

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Diseño de la implementación de CPU, profibus, flipones, HMI
y botonería en cuatro tableros de control didácticos para uso
en la Universidad del Valle de Guatemala**

Trabajo de graduación presentado por Karla Michelle Morales González
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2021

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Diseño de la implementación de CPU, profibus, flipones, HMI
y botonería en cuatro tableros de control didácticos para uso
en la Universidad del Valle de Guatemala**

Trabajo de graduación presentado por Karla Michelle Morales González
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2021

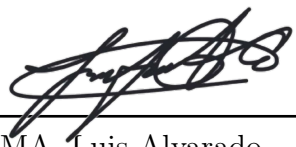
Vo.Bo.:

(f) 
Ing. Kurt Kellner

Tribunal Examinador:

(f) 
Ing. Kurt Kellner

(f) 
MAEB. Otto Girón

(f) 
MA. Luis Alvarado

Fecha de aprobación: Guatemala, 20 de enero de 2021.

El siguiente trabajo surge debido al incremento en la población estudiantil dentro del departamento de Ingeniería Electrónica, Mecatrónica y Biomédica de la Universidad del Valle de Guatemala. En el cual se busca desarrollar manuales para la construcción de cuatro nuevos tableros de control didáctico, esto con el fin de que todos los estudiantes pertenecientes al departamento logren un aprendizaje óptimo y completo con los mismos. Enfocándose principalmente en la implementación del CPU, profibus, flipones, HMI y botonería de los tableros.

El desarrollo de este trabajo no hubiera sido posible sin el apoyo constante de todas las personas que me han ayudado a lo largo de esta etapa de mi vida. Que hasta el último momento me han animado a seguir adelante y confiar en mis capacidades. Infinitas gracias a todos aquellos que han puesto su granito de arena y me han hecho mejorar como persona.

Prefacio	III
Lista de figuras	VI
Lista de cuadros	VII
Resumen	VIII
Abstract	IX
1. Introducción	1
2. Antecedentes	2
3. Justificación	4
4. Objetivos	5
5. Alcance	6
6. Marco teórico	7
7. Estándares de cableado	16
7.1. Código de color	16
7.2. Códigos de etiquetado	17
7.3. Dimensionamiento de cables	18
7.4. Profibus DP	22
8. Fase de diseño	25
8.1. Diagramas unifilares	25
8.2. Diseño 3D	27

9. Resultados	31
9.1. Listado de componentes	31
9.2. Manual de instalación	34
9.3. Manual de usuario	36
10. Conclusiones	37
11. Recomendaciones	38
12. Bibliografía	39
13. Anexos	41
13.1. Diagramas unifilares	41
13.2. Manual de instalación	41
13.3. Manual de usuario	41
14. Glosario	42

Lista de figuras

1.	Índice del manual de usuario	1
2.	Distribución actual de los tableros de control didáctico	3
3.	Fotografía de los tableros de control actuales	3
4.	Render del modelo CAD elaborado en el presente trabajo	15
5.	Ampacidad permisible para cordones y cables flexibles [A temperatura ambiente de 30°C]	19
6.	Factores de corrección para instalaciones eléctricas de baja tensión UNE-HD 60364-5-52:2014	19
7.	Distribución propuesta del tablero	21
8.	Correcta preparación de las terminaciones del cable Profibus DP	23
9.	Resistencia terminal para los extremos del cable profibus	24
10.	Sección HMI de los diagramas unifilares	26
11.	Sección de distribución de los diagramas unifilares	26
12.	Modelo 3D del tablero de control industrial	27
13.	Modelo 3D de la estructura del tablero	27
14.	Modelo 3D de los componentes de alimentación	28
15.	Modelo 3D de los componentes del sistema lógico	28
16.	Modelo 3D de los componentes del sistema lógico (relés, salidas digitales)	28
17.	Modelo 3D de los componentes del sistema de control	29
18.	Modelo 3D de los componentes de HMI-pantalla	29
19.	Modelo 3D de los componentes de HMI-botonería	29
20.	Interfaz HelpNDoc 6	35
21.	Índice del manual de instalación	35
22.	Índice del manual de usuario	36

