIPAL

Tabla 97- Propiedades del panel solar para posicionamiento seleccionado

Característica	Descripción
Proveedor	Jameco
Potencia	0.25 W
Dimensiones	60 mm x 60 mm x 2 mm
Voltaje de operación	0-5 V

Figura 133- Panel solar [43]



3. MOTOR PARA MOVIMIENTO DIARIO

Tabla 98- Características motor movimiento diario

Característica	Descripción
Proveedor	Servocitiy
Torque	7.85 N*m
Velocidad	6 rpm
Voltaje de operación	10-24 V

Corriente sin carga	80 mA
Relación de engranes	500:1

Figura 134- Motor movimiento diario



4. CAJA REDUCTORA MOVIMIENTO DIARIO

Tabla 99- Características caja reductora

Característica	Descripción
Proveedor	Servocitiy
Dientes del piñón	24
Dientes del engrane acoplador	203
Relación	8.45:1

Figura 135- Caja reductora utilizada movimiento diario



5. ACTUADOR LINEAL PARA MOVIMIENTO ANUAL

Tabla 100- Características actuador lineal

Característica	Descripción
Proveedor	Servocitiy
Voltaje de operación	6-12 V
Max. velocidad de operación @12V	0.59 pulg/s
Fuerza	115 lbf
Max corriente @ 12V	3.5 A
Longitud de carrera	11.81 pulg.

Figura 136- Actuador lineal



Figura 137- Acoples utilizados para fijar el actuador lineal con la estructura



G. PUENTE H COMERCIAL

Tabla 101- Características puente H

Característica	Descripción
Proveedor	Parallax
Voltaje de operación	6-16 V
Comunicación	PWM
Consumo de corriente	80 mA
Protección	Sobre corriente, sobre voltaje, alta temperatura

Figura 138- Puente H



1. COJINETE DE BOLAS DE PRECISIÓN

Figura 139- Características del cojinete de bolas SKF

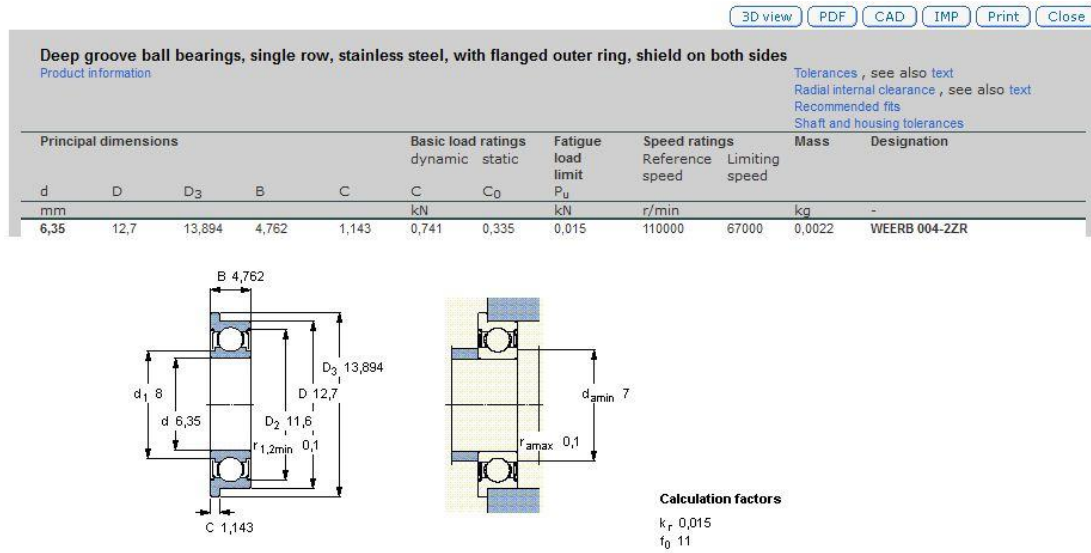


Figura 140- Cojinete de bolas utilizado



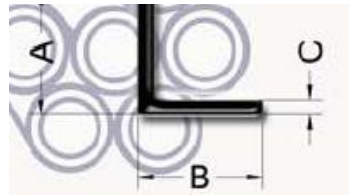
2. PERFILES DE ALUMINIO UTILIZADOS Y ACOPLES

a. PERFIL ANGULAR

Tabla 102- Dimensiones perfil angular

A	B	C
2"	2"	0.125"

Figura 141- Perfil angular

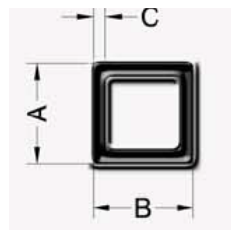


b. TUBO CUADRADO

Tabla 103- Dimensiones tubo cuadrado

A	B	C
1"	1"	0.0625"

Figura 142- Tubo cuadrado

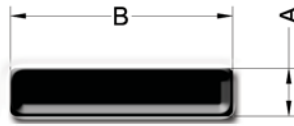


c. PLATINAS

Tabla 104- Dimensiones de las platinas

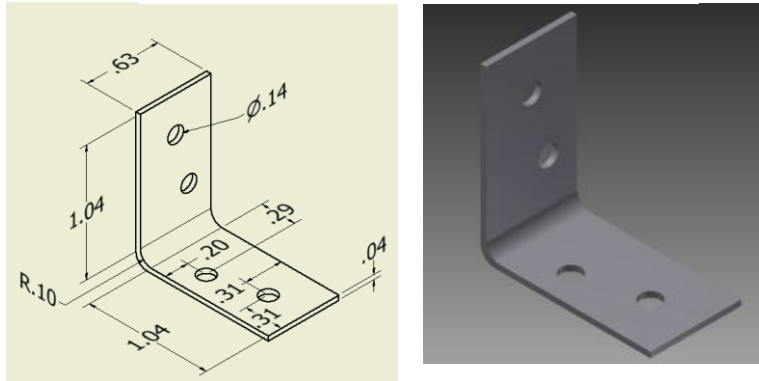
Tipo	A	B
Principal	0.093"	1.575"
Eslabones	0.125	0.625"

Figura 143- Platina



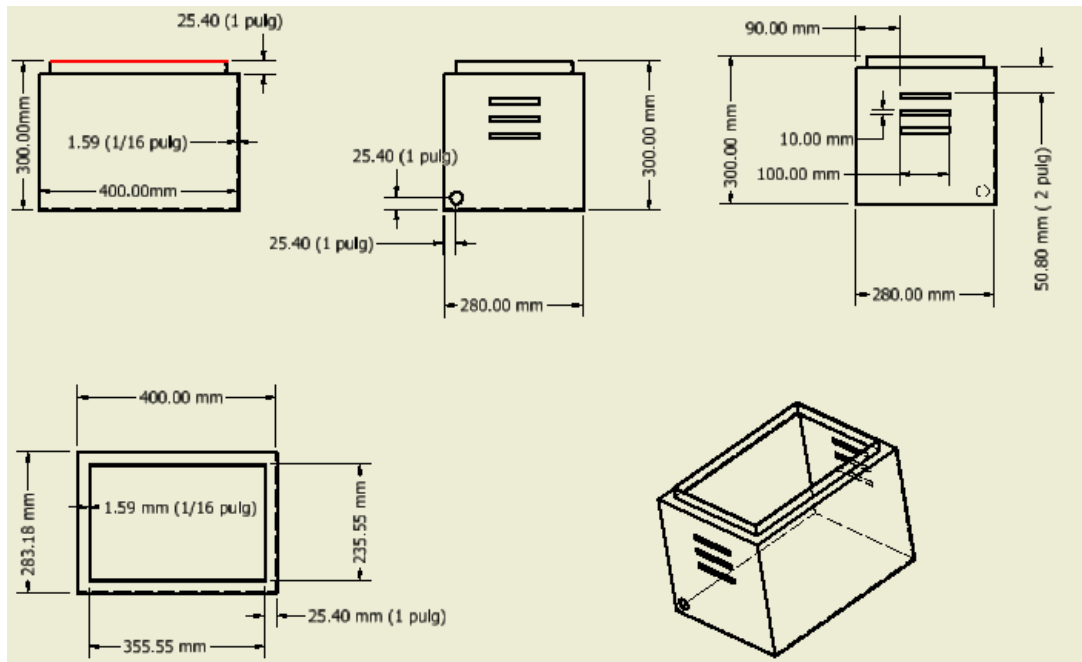
d. ACOPLES

Figura 144- Acople utilizado (pulgadas)



e. PLANOS DE LA CAJA PARA GUARDAR COMPONENTES

Figura 145- Dimensiones de la caja para guardar componentes



H. ANEXO 7 - CÓDIGO FUENTE DEL MÓDULO ESCLAVO

```

//UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
//MODULO ESCLAVO 1
//JOSE ALBERTO CORDON HEMMERLING
//07128

//VARIABLES
//*****
int cont1=1, cont2=0;
unsignedshort j;
char rxchar, i =0, flag =0, flag1=0, flag2=0, temp=0;
unsignedchar rxarray[80];
//*****

//INTERRUPCIÓN DEL MÓDULO USART
//*****
void interrupt ()
{
//Interrupción del módulo USART
if(PIR1.RCIF && flag==0)
{
//Variable donde se guarda el byte enviado por serial
rxchar = UART1_Read();
//Condicional si ya leyo un $
if(flag1==1)
{
//Verifica si despues de $ viene una W
if(flag2==0)
{
if(rxchar=='W')
{
flag2=1;
}
}
else
{
flag1=0;
i=0;
}
}
//Condicional si es W
if(flag2==1)
{
//Guarda las variables en un array
rxarray[i]= rxchar;
temp=i;
}
}
}

```

```

i++;
//si encuentra otro $ manda por paralelo el array
if(rxarray[temp]=='$')
{
    PIE1.RCIE =0;
    INTCON.PEIE =0;
    INTCON.GIE =0;
flag =1;
    flag1=0;
    flag2=0;
temp=0;
    Delay_ms(7500);
//Envio del array
while(cont2<(i+1))
{
    Delay_ms(25);
    PORTB = rxarray[cont2];
//Alternacion de bits de control
if(PORTA.F0==1)
{
PORTA.F0=0;
    PORTA.F1=1;
}
else
{
    PORTA.F1=0;
PORTA.F0=1;
}
    cont1++;
cont2++;
}
}
}
}
//Busca un $ para empezar a guardar en array
if(rxchar=='$')
{
    flag1=1;
    rxarray[i]= rxchar;
    i++;
}
}
}
}
//*****

//METODO PRINCIPAL