Lista de cuadros

1.	Código de color en cableado para corriente alterna (AC), según el estándar IEC [2]	8
2.	Código de color en cableado para corriente directa (DC), según el estándar IEC [2]	8
3.	Código de color en cableado para corriente alterna (AC), según el estándar UK [2]	8
4.	Código de color en cableado para corriente alterna (AC), según el estándar US [2]	9
5.	Código de color en cableado para corriente directa (DC), según el estándar US [2]	9
6.	Código de color en cableado para corriente alterna (AC), según el estándar Canadiense [2]	9
7.	Diámetros y áreas de los conductores en estándar AWG	10
8.	Resistencia eléctrica y máxima corriente admisible en los conductores bajo el estándar AWG	11
9.	Código de colores seleccionado	17
10.	Código de etiquetado seleccionado	17
11.	Calibres seleccionados luego de aplicar los factores de corrección	20
12.	Longitudes estimadas de los conductores	21
13.	Características del Profibus DP	23
14.	Longitudes permitidas para las subredes Profibus [14]	24
15.	Componentes del submódulo estructura	31
16.	Componentes del submódulo alimentación	32
17.	Componentes del submódulo sistema lógico	32
18.	Componentes del submódulo control	32
19.	Componentes del submódulo HMI	33
20.	Componentes complementarios	33
21.	Componentes de cableado	33
22.	Tornillería utilizada para el montaje	34
23.	Cantidad de cable por calibre y color	34

El presente trabajo surge debido a la necesidad de nuevo material didáctico para el aprendizaje de los estudiantes del departamento de Ingeniería Electrónica, Mecatrónica y Biomédica de la Universidad del Valle de Guatemala. Debido a un crecimiento poblacional estudiantil y con la construcción del nuevo edificio CIT, la universidad se vio con la necesidad de ampliar la cantidad de tableros de control industrial a disposición de los estudiantes y maestros del área. En el presente trabajo tiene como objetivo principal ejemplificar el proceso de implementación del CPU, botononería, HMI, Profibus y flipones de los cuatro nuevos tableros de control didáctico que se construirán.

Actualmente, el departamento cuenta con seis tableros de control disponibles, los cuales fueron la base para investigar estándares de color, etiquetado y calibre de cables. Así mismo, se realizaron los diagramas unifilares de los nuevos tableros en AutoCAD Electrical 2020 utilizando como base a la normativa IEC, y tomando como un punto de partida los diagramas que se tenían disponibles previamente.

Con base en la investigación previa se realizó el modelo 3D en Autodesk Inventor 2019 y se generó un listado de componentes del tablero. También se elaboró un manual de usuario y un manual de implementación con las especificaciones necesarias para la construcción de los tableros de control.

This work arises due to the need for new didactic material for the learning of students from the Department of Electronic, Mechatronics and Biomedical Engineering of the Universidad del Valle de Guatemala. Due to a growing student population and with the construction of the new CIT building, the university was faced with the need to expand the number of industrial control panels available to students and teachers in the area. The main objective of this work is to exemplify the process of implementation of the CPU, pushbuttons, HMI, Profibus and breakers of the four new didactic control boards that will be built.

Currently, the department has six dashboards available, which were the basis for researching wire gauge, labeling and color standards. Likewise, the one-line diagrams of the new boards were made in AutoCAD Electrical 2020 using the IEC standard as a basis, and taking as a starting point the diagrams that were previously available.

Based on the previous research, the 3D model was made in Autodesk Inventor 2019 and a list of components of the board was generated. A user manual and an implementation manual were also prepared with the necessary specifications for the construction of the control panels.

CAPÍTULO 1

Introducción

Los avances tecnológicos que se han dado en las últimas décadas han permitido que los procesos industriales cada vez sean más eficientes. Una gran parte de esta mejora se debe a la automatización de dichos procesos. Por esta razón es importante que los estudiantes de las ingenierías mecatrónica y electrónica tengan un conocimiento amplio de las herramientas de este entorno.

Por esto, el objetivo principal de este proyecto es diseñar tableros de control didáctico que van estrictamente dirigidos a mejorar el aprendizaje de los estudiantes en el ámbito de la automatización. Y se centra en los estudiantes del departamento de Ingeniería Electrónica, Mecatrónica y Biomédica de la Universidad del Valle de Guatemala.

Para poder llevar a cabo lo mencionado anteriormente se plantearon distintos objetivos con el fin de poder cubrir las distintas áreas del proyecto. Estas metas u objetivos consistieron en realizar un proceso de investigación de las diferentes normativas y técnicas que utilizan en las instalaciones de estos equipos además de investigar e implementar técnicas de instalación de cable profibus.

Luego de tener conocimiento de las diferentes normativas, se realizó el diseño de diagramas unifilares de los tableros utilizando el software de AutoCAD Electrical y sus herramientas para luego poder realizar el modelo en 3D del tablero para una mejor visualización de lo que se busca obtener detallando de manera clara todos los componentes que esto conlleva. Por último se realizó un manual con las especificaciones necesarias para la construcción del módulo mencionado en el presente trabajo.

En 2014, la empresa guatemalteca ESINSA, diseñó e implementó seis tableros industriales para uso didáctico, con los cuales cuenta actualmente el departamento de Ingeniería Electrónica, Mecatrónica y Biomédica de la Universidad del Valle de Guatemala. Estos, junto a sus diagramas unifilares, sirvieron como referencia para poder llevar a cabo el siguiente trabajo.

Estos tableros no cuentan con ninguna clase de normativa para la selección de color y etiquetado de los cables. Por esta razón es difícil para los estudiantes el poder identificar la vía de los cables durante las prácticas.

Así mismo, la distribución de algunos grupos de borneras no es la más óptima para lograr tener un orden en los grupos de cables, o para la accesibilidad del uso de las mismas. Tal y como se puede ver en la Figura 2.

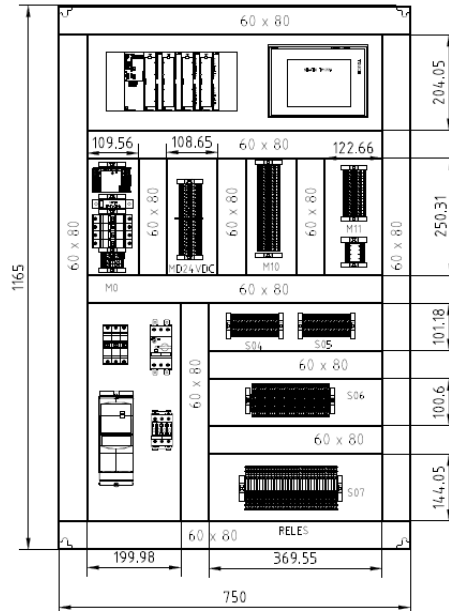


Figura 2: Distribución actual de los tableros de control didáctico

Los tableros actuales cuentan con los módulos de control, sistema lógico, HMI, Alimentación y estructural. En los cuales se encuentran el PLC, fuentes AC y DC, disyuntores, contactores, botones, variador de frecuencia, pantalla táctil y piezas como borneras, terminales, canaletas, entre otros, como se observa en la Figura 3.



Figura 3: Fotografía de los tableros de control actuales

Los diagramas unifilares fueron diseñados bajo la normativa IEC, indican el calibre de cables, así como los colores, y especifican la ruta de una terminal a otra.

En los últimos años, la Universidad del Valle de Guatemala ha sido reconocida como una de las mejores universidades a nivel centroamericano y por ende, cada año son más los estudiantes que ingresan a esta casa de estudio. La universidad se destaca por su rama científica y dentro de ella se encuentran las diversas ingenierías, sin embargo, el departamento de Electrónica, Mecatrónica y actualmente, también Biomédica, ha ganado mucha popularidad dentro de la población de estudiantes de nuevo ingreso, esto ha generado una saturación en el uso de los equipos y laboratorios con los que cuenta actualmente el departamento. Por lo que con la construcción del nuevo Centro de Innovación y Tecnología, se abrirán nuevos espacios para dar lugar a nuevos equipos, y así poder brindarle a todos los estudiantes las mejores condiciones para su aprendizaje profesional.

Gracias a esto, se dio lugar a poder adicionar cuatro tableros más de control industrial para fines didácticos y así poder brindarle a los estudiantes y maestros un aprendizaje y enseñanza más acorde a lo que se espera de un egresado de la UVG.

Con base en lo anterior, es que se dio lugar a la elaboración de este proyecto de diseño de la implementación de CPU, Profibus, flipones, HMI y botonería de los cuatro tableros de control mencionados anteriormente.

4.1 Objetivo general

Implementar CPU, botonería, flipones, HMI y profibus en cuatro tableros de control industrial con fines didácticos para uso en la Universidad del Valle de Guatemala.