```

```

//*****
void main ()
{
//Inicializacion de puertos
  ANSEL =0;
  ANSELH =0;
  TRISB =0x00;
  PORTB =0x00;
  TRISA =0x00;
  PORTA =0x00;
  PORTA.F1=1;
  C1ON_bit =0;
  C2ON_bit =0;
  PIE1.RCIE =1;
  INTCON.PEIE =1;
  INTCON.GIE =1;
  UART1_Init(4800);
//Ciclo Infinito
while(1)
{
//Activa la interrupci n
  PIE1.RCIE =1;
  INTCON.PEIE =1;
  INTCON.GIE =1;
  Delay_100ms();
if(flag ==1)
{
  i=0;
  cont1=1;
  cont2=0;
  flag =0;
  flag1=0;
flag2=0;
}
}
}
//*****

```

I. ANEXO 8 - CÓDIGO FUENTE DEL MÓDULO MAESTRO

```

//UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
//MODULO MAESTRO
//JOSE ALBERTO CORDON HEMMERLING
//07128

//VARIABLES
//*****
char rxchar, k=0;
int cont3=1;
unsignedchar rxarray[80];
char i =0;
char j =0;
char cont1=0, flag=0, cont2=0, flag1=0, flag2=0, flag3=0;
constunsignedshort TEMP_RESOLUTION =12;
char tempch[7]="000.00";
unsigned temp5;
//*****

//INTERRUPCIÓN
//*****
void interrupt ()
{
//Interrupe al recibir por medio usart
flag3=1;
if(PIR1.RCIF)
{
//Guarda los bytes en un array
rxchar = UART1_Read();
if(flag1==1)
{
rxarray[k]= rxchar;
k++;
if(rxchar=='$' && k>5)
{
flag=1;
flag1=0;
flag3=0;
PORTA.F0=0;
PORTA.F1=0;
}
}
//Guarda despues de un enter
if(rxchar ==10)
{

```

```

        flag1=1;
    }
}
}
//*****

//METODO DE CONVERSION DE LO RECIBIDO EN ONE WIRE A DECIMALES
//*****
void GetTemp(unsigned int temp2write)
{
    const unsigned short RES_SHIFT = TEMP_RESOLUTION - 8;
    char temp_whole;
    unsigned int temp_fraction;

    // Chequear si la Temperatura es Negativa
    if(temp2write & 0x8000)
    {
        tempch[0]='-';
        temp2write = ~temp2write + 1;
    }

    // Obtener la parte entera de la temperatura
    temp_whole = temp2write >> RES_SHIFT ;

    // Convertirlo a caracteres
    if(temp_whole/100)
        tempch[0]= temp_whole/100+48;
    else
        tempch[0]='0';
    //decena
    tempch[1]=(temp_whole/10)%10+48;
    //unidad
    tempch[2]= temp_whole%10+48;

    // Obtener la parte decimal de la temperatura
    temp_fraction = temp2write <<(4-RES_SHIFT);
    temp_fraction &= 0x000F;
    temp_fraction *= 625;

    // Convertir la parte decimal a caracteres
    tempch[4]= temp_fraction/1000+48;
    tempch[5]=(temp_fraction/100)%10+48;
}
//*****

//METODO PRINCIPAL

```

```

//*****
void main()
{
    TRISB =0xFF;
    PORTB =0x00;
    ANSEL =0x00;
    TRISA =0B00110000;
    ANSELH =0;
    PORTA =0x00;
    C1ON_bit =0;
    C2ON_bit =0;
    UART1_Init(4800);
    PIE1.RCIE =1;
    INTCON.PEIE =1;
    INTCON.GIE =1;
    Delay_ms(100);
    UART1_Write_Text("TORRE METEOROLOGICA");
    //Ciclo Infinito
    do
    {
        //Puerto Paralelo
        if(PORTA.F4==1&& cont3==1&& PORTA.F5==0)
        {
            cont3=2; rxarray[i]=
            PORTD;
            i++;
        }

        //Puerto Paralelo
        if(PORTA.F5==1&& cont3==2&& PORTA.F4==0)
        {
            cont3=1;
            rxarray[i]=PORTD;
            i++;
        }

        //Hacer cuando se termina recibir en puerto paralelo
        if(rxarray[i-1]=='$')
        {
            cont1++;
            if(cont1==2)
            {
                //obtener por one wire la temperatura
                Ow_Reset(&PORTE,2); // Onewire se de reseteo
                Ow_Write(&PORTE,2,0xCC); // Comando SKIP_ROM
                Ow_Write(&PORTE,2,0x44); // Comando CONVERT_T
            }
        }
    }
}

```

```

    Delay_us(120);

    Ow_Reset(&PORTE,2);
    Ow_Write(&PORTE,2,0xCC); // Comando SKIP_ROM
    Ow_Write(&PORTE,2,0xBE); // Comandod READ_SCRATCHPAD

temp5 = Ow_Read(&PORTE,2); //Leer los primeros 8 bits
temp5 =(Ow_Read(&PORTE,2)<<8)+ temp5;

    GetTemp(temp5);

    Delay_ms(100);
    j=0;
//Envia por serial MDA
while(j<i)
{
    UART1_Write(rxarray[j]);
    j++;
}
    j=0;
while(j<81)
{
    rxarray[j]='0';
j++;
}
j=0;
//se forma MDE
rxarray[0]='$';
rxarray[1]='M';
    rxarray[2]='D';
    rxarray[3]='E';
    rxarray[4]=',';
    rxarray[5]= tempch[0];
    rxarray[6]= tempch[1];
    rxarray[7]= tempch[2];
    rxarray[8]= tempch[3];
    rxarray[9]= tempch[4];
    rxarray[10]= tempch[5];
    rxarray[11]=',';
rxarray[12]=10;
    rxarray[13]=13;

//Envia por serial MDE
while(j<14&& i>5)
{
    UART1_Write(rxarray[j]);

```

```

        j++;
        flag2=1;
    }
    if(flag2==1)
    {
        PORTA.F1=1;
        flag2=0;
        Delay_ms(100);
    }
    while(flag3==1)
    {
    }
    //Envia por serial MDI
    if(flag==1)
    {
        PORTA.F2=1;
        UART1_Write('$');
        while(cont2<k-1)
        {
            UART1_Write(rxarray[cont2]);
            cont2++;
        }

        UART1_Write(',');
        UART1_Write(10);
        UART1_Write(13);
        cont2=0;
        k=0;
        flag=0;
        flag2=1;
    }
    if(flag2==1)
    {
        PORTA.F0=1;
        flag2=0;
        Delay_ms(100);
    }
    //Se manda por serial MDO
    while(flag3==1)
    {
    }

    if(flag==1)
    {
        PORTA.F2=0;
        UART1_Write('$');
        while(cont2<k-1)

```

```
{
    UART1_Write(rxarray[cont2]);
    cont2++;
}
UART1_Write(',');
UART1_Write(10);
UART1_Write(13);
cont2=0;
k=0;
flag=0;
}
j=0;
i=0;
cont1=0;
}
}
}
while(1);
}
//*****
```

J. ANEXO 9–CÓDIGO FUENTE DE MÓDULO COMUNICACIÓN

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
using System.Data.SqlClient;
using System.Collections;
using MySQLDriverCS;
using MySql.Data.MySqlClient;
using System.Data;
using System.Deployment;
using System.IO;

namespace WindowsFormsApplication1
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        string DefaultServer = "localhost"; // Servidor predeterminado
        string Defaultdb = "db"; // la base de datos predeterminada
        string Defaultuser = "root"; // el usuario para la base de datos
        string Defaultpass = ""; // la clave para la base de datos
        string Servidor, DB, user, pass; // Variables con la informacion de
        conexion.

        MySqlConnection myConn; // objeto de conexion SQL
        List<String> Informacion = new List<string>(); // lista de texto para la
        ventana informacion
        Boolean servidorConectado = false; // controlar el estado de conexion del
        servidor
        Boolean estacionConectada = false;
        // variables para cada dato
        string presion = "0", temperatura = "0", velviento = "0", dirviento = "0",
        humedad_relativa = "0", radiacion="0", sismo="N/A";
        string ContadorH = "0", ContadorL = "0", TMRH = "0", TMRL = "0";
        string ejex = "0", eje = "0", ejez = "0";
        string id_estacion = "N/A";

        List<Double> Temperaturas = new List<double>(); // lista de texto para
        suavizar la temperatura

        public Form1()
        {
            InitializeComponent(); // inicializar los elementos
            updateInfo("Programa Inicializado Correctamente");
            inicializar(); // metodo para inicializar las variables de conexion
        }

        private void inicializar()
        {
            try{
                // Crear un objeto para leer la configuracion almacenada
                TextReader tr = new StreamReader( Application.StartupPath+"/c.cnf");
                // leer la configuracion
                Servidor = tr.ReadLine();
            }
        }
    }
}

```

```

DB = tr.ReadLine();
        user = tr.ReadLine();
pass = tr.ReadLine();
updateInfo("Configuracion de Servidor Cargada");
        tr.Close();// cerrar el archivo
    }
    catch
    {
        MessageBox.Show("No se pudo cargar la configuración");
        updateInfo("No se pudo cargar la configuración");
    }

        // listado de puertos COM de la computadora
string[] lPorts = System.IO.Ports.SerialPort.GetPortNames() ;

// hacer el listado de los puertos y colocarlos en
// el combo box
    foreach (String puerto in lPorts)
    {
        Puertos.Items.Add(puerto);
        Puertos.SelectedIndex = 0;
    }
}

private void conectar() // metodo para conectarse al servidor
{
    try
    {
        updateInfo("Estableciendo conexión con el Servidor");
myConn = new
MySQLConnection("Address="+Servidor+";database="+DB+";uid="+user+";password="+pass);
myConn.Open(); // realizar la conexion
        updateInfo("Conexión con Servidor Establecida!"); //mostrar mensaje
de exito
        updateInfo("Conectado con: "+Servidor);
        servidorConectado = true; // variable de control de conexion = true
ConectarServidor.Image = WindowsFormsApplication1.Properties.Resources.unplug;
        DataBaseImage.BackgroundImage = imagenes.Images[2];
    }
    catch(Exception e)
    {
        MessageBox.Show(""+e);
        info.Text = "No se pudo Conectar al Servidor";
        DataBaseImage.BackgroundImage = imagenes.Images[0];
    }
}

private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (servidorConectado) { ActualizarDataBase(); }
    else { updateInfo("Conectarse al servidor para actualizar"); }
}

private void ActualizarDataBase()
{
    try
    {
        // Procesar los datos recibidos y prepararlos para almacenarlos

```