4.2 Objetivos específicos

- Investigar e implementar las normativas y técnicas utilizadas en la correcta instalación del equipo en tableros de control industrial.
- Investigar e implementar la correcta instalación de cable profibus.
- Realizar los diagramas unifilares de los tableros utilizando el software de AutoCAD Electrical.
- Realizar un modelo 3D del tablero utilizando el software de diseño Autodesk Inventor.
- Generar un listado de componentes necesarios para la construcción de los tableros según el diseño propuesto.
- Realizar un manual con las especificaciones necesarias para la construcción del módulo mencionado en el presente trabajo.

El objetivo del proyecto es poder desarrollar la primer fase de diseño de cuatro tableros de control didáctico para que en un futuro puedan ser ensamblados y posteriormente utilizados dentro del departamento de Ingeniería Electrónica, Mecatrónica y Biomédica de la Universidad del Valle de Guatemala. Así mismo, que los estudiantes tengan al alcance diversa información que les ayude a comprender de una mejor manera el funcionamiento de cada módulo de los tableros, y así poder obtener mejores resultados en su aprendizaje.

Se busca cumplir este objetivo por medio de la elaboración de manuales de instalación y de usuario, en los cuales se detalla la manera correcta de ensamblar cada uno de los módulos, así como recomendaciones que debe contemplar el usuario para un correcto manejo de los componentes. Dentro de estos se incorporan los estándares de color, calibre y etiquetado empleados en el diseño de los cables.

Adicional a los manuales se realizó un diseño CAD el cual servía para visualizar un modelo a escala de la propuesta realizada. Luego con el modelo terminado se realizaron vídeos en los cuales se muestra de una manera más detallada el ensamblaje de las piezas dentro del tablero.

Por otra parte, también se realizaron los diagramas unifilares de los tableros y se obtuvo un listado detallado de todos los componentes y materiales necesarios para la correcta instalación de los tableros de control didácticos.

Actualmente se pueden ver diversos tipos de paneles en el ámbito académico e industrial, en la mayoría de ocasiones los primeros se muestran de una forma más simple, sin embargo, una de sus ventajas es que el algoritmo de algunos controladores puede re-programarse para llevar a cabo los diferentes escenarios que se deseen simular. Por otro lado, en el ámbito industrial se encuentran paneles básicos a pie de máquina o mediante soporte a la altura de los ojos del operario. Estos poseen diversos componentes periféricos, y normalmente la acción que realiza cada controlador es específica, ya que en la industria si se utilizan para una tarea en específico [1].

Todos los componentes en paneles electrónicos cumplen con especificaciones o estándares de seguridad, esto con el fin de tener manuales donde los operarios puedan acudir para cualquier duda, así como el resto de personas que se estén adentrando en el ámbito de la automatización puedan comprender rápidamente la estructura de un panel de control [1].

6.1 Estándares

Tal como se mencionó anteriormente, existen diversos estándares en lo que concierne al buen diseño e implementación de un panel de control electrónico. Existen normativas para la selección de calibre, longitud, y color del cableado, dependiendo de su función, así como normativas para el correcto etiquetado de los mismos.

6.2 Estándares de cableado

Con el fin de tener referencias y un buen manejo evaluativo sobre sistemas electrónicos a nivel industrial, se han desarrollado distintos estándares sobre cómo realizar un cableado estructurado de corriente alterna (AC) y corriente directa (DC). A continuación se presentan unas tablas con los distintos códigos de color que se deben emplear para lograr un resultado acorde a los estándares internacionales.

Estándar IEC (*International Electrotechnical Commission*) La mayoría de países europeos siguen este estándar, y es uno de los más utilizados actualmente a nivel internacional.

Cuadro 1: Código de color en cableado para corriente alterna (AC), según el estándar IEC [2]

Function	label	Color, IEC	Color, old IEC
Protective earth	PE	green-yellow	green-yellow
Neutral	N	blue	blue
Line, single phase	L	brown	brown or black
Line, 3-phase	L1	brown	brown or black
Line, 3-phase	L2	black	brown or black
Line, 3-phase	L3	grey	brown or black

Cuadro 2: Código de color en cableado para corriente directa (DC), según el estándar IEC [2]

Function	label	Color
Protective earth	PE	green-yellow
2-wire unearthed DC Power System		
Positive	L+	brown
Negative	L-	grey
2-wire earthed DC Power System		
Positive (of a negative earthed) circuit	L+	brown
Negative (of a negative earthed) circuit	M	blue
Positive (of a positive earthed) circuit	M	blue
Negative (of a positive earthed) circuit	L-	grey
3-wire earthed DC Power System		
Positive	L+	brown
Mid-wire	M	blue
Negative	L-	grey

Estándar UK (*United Kingdom*) Este estándar es uno de los más obsoletos actualmente, por lo que se ha ido adecuando al estándar IEC.

Cuadro 3: Código de color en cableado para corriente alterna (AC), según el estándar UK [2]

Function	label	Color, IEC	Old UK color
Protective earth	PE	green-yellow	green-yellow
Neutral	N	blue	black
Line, single phase	L	brown	red
Line, 3-phase	L1	brown	red
Line, 3-phase	L2	black	yellow
Line, 3-phase	L3	grey	blue

Estándar US (*United States*) Regido por el US National Electrical Code, este estándar es utilizado en Norte América y Reino Unido, principalmente.

Cuadro 4: Código de color en cableado para corriente alterna (AC), según el estándar US [2]

Function	label	Color, common	Color, alternative
Protective ground	PG	bare, green, or green-yellow	green
Neutral	N	white	grey
Line, single phase	L	black or red (2nd hot)	
Line, 3-phase	L1	black	brown
Line, 3-phase	L2	red	orange
Line, 3-phase	L3	blue	yellow

Cuadro 5: Código de color en cableado para corriente directa (DC), según el estándar US [2]

Function	label	Color
Protective ground	PG	bare, green, or green-yellow
2-wire ungrounded DC Power System		
Positive	L+	no recommendation (red)
Negative	L-	no recommendation (black)
2-wire grounded DC Power System		
Positive (of a negative grounded) circuit	L+	red
Negative (of a negative grounded) circuit	N	white
Positive (of a positive grounded) circuit	N	white
Negative (of a positive grounded) circuit	L-	black
3-wire grounded DC Power System		
Positive	L+	red
Mid-wire (center tap)	N	white
Negative	L-	black

Estándar Canadiense Regido por el CEC *Canadian Electrical Code*, este estándar es utilizado igual que el US, principalmente en Norte América y Reino Unido.

Cuadro 6: Código de color en cableado para corriente alterna (AC), según el estándar Canadiense [2]

Function	label	Color, common
Protective ground	PG	green or green-yellow
Neutral	N	white
Line, single phase	L	black or red (2nd hot)
Line, 3-phase	L1	red
Line, 3-phase	L2	black
Line, 3-phase	L3	blue

Así mismo, como se tiene estándares en los códigos de color, también se cuenta con estándares para la selección del calibre del cable que se va a utilizar, esto depende de la cantidad de corriente suministrada a la línea de conexión. Algunos de estos estándares son los siguientes:

1. Birmingham Wire Gauge (BWG).
2. Standard Wire Gauge (SWG).
3. American Wire Gauge (AWG).

En particular, se hará mención del estándar AWG, ya que es el que se ha utilizado en la aplicación de tableros de control didácticos.

Estándar AWG *American Wire Gauge* Se desarrolló en el año 1855 por J.R. Brown, pero no fue hasta el año 1857 que fue proyectado en Norteamérica y se le conocía como Brown and Sharp Gauge (BSG). Este estándar tiene en común con los demás estándares que el número de calibre representa las sucesivas etapas en el proceso de estirado, esto quiere decir que entre mayor sea el calibre, el diámetro del conductor es menor[3].

La razón por la que este estándar es tan conocido e utilizado es debido a que el diámetro de sus distintos calibres está designado por una expresión matemática.

$$\phi = 0.005 * 92^{\frac{n-36}{39}} \tag{1}$$

Donde n es el calibre del conductor dado, en el caso de los calibres menores a 1 AWG, n = 1-m, donde m es igual al número de 0 (1/0, 2/0,3/0,4/0 AWG) [3]. Este estándar cuenta con 44 diferentes calibres, sin embargo, comúnmente se utiliza solo una pequeña gama de estos, por ejemplo; el 18 y 20 AWG, es utilizado para cable coaxial, para cable telefónico del 22-28 AWG, el 14 y 16 AWG para altavoces [4].A continuación se presentan el Cuadro 7 y Cuadro 8 donde se observan más detalles sobre cada calibre en el estándar.