```

double radiacion_base = 80000000 / ( double.Parse(TMRH) * 256 + double.Parse(TMRL) +
65536*(double.Parse(ContadorL) * 256 + double.Parse(ContadorH)) );
updateInfo("Radiacion base:" + radiacion_base+"");
    double radiacion_val = 0;

    // linealizacion de la radiacion
    if (radiacion_base >= 1000)
    {
        radiacion_val = (((radiacion_base - 1092.9963) / 7.2460) +
123.5110) / (0.95374));
    }

    if (radiacion_base > 250 && radiacion_base < 1000)
    {
        radiacion_val = (((radiacion_base - 604.7417) / 7.5051) +
87.881) / (1.0512));
    }

    if (radiacion_base <= 250)
    {
        radiacion_val = (((radiacion_base - 223.49) / 6.6502) +
35.7310) / (1.0529));
    }

    // linealizacion de la presion atmosferica
double presion_mmHg = (29.82 * double.Parse(presion) - 739.2556) / 0.889599 +
849.215;
double presion_bar = presion_mmHg / 750.062;
Lpresion.Text = presion_mmHg+" mm_";
    // calculo del punto de rocio
double m = 17.62;
double Tn =243.12;
    double logaritmo = Math.Log(double.Parse(humedad_relativa)/100);
    double factor2 = m * double.Parse(temperatura) / (Tn +
double.Parse(temperatura));
double punto_rocio = Tn * ((logaritmo + factor2) / (m - logaritmo - factor2));

    // suavizado de la grafica de la temperatura
if (Temperaturas.Count > 10)
    {Temperaturas.RemoveAt(0);}
Temperaturas.Add(Double.Parse(temperatura));

    temperatura = ""+Temperaturas.Average();
    // query para almacenar los datos en la base de datos
    string sql = "INSERT INTO mediciones
(id_estacion,temperatura,viento_velocidad,viento_direccion,presion,humedad_relativa,
punto_rocio,radiacion,sismo,fecha,hora, correlativo)VALUES (' + id_estacion + "',
' + temperatura + "', ' + velviento + "', ' + dirviento + "', ' + presion + "',
' + humedad_relativa + "', ' + punto_rocio + "', ' + radiacion_val + "', ' +
sismo + "', CURDATE(), CURTIME(), NULL)";
MySQLCommand cmd = new MySQLCommand(sql, myConn);
cmd.ExecuteNonQuery();
    updateInfo("Datos Transmitidos Correctamente ");
}

catch(Exception e)
{
    // si hay error mostrar un mensaje

```

```

        updateInfo("Ha ocurrido un error, no se puede conectar al
Servidor");
updateInfo(e + "");
    }
}

private void updateInfo(string txt)
{
    // agrega una linea de texto en la ventana status del programa
    Informacion.Add(txt + " - " + DateTime.Now); // fecha y hora
    if (Informacion.Count > 5) // limite de lineas visibles
    {Informacion.RemoveAt(0);} // borra la primera
    info.Text = ""; // limpia la variable para el nuevo texto
    foreach(String mensaje in Informacion) // crea el nuevo texto a mostrar
    {
        info.Text += mensaje+"\n" ;
    }
}

private void ConectarB_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (ConectarB.Text == "Conectar")
    {
        try
        { // configuracion del puerto serial
            SerialPort.BaudRate = 4800;
            SerialPort.PortName = Puertos.SelectedItem.ToString();
            SerialPort.Open();
            SerialPortImage.BackgroundImage = imagenes.Images[2];

            updateInfo("Puerto Serial Conectado Correctamente");
            updateInfo("Port: " + SerialPort.PortName + " BaudRate: " + SerialPort.BaudRate + "
");
            ConectarB.Text = "Desconectar";
            ConectarB.Image =
WindowsFormsApplication1.Properties.Resources.unplug;
        }
        catch
        { // mensaje de error si se ha ocurrido un error al conectar
            updateInfo("El puerto Serial no pudo ser conectado");
            updateInfo("BaudRate: " + SerialPort.BaudRate);
            SerialPortImage.BackgroundImage = imagenes.Images[0];
        }
    }
    else
    {
        SerialPort.Close();
        ConectarB.Text = "Conectar";
        ConectarB.Image =
WindowsFormsApplication1.Properties.Resources.plugin;
        updateInfo("Puerto Serial Desconectado!");
        SerialPortImage.BackgroundImage = imagenes.Images[0];
    }
}

private void SerialPort_DataReceived(object sender,
System.IO.Ports.SerialDataReceivedEventArgs e)
{

```

```

        this.Invoke(new EventHandler(DoUpdate)); // dato recibido, analizar
    }

    private void DoUpdate(object s, EventArgs e)
    {
        // se almacenan los datos recibidos por el puerto serial en una lista
        List<String> datos = new List<String>();
        String lectura = "";
        {
            try
            { // leer cada cadena de datos recibida
                lectura= SerialPort.ReadTo("$");
                char[] delimiter = new char[] { ',' }; // delimitar por comas
                datos = lectura.Split(delimiter,StringSplitOptions.None).ToList<string>();
            }
            catch { }

            if (datos.Count > 18 && datos[0]=="WIMDA" )
            {
                // se ha recibido una cadena de datos de la estacion con
                // encabezado WIMDA
                presion = datos[3];
                Lhumedad.Text = datos[9];
                humedad_relativa = datos[9];
                lvientodir.Text = datos[13];
                dirviento = datos[13];
                Lvelviento.Text = datos[19];
                velviento = datos[19];
                updateInfo("WIMDA recibidos");
            }

            if (datos.Count > 1 && datos[0] == "WIMDE")
            { // se ha recibido la temperatura
                Ltemp.Text = datos[1];
                temperatura = datos[1];

                if(Temperaturas.Count>10)
                { Temperaturas.RemoveAt(0); }

                Temperaturas.Add(double.Parse(temperatura));
            }

            if (datos.Count > 3 && datos[0] == "WIMDI")
            { // se ha recibido la informacion de sismos
                ejex = datos[1];
                ejez = datos[2];
                ejez = datos[3];
                updateInfo("WIMDI recibidos");
            }

            if (datos.Count > 4 && datos[0] == "WIMDO")
            { // se ha recibido la radiacion
                TMRH = datos[1];
                TMRL = datos[2];
                ContadorH = datos[3];
                ContadorL = datos[4];
                updateInfo("Datos de Radiacion: " + TMRH + "," + TMRL + ","
+ ContadorH + "," + ContadorL);
            }
        }
    }

```

```

}

        if (datos.Count > 1 && datos[0] == "WIMDU")
{ // se ha completado el paquete con el identificador de la estacion
    estacion.Text = datos[1]+" "+datos[2];
    id_estacion = datos[2];
    if (!estacionConectada)
    {
        EstacionImage.BackgroundImage = imagenes.Images[2];
        estacionConectada = true;
    }
    updateInfo("Datos recibidos de Torre: " + datos[2]);

    ActualizarDataBase(); // actualizar la base de datos
}

    }
}
private void About_Click(object sender, EventArgs e)
{
    AboutForm aboutForm = new AboutForm();
    aboutForm.Show();
}

private void help_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Ayuda helpForm = new Ayuda();
    helpForm.Show();
}

private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
{
}

// metodo para conectar o desconectar el servidor dependiendo de su estado
private void ConectarServidor_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (!servidorConectado)
        conectar(); // conectar al servidor
    else
    {
        myConn.Close(); // desconectar el servidor
        updateInfo("Servidor Desconectado");
        ConectarServidor.Image = WindowsFormsApplication1.Properties.Resources.plugin;
        servidorConectado = false;
        DataBaseImage.BackgroundImage = imagenes.Images[0];
    }
}

private void ConfServer_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Form3 myForm2 = new Form3(Servidor, DB, user,pass );
    myForm2.ShowDialog(); // mostrar ventana de configuracion
    myForm2.Dispose();
    if (myForm2.OK() && myForm2.getAdminPass() == "!estacion11")
    {
        Servidor = myForm2.getServer();
        user = myForm2.getUser();
        pass = myForm2.getPass();
    }
}

```


K. ANEXO 10 – IMÁGENES DE PÁGINA WEB

Figura 146: Página web, sección estado actual

The image shows a web page for the 'Estación Meteorológica' (Weather Station) of the 'Universidad del Valle de Guatemala'. The page features a header with the university logo and name, and a main banner with the slogan 'Aquí tus ideas florecen' (Here your ideas flourish) accompanied by an image of lightbulbs growing like plants. A navigation bar includes links for 'Estado Actual', 'Historial', 'Acerca del Proyecto', and 'Imágenes'. The main content area is titled 'Estado Actual de las Variables Climáticas' and displays a grid of weather variables. The primary weather card shows a temperature of 19.0 °C, wind from the northwest at 14.40 Km/h, and 24% humidity. Below this, three separate boxes show pressure (1.035 Bar), radiation (225.32 watt/m²), and dew point (12.35 °C). A section for 'Información de Sismos' (Seismic Information) reports no recent activity. A footer section explains the data source and provides the timestamp: 'Datos Recopilados hoy 2011-11-20, hora: 16:52:27'.

Universidad del Valle de Guatemala Estación Meteorológica

Aquí tus ideas florecen

Estado Actual Historial Acerca del Proyecto Imágenes

Estado Actual de las Variables Climáticas

Temperatura Humedad Relativa Velocidad Viento Dirección Viento Radiación Presión Punto de Rocío

19.0 °C
 Viento: NW 14.40 Km/h
 Humedad: 24 %

Presión: 1.035 Bar
Radiación: 225.32 watt/m²
Punto de Rocío: 12.35 °C

Información de Sismos:
 Última intensidad registrada en escala de Mercalli Modificada: -

¿Qué es esto?

- Son los datos más recientes recopilados por la estación meteorológica UVG.

Datos Recopilados hoy 2011-11-20, hora: 16:52:27

Figura 147: Sección historial



Figura 148: Sección acerca del proyecto

¿Quiénes Somos? Estado Actual Historial **Acerca del Proyecto** Imágenes

Acerca del Proyecto: estación METEOROLÓGICA

¿Cuál es el proyecto?

Las variables climáticas hoy en día son muy importantes tanto para realizar pronósticos del clima como para prevenir catástrofes y para reducir riesgos en lo que a cultivar tierras se refiere. Es por eso que el Centro de Estudios de la Universidad del Valle de Guatemala campus Altiplano, propuso la creación de una Estación meteorológica, que pudiera medir por lo menos ocho variables que son indispensables para hacer estudios que ayuden a la predicción del clima y otras aplicaciones de interés.

¿Qué variables climáticas se miden?

Se miden 8 variables, las cuales son:

- Temperatura
- Presión
- Humedad Relativa
- Punto de Rocío
- Dirección del Viento
- Velocidad del Viento
- Radiación
- Sismos

¿En dónde se están midiendo los datos?

La estación Meteorológica está actualmente muestreando datos en el Centro de Estudios UVG Campus Central. En la siguiente fase de construcción, se espera que se implemente un sistema de Conectividad GPRS para que la estación pueda estar muestreando datos de las zonas más vulnerables climáticamente en el área del Altiplano del país, para poder mejorar la agricultura de la región.

Figura 149: Sección imágenes


Universidad del Valle de Guatemala
Estación Meteorológica


Aquí tus ideas florecen


¿Quiénes Somos?
Estado Actual
Historial
Acerca del Proyecto
Imágenes

Fotos del proyecto

Estructura

La estructura se ha diseñado para ser liviana, resistente y duradera. Se ha construido de Aluminio para evitar la corrosión a largo plazo y facilitar la movilización ya que es una estructura muy liviana.



Panel solar

La estación meteorológica se alimenta solarmente con la ayuda de un panel solar. Este panel solar carga una batería para que la estación pueda funcionar en las noches y días nublados sin ningún problema. El sistema está diseñado para seguir funcionando incluso cuando no haya luz solar por 3 días.



L. ANEXO 11 - CÓDIGO FUENTE DE MÓDULO PÁGINA WEB

1. CÓDIGO PÁGINA ESTADO ACTUAL DEL CLIMA

```

<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN"
"http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">
<!--
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA MECANICA
MEGAPROYECTO - ESTACION METEOROLOGICA - PAGINA WEB

JEFFERSON ALEXANDER ESTRADA BARRIOS          05701
NOVIEMBRE DE 2011
-->

<html>
<head>
<?php
include("credenciales.php");
?>
<title>ESTACION METEOROLOGICA UVG -</title>

<metaname="viewport"content="width=device-width">
<metahttp-equiv="X-UA-Compatible"/>

<linkrel="stylesheet"type="text/css"media="all"href="./css/style.css">
<linkrel="stylesheet"type="text/css"media="all"href="./css/personal.css">
<linkrel="stylesheet" id="nivoslider-css"href="./css/nivo-
slider.css"type="text/css"media="all">
<linkrel="stylesheet" id="nivoslider-
css"href="./css/default/default.css"type="text/css"media="all">
<scriptlanguage="javascript"type="text/javascript"src="./js/jquery.js"></
script>
<scripttype="text/javascript"src="./fancybox/jquery.mousewheel-
3.0.4.pack.js"></script>
<scripttype="text/javascript"src="./fancybox/jquery.fancybox-
1.3.4.pack.js"></script>
<linkrel="stylesheet"type="text/css"href="./fancybox/jquery.fancybox-
1.3.4.css"media="screen"/>
<scripttype="text/javascript"src="./js/jquery.nivo.slider.pack.js"></scri
pt>
<scriptlanguage="javascript"type="text/javascript"src="./js/jquery.flot.js"></script>
<scriptlanguage="javascript"type="text/javascript"src="./js/jquery.flot.s
election.js"></script>
</head>

<!-- Comienza el codo en formato javascript para realizar las peticiones
de -->
<!-- Contenido dinamico en la pagina y graficar los datos. -->

<script>
var vari = "temperatura";
var mensaje = "Temperatura";

```

```

var dimensional = " C";
var maxi;
var data = []; // arreglo con los datos a graficar via AJAX
var overview ="";
var plot ="";
</script>

```

```

<script>
function nextNearest(value, number) {
  var ceil = Math.ceil(value);
  var remainder = value % number;
  if (remainder > 0)
    value = value - remainder + number;
  return value;
}
</script>

```

```

<script type="text/javascript">

function PROMEDIO( array )
{
  var largo = array.length;
  var total =0;
  for (var i = 0; i < largo; ++i)
    total+=array[i];
  return (total/largo).toFixed(2);
}
function MAX_( array ){
  return Math.max.apply( Math, array );
};

function MIN_( array ){
  return Math.min.apply( Math, array );
};
</script>

```

```

<script>

// la funcion doUpdate realiza la peticion de datos a la script
"extraerdatos.php"
// para que le devuelva los datos a graficar via AJAX y llama a la
funcion Graficar
// que actualiza las graficas con los nuevos datos
function doUpdate(){
function onDataReceived(series)
{
  data = series ; // guarda en variable global los datos recibidos
  Graficar(data); // actualiza los datos
}
$.ajax({ // funcion ajax que solicita datos al servidor de forma
asincrona
url: "aj.php?variable="+vari+"&span="+mensaje,
method: 'GET',

```

```

dataType: 'json',
success: onDataReceived
});
});

function Graficar(series) //metodo que grafica los datos en el area
correspondiente
{

var options = {
lines: { show: true, lineWidth: 2, fill: 1, fillColor: "rgba(233, 237,
244, 0.5)", lineColor: "blue"},
points: { show: false},
xaxis: { ticks: 6,mode: "time", tickLength: 5},
yaxis: { ticks: 8 },
selection: { mode: "x" },
colors: ["#93b2d8"]
};

    var placeholder = $("#placeholder");
    $.plot(placeholder, data, options);
var dl = [];
        var tMuestras = series.length;

        for (var i = 0; i < tMuestras; ++i)
            dl.push(series[i][1] );
            //dl = series[]
var lastDato = series[tMuestras-1][1];
        datos = [series] ;
        if(vari!="viento_direccion"){
            document.getElementById("maxvalue").innerHTML=
(MAX_(dl)*1.0).toFixed(1) + dimensional;
            document.getElementById("minvalue").innerHTML=
(MIN_(dl)*1.0).toFixed(1) + dimensional;
        }
        document.getElementById("promedio").innerHTML=
(PROMEDIO(dl)*1.0).toFixed(1) + dimensional;
        document.getElementById("ultimodato").innerHTML=
(lastDato*1.0).toFixed(1) + dimensional;

$.plot($("#placeholder"), datos, options);
/*
$(function () {
var options = {
lines: { show: true, lineWidth: 2, fill: 1, fillColor: "rgba(233, 237,
244, 0.5)", lineColor: "blue"},
points: { show: false},
xaxis: { ticks: 6,mode: "time", tickLength: 5},
yaxis: { ticks: 8 },
selection: { mode: "x" },
colors: ["#93b2d8"]
};

```

```

var placeholder = $("#placeholder");
$.plot(placeholder, [data], options);

});
*/

}
doUpdate();
//window.setInterval(doUpdate, 1000);

/*
$(function ini() {
    var options = {
        //lines: { show: true, fill: false },
        lines: { show: true, lineWidth: 2, fill: 1, fillColor: "rgba(233,
237, 244, 0.9)", lineColor: "blue"},
        points: { show: false },
        xaxis: { mode: "time", tickLength: 3 },
        selection: { mode: "x" },
        colors: ["#93b2d8", "#93b2d8", "#cb4b4b", "#4da74d", "#9440ed"]

    };
    data = [];
    var placeholder = $("#placeholder");
    $.plot(placeholder, data, options);

    function doUpdate(){
        $.plot(placeholder, data, options);

function onDataReceived(series) {
        // se llama a la script de php que busca en
        // la base de datos y devuelve los valores almacenados
        // para la variable solicitada

        var d1 = [];
var tMuestras = series.length;

        for (var i = 0; i < tMuestras; ++i)
            d1.push(series[i][1] );
        //d1 = series[]
var lastDato = series[tMuestras-1][1];

        data = [series] ;

        if(vari!="viento_direccion"){
            document.getElementById("maxvalue").innerHTML= MAX_(d1) +
dimensional;
            document.getElementById("minvalue").innerHTML= MIN_(d1) +
dimensional;
        }
        document.getElementById("promedio").innerHTML=
PROMEDIO(d1) + dimensional;
        document.getElementById("ultimodato").innerHTML= lastDato
+ dimensional;

```

```

$.plot($("#placeholder"), data, options);
    }
    $.ajax({
url: "aj.php?variable="+vari+"&span="+mensaje,
method: 'GET',
        dataType: 'json',
        success: onDataReceived
    });

};

doUpdate();
window.setInterval(doUpdate, 10000);
});
*/
</script>

```

```

<script>
// la funcion doUpdate realiza la peticion de datos a la script
"extraerdatos.php"
// para que le devuelva los datos a graficar via AJAX y llama a la
funcion Graficar
// que actualiza las graficas con los nuevos datos
function ActualizarActual(){

function ActualRecibido(series)
{

var datos = series ; // guarda en variable global los datos recibidos
var data = datos.split(',');

if(data[12]=="Listo"){

document.getElementById("ActualTemp").innerHTML=(data[0]*1.0).toFixed(1)+
" C"; //actualizar temperatura
//document.getElementById("ActualTemp").innerHTML= nextNearest(data[0],
.5) +" C"; //actualizar temperatura
document.getElementById("ActualVientoD").innerHTML=data[1]; //actualizar
direccion del viento
document.getElementById("ActualVientoV").innerHTML=(data[2]*3.6).toFixed(
2) + " Km/h"; //actualizar velocidad viento
document.getElementById("ActualHumedad").innerHTML=data[3] + " %";
//actualizar humedad
document.getElementById("ActualPresion").innerHTML=data[4] + " Bar";
//actualizar presion
document.getElementById("imagen").innerHTML='';
document.getElementById("ActualRocio").innerHTML=(data[5]*1.0).toFixed(2)
+ " C"; //actualizar punto de rocio
document.getElementById("ActualRadiacion").innerHTML=(data[6]*1.0).toFixe
d(2) + " watt/m<sup>2</sup>"; //actualizar radiacion

```

```

document.getElementById("sismo").innerHTML=(data[13]); //actualizar
radiacion

}

if(data[7]!=""){
document.getElementById("fechas").innerHTML= "Datos Recopilados hoy
"+data[7] + ", hora: "+data[8]; }//actualizar radiacion
else{document.getElementById("fechas").innerHTML= "No hay datos
recopilados Hoy";}

}

$.ajax({ // funcion ajax que solicita datos al servidor de forma
asincrona
url: "extraerActual.php?Cache="+parseInt(Math.random() * 99999999) ,
method: 'GET',
success: ActualRecibido
});

});

ActualizarActual(); // actualizar las variables mas recientes
window.setInterval(ActualizarActual, 10000);
</script>

<script>
function viewTemperatura()
{
if(vari!="temperatura")
{
document.getElementById("placeholder").innerHTML="<div
align='center'><img src='./images/loading.gif'></div>";
vari = "temperatura";
mensaje = "Temperatura";
dimensional = " C";
document.getElementById("maxspan").innerHTML="Temperatura Máxima";
document.getElementById("maxvalue").innerHTML= "N/A";
document.getElementById("minspan").innerHTML="Temperatura Mmin";
document.getElementById("minvalue").innerHTML= "N/A";
document.getElementById("chartitle").innerHTML="Temperaturas mostradas en
C";
document.getElementById("ultimodato").innerHTML= "N/A";
document.getElementById("promedio").innerHTML= "N/A";
}
doUpdate();
jQuery(document).ready(function() {
$("#launch").trigger('click');
});
}

function viewHumedad()
{
if(vari!="humedad_relativa"){

```

```

document.getElementById("placeholder").innerHTML="<div
align='center'><img src='./images/loading.gif'></div>";
vari = "humedad_relativa";
mensaje = "Humedad Relativa";
dimensional = " %";
document.getElementById("maxspan").innerHTML="Humedad Mjma";
document.getElementById("maxvalue").innerHTML= "N/A";
document.getElementById("minspan").innerHTML="Humedad Mma";
document.getElementById("minvalue").innerHTML= "N/A";
document.getElementById("chartitle").innerHTML="Humedad Mostrada en
Porcentaje %";
document.getElementById("ultimodato").innerHTML= "N/A";
document.getElementById("promedio").innerHTML= "N/A";
}
doUpdate();
jQuery(document).ready(function() {
    $("#launch").trigger('click');
});
}

function viewVientoV()
{
if(vari!="viento_velocidad"){
document.getElementById("placeholder").innerHTML="<div
align='center'><img src='./images/loading.gif'></div>";
vari = "viento_velocidad";
mensaje = "Velocidad del Viento";
dimensional = " m/s";
document.getElementById("maxspan").innerHTML="Velocidad Mjma";
document.getElementById("maxvalue").innerHTML= "N/A";
document.getElementById("minspan").innerHTML="Velocidad Mma";
document.getElementById("minvalue").innerHTML= "N/A";
document.getElementById("chartitle").innerHTML="Velocidad Mostrada en
metros por segundo m/s";
document.getElementById("ultimodato").innerHTML= "N/A";
document.getElementById("promedio").innerHTML= "N/A";
}
doUpdate();
jQuery(document).ready(function() {
    $("#launch").trigger('click');
});
}

function viewVientoD()
{
if(vari!="viento_direccion"){
document.getElementById("placeholder").innerHTML="<div
align='center'><img src='./images/loading.gif'></div>";
vari = "viento_direccion";
mensaje = "Direcci□el Viento";
dimensional = " grados";
document.getElementById("maxspan").innerHTML=" ";
document.getElementById("maxvalue").innerHTML= " ";
document.getElementById("minspan").innerHTML=" ";
document.getElementById("minvalue").innerHTML= " ";
}
doUpdate();
jQuery(document).ready(function() {
    $("#launch").trigger('click');
});
}

```

```

document.getElementById("charttitle").innerHTML="Direcci ostrada en grados
";
document.getElementById("ultimodato").innerHTML= "N/A";
document.getElementById("promedio").innerHTML= "N/A";
}
doUpdate();
jQuery(document).ready(function() {
    $("#launch").trigger('click');
});
}

```

```

function viewRadiacion()
{
if(vari!="radiacion"){
document.getElementById("placeholder").innerHTML="<div
align='center'><img src='./images/loading.gif'></div>";
vari = "radiacion";
mensaje = "Radiaci 
dimensional = " watt/m<sup>2</sup>";
document.getElementById("maxspan").innerHTML="Radiaci hma ";
document.getElementById("maxvalue").innerHTML= "N/A";
document.getElementById("minspan").innerHTML="Radiaci ma ";
document.getElementById("minvalue").innerHTML= "N/A ";
document.getElementById("charttitle").innerHTML="Radiaci ostrada en
watt/m^2 ";
document.getElementById("ultimodato").innerHTML= "N/A";
document.getElementById("promedio").innerHTML= "N/A";
}
doUpdate();
jQuery(document).ready(function() {
    $("#launch").trigger('click');
});
}

```

```

function viewPresion()
{
if(vari!="presion"){
document.getElementById("placeholder").innerHTML="<div
align='center'><img src='./images/loading.gif'></div>";
vari = "presion";
mensaje = "Presi 
dimensional = " bar";
document.getElementById("maxspan").innerHTML="Presi hma ";
document.getElementById("maxvalue").innerHTML= "N/A";
document.getElementById("minspan").innerHTML="Presi ma ";
document.getElementById("minvalue").innerHTML= "N/A ";
document.getElementById("charttitle").innerHTML="Presi ostrada en bar ";
document.getElementById("ultimodato").innerHTML= "N/A";
document.getElementById("promedio").innerHTML= "N/A";
}
doUpdate();
jQuery(document).ready(function() {
    $("#launch").trigger('click');
});
}

```

```

function viewRocio()
{
if(vari!="punto_rocio"){
document.getElementById("placeholder").innerHTML="<div
align='center'><img src='./images/loading.gif'></div>";
vari = "punto_rocio";
mensaje = "Punto de Roc;
dimensional = " C";
document.getElementById("maxspan").innerHTML="Punto de RocMjma ";
document.getElementById("maxvalue").innerHTML= "N/A";
document.getElementById("minspan").innerHTML="Punto de RocMma ";
document.getElementById("minvalue").innerHTML= "N/A ";
document.getElementById("charttitle").innerHTML="Punto de RocMostrada en C
";
document.getElementById("ultimodato").innerHTML= "N/A";
document.getElementById("promedio").innerHTML= "N/A";
}
doUpdate();
jQuery(document).ready(function() {
    $("#launch").trigger('click');
});
}

```

```
</script>
```

```

<script type="text/javascript">
    $(document).ready(function() {

        $("#a.get_info").fancybox({
            'overlayShow' : true,
            'transitionIn' : 'elastic',
            'transitionOut' : 'elastic',
            'titlePosition' : 'inside',
            'overlayColor' : '#000',
            'overlayOpacity' : 0.7,
            'autoScale': true
        });
    });

```

```
</script>
```

```

<script type="text/javascript">
jQuery(window).load(function() {
    jQuery("#nivoslider-54").nivoSlider({
        effect:"random",
        slices:15,
        boxCols:8,
        boxRows:4,
        animSpeed:1000,
        pauseTime:7000,
        startSlide:0,
        directionNav:true,
        directionNavHide:true,

```

```

        controlNav:false,
        controlNavThumbs:false,
        controlNavThumbsFromRel:true,
        keyboardNav:true,
        pauseOnHover:true,
        manualAdvance:false
    });
});
</script>

<body >

<div style="width:960px; margin:auto; margin-top:0px;">

</div>

<div style="width:960px; height:215px; position:relative; top:2px;
margin:auto; ">
<div class="slider-wrapper theme-default">
<div class="ribbon"></div>
<div id="nivoslider-54" class="nivoSlider">


<a href="http://uvg.edu.gt"></a>


</div>
<div id="htmlcaption" class="nivo-html-caption">
Visitanos <a href="http://www.uvg.edu.gt"> www.uvg.edu.gt</a>.
</div>
</div>
</div>

<div id="wrapper">

<header id="header"><!-- Se muestra la barra de links, con el acceso a
todas las secciones de la pagina-->
<nav id="nav">
<div class="menu-main-menu-container">
<ul id="menu-main-menu" class="menu">
<li class="menu-item"><a href="./nosotros.php"> Quiénes Somos?</a></li>
<li class="menu-item current-menu-item current_page_item"><a
href="./index.php"> Estado Actual</a></li>
<li class="menu-item "><a href="./historial.php"> Historial</a></li>
<li class="menu-item"><a href="./acercade.php"> Acerca del
Proyecto</a></li>
<li class="menu-item"><a href="./imagenes.php"> Imágenes</a></li>

```

```
</ul></div></nav>
</header>
```

```
<div id="main">
<div id="primary">
```

```
<div id="subheading">
<h2> Estado Actual de las Variables Climáticas </h2>
</div>
```

```
<div id="update" align="center" style="margin-top:20px;">
```

```
<input id="btnTemp" type="button" onclick="viewTemperatura()"
value="Temperatura">
<input id="btnHumedad" type="button" onclick="viewHumedad()"
value="Humedad Relativa">
<input id="btnHumedad" type="button" onclick="viewVientoV()"
value="Velocidad Viento">
<input id="btnHumedad" type="button" onclick="viewVientoD()"
value="Dirección">
<input id="btnHumedad" type="button" onclick="viewRadiacion()"
value="Radiación">
<input id="btnHumedad" type="button" onclick="viewPresion()"
value="Presión">
<input id="btnHumedad" type="button" onclick="viewRocio()" value="Punto
de Roc">
```

```
</div>
```

```
<div align="left" style="float:left; margin-top:25px; padding-left:55px;
min-width:60px;">
<a class="get_info" id="launch" href="#GRTemp" ">
</a>
</div>
```

```
<div class="variablesT" style="margin-top:20px;">
```

```
<table align="center" border="0">
<tr>
```

```
<td>
<div id="imagen" style="width:250px;"></div>
</td>
```

```
<td >
```

```
<h3 id="ActualTemp" class="temperatura" title="Temperatura -Click para
ver el comportamiento de hoy" onclick="viewTemperatura()"> -- C </h3>
<h3>Viento: <span id="ActualVientoD" class="variables"> -- </span><span
id="ActualVientoV" class="variables"></span></h3>
```

```

<h3>Humedad: <span id="ActualHumedad" class="variables"> -- </span><span
id="ActualVientoV" ></span></h3>
</td>

```

```

</tr>
</table>

```

```

</div>

```

```

<div id="OtrasVariables" style="margin-top:25px;">

```

```

<table align="center">
<tr>

```

```

<!-- Mostrar la variable Presion -->
<td >
<div class="variables1" style=" margin-top:20px;">

```

```

<h4> Presi□</h4>

```

```

<span id="ActualPresion" class="variables"> N/A </span>

```

```

</div>
</td>

```

```

<!-- Mostrar la variable Radiacion -->
<td>
<div class="variables1" style=" margin-top:20px;">

```

```

<h4> Radiaci□</h4>

```

```

<span id="ActualRadiacion" class="variables"> N/A </span>

```

```

</div>
</td>

```

```

<!-- Mostrar la variable Punto de Rocio -->
<td>
<div class="variables1" style="margin-top:20px;">

```

```

<h4 > Punto de Roc</h4>

```

```

<span id="ActualRocio" class="variables"> N/A </span>

```

```

</div>
</td>

```

```

</tr>

```

```

</table>

```

```

</div>

```

```

<div style="margin-left:150px; margin-top:25px;">

```

```

<h3>Informaci e Sismos:</h3>
<ul style="font-size:16px">
   tima intensidad registrada en escala de Mercalli Modificada: <span
id="sismo" style="position: relative; "> N/A</span>
</ul>
</div>

<div style="position:relative; margin-top:60px;">
<h3>Qu  es esto?</h3>
<ul>
<li>Son los datos m  recientes recopilados por la estaci eteorol a UVG.
<span class="lastUpdate" style="position: relative; "></span></li>
</ul>

<h3 id="fechas" ></h3>
<br>
<h3 id="estacion" class="variables" ><b>Estaci lt;/b> UVG Campus Central
Central</h3>
<h3 id="estacion" align="center" ><a
href="http://estacionmeteorologica.uvg.edu.gt">Cambiar Estaci t;/a></h3>
</div>

</div>
</div>

</div><!-- #main -->

<div id="maindivHistorico" class="historicos" style="width:650px;
display:none; overflow:none" >

<div id="GRTemp" align="center" style="width:650px;" align="center"
style="psition:absolute">

<h2 class="cblue" id="charttitle"> Temperaturas mostradas en C </h2>
<div id="placeholder" style="width:600px;height:320px;
padding:5px;"></div>

<div class="maxmin" style=" width:550px; margin-top:20px;">

<table>
<tr>

<td style="padding:10px;">
<p>
<span class="cblue" id="maxspan"> Temperatura maxima </span>
<span class="cblack" id="maxvalue"> -- </span>
</p>

<p>
<span class="cblue" id="minspan"> Temperatura minima </span>
<span class="cblack" id="minvalue"> -- </span>
</p>
</td>

```

```

<td style="padding:10px;">
<p>
<span class="cblue" > Promedio </span>
<span class="cblack" id="promedio"> -- </span>
</p>

<p>
<span class="cblue" >Último dato </span>
<span class="cblack" id="ultimodato"> -- </span>
</p>
</td>

</tr>

</table>

</div></div></div>

<footer id="footer">
<p>Torre Meteorológica UVG</p>
<!--
<ul id="menu-footer-menu" class="menu"><li id="menu-item-340"
class="menu-item-first menu-item menu-item-type-post_type menu-item-
object-page menu-item-340"><a
href="http://nivo.dev7studios.com/license/">License</a> |</li><li
id="menu-item-343" class="menu-item menu-item-type-post_type menu-item-
object-page menu-item-343"><a
href="http://nivo.dev7studios.com/refunds/">Refunds</a> |</li><li
id="menu-item-342" class="menu-item menu-item-type-post_type menu-item-
object-page menu-item-342"><a
href="http://nivo.dev7studios.com/privacy/">Privacy</a> |</li><li
id="menu-item-344" class="menu-item-last menu-item menu-item-type-
post_type menu-item-object-page menu-item-344"><a
href="http://nivo.dev7studios.com/contact/">Contact</a> |</li></ul>
-->
<p class="bottom">Departamento de Ingeniería Mecatrónica</p>
</footer>

</body>
</html>

```

2. CÓDIGO PÁGINA HISTORIAL

```

<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN"
"http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">
<!--
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA MECATRÓNICA
MEGAPROYECTO - ESTACIÓN METEOROLÓGICA - PÁGINA WEB

JEFFERSON ALEXANDER ESTRADA BARRIOS          05701
OCTUBRE DE 2011

```

```

-->
<html>
<head>
<?php
// se cargan las credenciales con la informacion de
include("credenciales.php");
?>
<metaname="viewport"content="width=device-width">
<title>ESTACION METEOROLOGICA UVG -HISTORIAL-</title>

<!-- Se importan los archivos de estilos en cascada CSS para el formato -
-->
<styletype="text/css"title="currentStyle">
@import "./css/demo_table_jui.css";
@import "./css/TableTools.css";
@import "./css/demos.css";
@import "./css/themes/blitzer/jquery-ui-1.8.13.custom.css";
@import "./css/style.css";
@import "./css/personal.css";
@import "./css/nivo-slider.css";
@import "./css/default/default.css";
</style>

<!-- Se importan todas las librerias JAVASCRIPT y JQUERY que se usan en
el proyecto -->
<scripttype="text/javascript"language="javascript"src="./media/js/jquery.
js"></script>
<scriptsrc="./js/jquery-ui.min.js"></script>

<scripttype="text/javascript"language="javascript"src="./media/js/jquery.
dataTables.js"></script>
<scripttype="text/javascript"charset="utf-
8"src="./media/js/ZeroClipboard.js"></script>
<scripttype="text/javascript"charset="utf-
8"src="./media/js/TableTools.js"></script>
<scripttype="text/javascript"src="./js/jquery.nivo.slider.pack.js"></scri
pt>

<scripttype="text/javascript"src="./js/jquery.flot.js"></script>
<scripttype="text/javascript"src="./js/jquery.flot.selection.js"></script
>
<scripttype="text/javascript"src="./js/ui/jquery.ui.core.js"></script>
<scripttype="text/javascript"src="./js/ui/jquery.ui.widget.js"></script>
<scripttype="text/javascript"src="./js/ui/jquery.ui.datepicker.js"></scri
pt>
<scripttype="text/javascript"src="./js/ui/jquery.ui.button.js"></script>

<!-- Comienza el c o en formato javascript para realizar las peticiones
de -->
<!-- Contenido dinamico en la pagina y graficar los datos. -->
<script>
// habilitar la funcion del calendario emergente en el
// textbox para las fechas iniciales y finales de busqueda
$(function() {

```

```

$( "#datepicker" ).datepicker();
$( "#datepicker2" ).datepicker();
});

// habilitar los radio button para utilizar la libreria de
// jquery y mejorar el aspecto predeterminado
$(function() {
$( "#radio" ).buttonset();
});

<?php date_default_timezone_set("America/Guatemala"); ?>
// variables globales que se usan en la pagina
var vari = "temperatura"; // para indicar la variable a graficar
var date1 = <?php $tomorrow = mktime(0,0,0,date("m"),date("d")-
7,date("Y")); echo ''.date("Y-m-d", $tomorrow).'";';?> // fecha inicial
de las busquedas
var date2 = <?php echo ''.date("Y-m-d").'";';?> // fecha final de las
busquedas
var data = []; // arreglo con los datos a graficar via AJAX
var overview ="";
var plot ="";

function rTemp() // graficar los datos de temperatura
{
document.getElementById("placeholder").innerHTML = "<div
align='center'><img src='./images/loading.gif'></div>";
document.getElementById("overview").innerHTML = "";
vari = "temperatura";
document.getElementById("mainTitle").innerHTML = "Temperatura ( C )";
setTimeout("doUpdate()", 200); //actualiza la grafica luego de la
animacion
}

function rPresion() // graficar los datos de presion
{
document.getElementById("placeholder").innerHTML = "<div
align='center'><img src='./images/loading.gif'></div>";
document.getElementById("overview").innerHTML = "";
vari = "presion";
document.getElementById("mainTitle").innerHTML = "Presi□ bar )";
setTimeout("doUpdate()", 200); //actualiza la grafica luego de la
animacion
}

function rVientoDir() // graficar la direccion del viento
{
document.getElementById("placeholder").innerHTML = "<div
align='center'><img src='./images/loading.gif'></div>";
document.getElementById("overview").innerHTML = "";
vari = "viento_direccion";
document.getElementById("mainTitle").innerHTML = "Direccion del Viento (
grados )";
setTimeout("doUpdate()", 200); //actualiza la grafica luego de la
animacion
}

```

```

function rVientoVel() // graficar la velocidad del viento
{
document.getElementById("placeholder").innerHTML = "<div
align='center'><img src='./images/loading.gif'></div>";
document.getElementById("overview").innerHTML = "";
vari = "viento_velocidad";
document.getElementById("mainTitle").innerHTML = "Velocidad del Viento (
m/s )";
setTimeout("doUpdate()", 200); //actualiza la grafica luego de la
animacion
}

function rRadiacion() // graficar la radiacion
{
document.getElementById("placeholder").innerHTML = "<div
align='center'><img src='./images/loading.gif'></div>";
document.getElementById("overview").innerHTML = "";
vari = "radiacion";
document.getElementById("mainTitle").innerHTML = "Radiaci□ Watt/m^2 )";
setTimeout("doUpdate()", 200); //actualiza la grafica luego de la
animacion
}

function rHumedad() // graficar la humedad relativa
{
document.getElementById("placeholder").innerHTML = "<div
align='center'><img src='./images/loading.gif'></div>";
document.getElementById("overview").innerHTML = "";
vari = "humedad_relativa";
document.getElementById("mainTitle").innerHTML = "Humedad Relativa ( %
)";
setTimeout("doUpdate()", 200); //actualiza la grafica luego de la
animacion
}

function rPuntoRocio() // graficar el punto de rocio calculado
{
document.getElementById("placeholder").innerHTML = "<div
align='center'><img src='./images/loading.gif'></div>";
document.getElementById("overview").innerHTML = "";
vari = "punto_rocio";
document.getElementById("mainTitle").innerHTML = "Punto de Roc( C )";
setTimeout("doUpdate()", 200); //actualiza la grafica luego de la
animacion
}

// la funcion doUpdate realiza la peticion de datos a la script
"extraerdatos.php"
// para que le devuelva los datos a graficar via AJAX y llama a la
funcion Graficar
// que actualiza las graficas con los nuevos datos
function doUpdate(){
function onDataReceived(series)
{
data = [series] ; // guarda en variable global los datos recibidos
Graficar(); // actualiza los datos
}
}

```

```

}
$.ajax({ // funcion ajax que solicita datos al servidor de forma
asincrona
url: "extraerdatos.php?variable="+vari+"&date1="+date1+"&date2="+date2,
method: 'GET',
dataType: 'json',
success: onDataReceived
});
});

// la funcion doUpdate2 se encarga de pedir los datos para actualizar la
tabla, la diferencia
// con doUpdate es que se devuelve una tabla completa, y se actualiza el
contenido en la
// seccion disponible para la tabla. tambien se actualiza la referencia
JQUERY para que se
// pueda navegar en la tabla y realizar la descarga de los datos.
function doUpdate2(){
function onDataReceived(series) {

document.getElementById("tablaDatos").innerHTML = series;
$('#display').dataTable
( {
"bJQueryUI": true,
"sPaginationType": "full_numbers",
"sDom": '<"H"Tl>t<"F"ip>',
"oTableTools":
{
"aButtons": [{
"sExtends": "collection",
"sButtonText": " Descargar Datos",
"aButtons": [ "xls", "pdf" ]
}]
}
} );

}

$.ajax({ // funcion ajax que solicita datos al servidor de forma
asincrona
url: "extraerTabla.php?variable="+vari+"&date1="+date1+"&date2="+date2,
method: 'GET',
success: onDataReceived
});
});

function Graficar() //metodo que grafica los datos en el area
correspondiente
{
$("#area_graficas").fadeOut(10);
$(function () {
var options = {
lines: { show: true, lineWidth: 2, fill: 1, fillColor: "rgba(233, 237,
244, 0.5)", lineColor: "blue"},
points: { show: false},
xaxis: { ticks: 6,mode: "time", tickLength: 5},
yaxis: { ticks: 8 },

```

```

selection: { mode: "x" },
colors: ["#93b2d8"]
};
plot = $.plot($("#placeholder"), data, options);
overview = $.plot($("#overview"), data, {
series: {
lines: { show: true, lineWidth: 1 },
shadowSize: 0
},
xaxis: { ticks: [], mode: "time" },
yaxis: { ticks: [], min: 0, autoscaleMargin: 0.1 },
selection: { mode: "x" }
});

// placeholder es la division en la que se grafican los datos
$("#placeholder").bind("plotselected", function (event, ranges) {
// hacer el zoom en el area seleccionada
plot = $.plot($("#placeholder"), data,
$.extend(true, {}, options, {
xaxis: { min: ranges.xaxis.from, max: ranges.xaxis.to }
}));
overview.setSelection(ranges, true);
});
// overview es la grafica pequeña que sirve para visualizar
// todos los datos de una mejor manera
$("#overview").bind("plotselected", function (event, ranges) {
plot.setSelection(ranges);
});
//$("#area_graficas").show("scale", {}, 1000);
$("#area_graficas").fadeIn(1000);
}); }

doUpdate(); // actualizar la grafica al cargar la pagina
doUpdate2(); // actualizar la tabla al cargar la pagina

// ObtenerDatos es una funcion que realiza la actualizacion de la
// grafica y la tabla dependiendo de las fechas seleccionadas por
// el usuario.
function ObtenerDatos(boton)
{
date1=document.getElementById("datepicker").value+"";
date2=document.getElementById("datepicker2").value+"";

var d1 = new Date(date1); // crea un objeto date para comparara las
fechas
var d2 = new Date(date2); // crea un objeto date para comparara las
fechas

var milli_d1 = d1.getTime();
var milli_d2 = d2.getTime();

if(milli_d1>milli_d2)
{
alert("La fecha inicial debe ser menor a la final");
return false;
}
}

```

```

var date_array =date1.split("/"); // separar la fecha para cambiar el
formato
date1 = (date_array[2] + "-" +date_array[0] + "-" + date_array[1]);
var date_array =date2.split("/"); // separar la fecha para cambiar el
formato
date2 = (date_array[2] + "-" +date_array[0] + "-" + date_array[1]);
alert("Mostrar datos desde fecha: "+date1+" hasta "+date2);
document.getElementById("placeholder").innerHTML = "<div
align='center'><img src='./images/loading.gif'></div>";
document.getElementById("overview").innerHTML = "";
setTimeout("doUpdate()", 200);//actualiza la grafica luego de la
animacion
setTimeout("doUpdate2()", 200);//actualiza la tabla luego de la animacion
}
</script>

```

```

<!-- Para mostrar la animacion de publicidad se utiliza
la libreria de NIVO-SLIDER, no se utiliza flash por lo que
es compatible con todos los dispositivos que soporten un
navegador web -->

```

```

<scripttype="text/javascript">
jQuery(window).load(function(){
jQuery("#nivoslider-54").nivoSlider({
effect:"random",
slices:15,
boxCols:8,
boxRows:4,
animSpeed:500,
pauseTime:3000,
startSlide:0,
directionNav:true,
directionNavHide:true,
controlNav:false,
controlNavThumbs:false,
controlNavThumbsFromRel:true,
keyboardNav:true,
pauseOnHover:true,
manualAdvance:false
});
});
</script>
</head>

```

```

<body>

```

```

<divstyle="width:960px; margin:auto; margin-top:0px;">
<imgsrc="./images/uvgfondo.png"width="960px;"/>
</div>

```

```

<divstyle="width:960px; height:215px; position:relative; top:2px;
margin:auto; ">
<divclass="slider-wrapper theme-default">
<divclass="ribbon"></div>
<divid="nivoslider-54"class="nivoSlider">
<imgsrc="images/1.jpg"width="960px"alt=""title="Cuidar el Medio Ambiente
es nuestro deber, ayudanos!"/>

```

```

<imgsrc="images/2.jpg"width="960px"alt=""/>
<a href="http://uvg.edu.gt"><imgsrc="images/3.jpg"width="960px"alt=""/></a
>
<imgsrc="images/4.jpg"width="960px"alt=""/>
<imgsrc="images/5.jpg"width="960px"alt=""title="#htmlcaption"/>
</div>
<div id="htmlcaption" class="nivo-html-caption">
Visitanos <a href="http://www.uvg.edu.gt"> www.uvg.edu.gt</a>.
</div>
</div>
</div>
<div id="wrapper">

<header id="header"><!-- Se muestra la barra de links, con el acceso a
todas las secciones de la pagina-->

<nav id="nav">
<div class="menu-main-menu-container">
<ul id="menu-main-menu" class="menu">
<li class="menu-item"><a href="./nosotros.php"> Quiéness Somos?</a></li>
<li class="menu-item "><a href="./index.php"> Estado Actual</a></li>
<li class="menu-item current-menu-item
current_page_item"><a href="./historial.php"> Historial</a></li>
<li class="menu-item"><a href="./acercade.php"> Acerca del
Proyecto</a></li>
<li class="menu-item"><a href="./imagenes.php"> Imágenes</a></li>
</ul></div></nav>
</header>
</div>

<div id="main"><!-- Division principal, contiene todos los componentes de
la seccion historial de la pagina -->

<div id="subheading">
<h2>INFORMACIÓN RECOPIADA </h2>
</div>

<!--
*****
***** -->

<!-- Conjunto de radio button para elegir la variable que se quiere
graficar, utilizan la libreria -->
<!-- radio de JQUERY para mejorar el aspecto por defecto y dar una
apariencia mas profesional -->

<div align="center" style="margin-top:10px;">
<div id="radio">
<input type="radio" onclick="rTemp()" id="radio1" name="radio" checked="checke
d"/><label for="radio1">Temperatura</label>
<input type="radio" onClick="rPresion()" id="radio2" name="radio"/><label for=
"radio2">Presion</label>
<input type="radio" onClick="rVientoVel()" id="radio3" name="radio"/><label fo
r="radio3">Velocidad Viento</label>

```

```

<input type="radio" onClick="rVientoDir()" id="radio4" name="radio"/><label for="radio4">Direccio el Viento</label>
<input type="radio" onClick="rHumedad()" id="radio5" name="radio"/><label for="radio5">Humedad Relativa</label>
<input type="radio" onClick="rPuntoRocio()" id="radio6" name="radio"/><label for="radio6">P. Roc</span></label>
<input type="radio" onClick="rRadiacion()" id="radio7" name="radio"/><label for="radio7">Radiacio</span></label>

</div>
</div>

<div align="center" style="margin-top: 20px;">
<div align="center" id="area_graficas" style="height: 500px;">
<h1 class="cblue" id="mainTitle"> Temperatura C </h1>
<div id="placeholder" style="width: 600px; height: 300px;"></div>
<h1 class="cblue"> Navegar por toda la informacio recopilada</h1>
<div id="overview" style="margin-top: 20px; width: 600px; height: 60px;"></div>
</div>

<!-- Mostrar el formulario con los campos para solicitar datos en -->
<!-- una fecha determinada -->
<h1 class="cblue"> Buscar datos por fecha </h1>
<div align="center" style="border: 1px solid silver; padding: 20px; width: 600px;">
<table style="position: relative ; ">
<tr>
<td width="20%" style="vertical-align: middle;">
<!-- mostrar fecha inicial titulo-->
<span class="fechas">
<b>Fecha Inicial</b></span>
</td>

<td width="20%" style="vertical-align: middle;">
<!-- mostrar dialogo para elejir la fecha-->
<input type="text" id="datepicker" size="15">
</td>

<td width="20%" style="vertical-align: middle;">
<!-- mostrar dialogo para elejir la fecha inicial-->
<span class="fechas"><b>Fecha Final</b></span>
</td>

<td width="20%" style="vertical-align: middle;">
<!-- mostrar dialogo para elejir la fecha final-->
<input type="text" id="datepicker2" size="15">
</td>

</tr>
</table>

<script>
// ingresar a los campos de busqueda la fecha actual
var date_array = date1.split("-"); // separar la fecha para cambiar el formato
document.getElementById("datepicker").value = (date_array[1] + "/" + date_array[2] + "/" + date_array[0]);
var date_array = date2.split("-"); // separa la fecha para cambiar el formato
document.getElementById("datepicker2").value = (date_array[1] + "/" + date_array[2] + "/" + date_array[0]);

```

```

</script>

</td>

<!-- Boton de Buscar Datos por fecha, llama a la funcion de ObtenerDatos
-->
<tdwidth="20%"style="vertical-align: middle;">
<inputid="Procesar"type="button"onclick="ObtenerDatos()"value="BUSCAR"style="padding:15px;">
</td></font></td>
</tr>
</table>
</div>

</div>

<!-- AREA DESTINADA A MOSTRAR LA TABLA DE DATOS -->
<!-- Se encuentra vacia, el contenido se actualiza dinamicamente -->
<!-- utilizando AJAX llamado desde la funcion doUpdate2() -->
<divid="tablaDatos"style="margin-top:20px;"></div>
</div>

<!-- mostrar el pie de pagina, con la informacion acerca del proyecto -->
<footerid="footer">
<p><b> Torre Meteorológica UVG </b>
<p>Departamento de Ingeniería Mecatrónica</p>
<p>Desarrollado por Jefferson Estrada</p>
</p>
</footer>
</body>
</html>

```

M. ANEXO 12 – ¿QUIÉNES SOMOS?

Somos un grupo de 5 jóvenes emprendedores, líderes en nuestro campo, que aceptamos el reto propuesto por la Universidad del Valle de Guatemala, de construir una estación meteorológica que pudiera medir 8 variables climáticas, utilizar y optimizar el uso de la energía solar como única fuente de alimentación, crear un sistema en línea para hacer pública la información obtenida, y ayudar a los diferentes centros de estudios brindándoles una fuente confiable y actualizada de información.

Debido a la complejidad del proyecto, se ha dividido en 5 módulos principales, los cuales son:

1. CONFIGURACIÓN DEL SERVIDOR CENTRAL, MÓDULO DE COMUNICACIÓN Y PÁGINA WEB



Nombre: Jefferson Alexander Estrada

Edad: 23 años

Profesión: Ingeniero Mecatrónico

Especialidad: Automatización industrial, diseño de sistemas de control, programación de micro-controladores y plc, creación de circuitos impresos o tarjetas electrónicas, sistemas en línea, desarrollo de páginas web dinámicas y bases de datos, desarrollo de software.

Información y contrataciones: jefferson.estrada@gmail.com

2. MÓDULO PRINCIPAL, CIRCUITOS IMPRESOS Y RECOLECCIÓN DE DATOS



Nombre: Jose Alberto Cordón Hemmerling

Edad: 22 años

Profesión: Ingeniero Mecatrónico

Especialidad: Automatización industrial, diseño de sistemas de control, programación de micro-controladores y plc, sistemas en línea, manejo de bases de datos, implementación de protocolos internos de comunicación, diseño e implementación de circuitos impresos.

Información y contrataciones: jach250@gmail.com

3. MÓDULO ALIMENTACIÓN Y PANEL SOLAR



Nombre: Luis Carlos Mérida

Edad: 23 años

Profesión: Ingeniero Mecatrónico

Especialidad: Automatización industrial, diseño de sistemas de control, programación de micro-controladores y plc, desarrollo de software.

Información y contrataciones: merida_luis@hotmail.com

4. MÓDULO DE SENSORES



Nombre: Fernando Estrada Samayoa

Edad: 23 años

Profesión: Ingeniero Mecatrónico

Especialidad: Automatización industrial, sistemas de control, programación de micro-controladores y plc, desarrollo de software, bases de datos sql, diseño e implementación de circuitos impresos, instrumentación electrónica y reacondicionamiento de maquinaria.

Información y contrataciones: fersamayoa@gmail.com

5. ESTRUCTURA Y ORIENTACIÓN AUTOMÁTICA DEL PANEL SOLAR



Nombre: Jose Pablo Cruz

Edad: 23 años

Profesión: Ingeniero Mecatrónico

Especialidad: Automatización industrial, sistemas de control, programación de micro-controladores y plc, diseño mecánico a través de computadora, desarrollo de software, diseño e implementación de circuitos impresos.

Información y contrataciones: josepacruz.18@gmail.com

XII. GLOSARIO

- **RAM:** También llamada memoria de acceso aleatorio, es la memoria desde donde el microcontrolador recibe las instrucciones y guarda los resultados.
- **ROM:** Es la memoria de solo lectura, es un medio de almacenamiento utilizado en los microcontroladores que permite solo la lectura de la información y no su escritura, independientemente de la presencia o no de una fuente de energía.
- **EPROM:** (*Erasable Programmable Read-Only Memory*) Es un tipo de chip de memoria ROM solo que puede ser borrada y puede almacenar información por diez a veinte años en un microcontrolador.
- **BUS:** es un sistema digital que transfiere datos entre los componentes de una computadora o entre computadoras. Está formado por cables o pistas en un circuito impreso, dispositivos como resistores y condensadores además de circuitos integrados.
- **MICROCONTROLADOR:** Es un circuito integrado que incluye en su interior las tres unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada y salida, y a su vez puede ser programable.
- **COMUNICACIÓN HALF-DUPLEX:** Significa que el método o protocolo de envío de información es bidireccional pero no simultáneo.
- **COMUNICACIÓN DUPLEX:** Se define como un sistema que es capaz de mantener una comunicación bidireccional, enviando y recibiendo mensajes de forma simultánea. La capacidad de transmitir en modo dúplex está condicionado por varios niveles.
- **COMUNICACIÓN SIMPLEX:** Sólo permiten la transmisión en un sentido.
- **INTERFAZ:** es la conexión entre dos ordenadores o máquinas de cualquier tipo dando una comunicación entre distintos niveles.
- **CABLE TP:** (Cable de par trenzado) es un medio de conexión usado en telecomunicaciones en el que dos conductores eléctricos aislados son

- entrelazados para anular las interferencias de fuentes externas y diafonía de los cables adyacentes.
- **PROTOCOLO:** conjunto de estándares que controlan la secuencia de mensajes que ocurren durante una comunicación entre entidades que forman una red.
- **CODIFICACIÓN:** Es el proceso de conversión de un sistema de datos de origen a otro sistema de datos de destino. De ello se desprende como corolario que la información contenida en esos datos resultantes deberá ser equivalente a la información de origen.
- **DECODIFICACIÓN:** Es el proceso por el cual se convierten símbolos en información entendible por el receptor. Su proceso contrario es la codificación.
- **BAUDIO:** Es una unidad de medida, usada en telecomunicaciones, que representa la cantidad de veces que cambia el estado de una señal en un periodo de tiempo, tanto para señales digitales como para señales analógicas.
- **MHZ:** (Megahercio) se utiliza muy frecuentemente como unidad de medida de la frecuencia de trabajo de un dispositivo de hardware, o bien como medida de ondas electromagnéticas en telecomunicaciones.
- **MEDIA:** Cociente de dividir la suma de varias cantidades por el número de ellas.
- **MEDIANA:** Elemento de una serie ordenada de valores crecientes de forma que la divide en dos partes iguales, superiores e inferiores a él.
- **MODA:** es el valor con una mayor frecuencia en una distribución de datos.
- **DESVIACIÓN ESTÁNDAR:** Se define como la raíz cuadrada de la varianza. Junto con este valor, la desviación típica es una medida (cuadrática) que informa de la media de distancias que tienen los datos respecto de su media aritmética, expresada en las mismas unidades que la variable.

- **VARIANZA:** Es el resultado de la división de la sumatoria de las distancias existentes entre cada dato y su media aritmética elevadas al cuadrado, y el número total de datos.
- **DIAGRAMA DE CAJAS:** Es una gráfica que presenta un solo eje. En este se representan cinco valores: los valores mínimo y máximo, el primer y tercer cuartil y la mediana de una serie de datos.
- **CUARTIL:** Valor que divide un conjunto ordenado de datos estadísticos de forma que un porcentaje de tales datos sea inferior a dicho valor.
- **WEB:** Procede de "World Wide Web" se refiere a una red o telaraña mundial, que comprende el conjunto de todas las páginas que pueden consultarse a través de internet.
- **HTML:** Formato en el que se presentan las páginas web, necesita un procesador de hipertexto o navegador para ser interpretado y renderizado correctamente.
- **PHP:** Lenguaje de programación en el lado del servidor, posee capacidad de conectarse con bases de datos y crear contenido dinámico para generar código html y enviarlo al cliente.
- **SQL:** Lenguaje de consulta estructurado por sus siglas en structured query language. Es utilizado para realizar consultas a las bases de datos tanto para SQL como para MySQL.
- **QUERY:** Cadena de texto que se utiliza para realizar una conexión a una base de datos o realizar la consulta, está escrita en lenguaje SQL.
- **AJAX:** Método de actualización dinámica de forma asincrónica, Ajax es acrónimo de Asynchronous JavaScript And XML, y utiliza consultas a scripts de PHP para obtener una respuesta del servidor y actualizar un elemento en específico.
- **BYTE:** Medida de tamaño de información, un byte son 8 bits, y un bit es un número binario que puede ser cero o uno. Cada carácter de un texto tiene el tamaño de 1 byte.

- **GB:** Giga-byte, es una medida de tamaño de información, corresponde a 1×10^9 bytes.
- **FOTORESISTENCIA:** Componente electrónico cuya resistencia disminuye con el aumento de intensidad de luz incidente. [10]
- **FOTODIODO:** Es un semiconductor construido con una unión PN, sensible a la incidencia de la luz visible o infrarroja. Para que su funcionamiento sea correcto, se polariza inversamente, con lo que se producirá una cierta circulación de corriente cuando sea excitado por la luz. [10]
- **TRANSDUCTOR:** Dispositivo capaz de transformar un tipo de energía de entrada a otro distinto de salida.
- **CENTRO DE GRAVEDAD:** Punto en donde se puede considerar concentrada toda la masa de un sistema. Punto en donde se puede aplicar una fuerza y producir un movimiento de traslación pura.