Cuadro 7: Diámetros y áreas de los conductores en estándar AWG

AWG	Diámetro		Área	
	(in)	(mm)	(kcmil)	(mm ²)
1000	1	25.4	1000	507
900	0.9487	24.1	900	456
750	0.866	22	750	380
600	0.7746	19.67	600	304
500	0.7071	17.96	500	253
400	0.6325	16.06	400	203
350	0.5916	15.03	350	177.3
250	0.5	12.7	250	126.7
0000(4/0)	0.46	11.68	211.6	107
000(3/0)	0.4096	10.4	167.8	85
00(2/0)	0.3648	9.266	133.1	67.4
0(1/0)	0.3249	8.251	105.5	53.5
1	0.2893	7.348	83.69	42.4
2	0.2576	6.544	66.37	33.6
3	0.2294	5.827	52.63	26.7
4	0.2043	5.189	41.74	21.2
5	0.1819	4.621	33.1	16.8
6	0.162	4.115	26.25	13.3

AWG	Diámetro		Área	
	(in)	(mm)	(kcmil)	(mm ²)
7	0.1443	3.665		10.5
8	0.1285	3.264		8.37
9	0.1144	2.906		6.63
10	0.1019	2.588		5.26
11	0.0907	2.305		4.17
12	0.0808	2.053		3.31
13	0.072	1.828		2.62
14	0.0641	1.628		2.08
15	0.0571	1.45		1.65
16	0.0508	1.291		1.31
17	0.0453	1.15		1.04
18	0.0403	1.02362		0.823
19	0.0359	0.9116		0.653
20	0.032	0.8128		0.518
21	0.0285	0.7229		0.41
22	0.0253	0.6438		0.326
23	0.0226	0.5733		0.258
24	0.0215	0.5106		0.205
25	0.0179	0.4547		0.162
26	0.0159	0.4049		0.129
27	0.0142	0.3606		0.102
28	0.0126	0.3211		0.081
29	0.0113	0.2859		0.0642
30	0.01	0.2546		0.0509
31	0.0089	0.2268		0.0404
32	0.008	0.2019		0.032
33	0.0071	0.1798		0.0254
34	0.0063	0.1601		0.0201
35	0.0056	0.1426		0.016
36	0.005	0.127		0.0127
37	0.0045	0.1131		0.01
38	0.004	0.1007		0.00797
39	0.0035	0.08969		0.00632
40	0.0031	0.07987		0.00501

Cuadro 8: Resistencia eléctrica y máxima corriente admisible en los conductores bajo el estándar AWG

AWG	Resistencia eléctrica en Cu ($\Omega/1km$)	Resistencia eléctrica en Cu ($\Omega/1000ft$)	Corriente admisible en Cu (40°C) (A)
1000	0.0339434602425		870
900	0.0377397682959		800

AWG	Resistencia eléctrica en Cu ($\Omega/1km$)	Resistencia eléctrica en Cu ($\Omega/1000ft$)	Corriente admisible en Cu (40°C) (A)
750	0.0452877219551		740
600	0.0566096524439		650
500	0.0680210843595		580
400	0.0847750460244		500
350	0.0970633634684		460
250	0.135827421807		370
0000(4/0)	0.160834900401		335
000(3/0)	0.202462756976		287
00(2/0)	0.255331370073		247
0(1/0)	0.324704421565	~0.1	214
1	0.405880526956		180
2	0.512182569731		150
3	0.644544357414		125
4	0.811761053913		117
5	1.02436513946		
6	1.293934913		89
7	1.63898422314		
8	2.0560733982		66
9	2.59567637149		
10	3.2772	0.9989	30
11	4.1339	1.260	25
12	5.210	1.588	20
13	6.572	2.003	17
14	8.284	2.525	15
15	10.45	3.184	12
16	13.18	4.016	10
17	16.614	5.064	7
18	20.948	6.385	5
19	26.414	8.051	
20	33.301	10.15	
21	41.995	12.80	
22	52.953	16.14	
23	66.798	20.36	
24	84.219	25.67	
25	106.201	32.37	
26	133.891	40.81	
27	168.865	51.47	
28	212.927	64.90	
29	268.471	81.83	
30	338.583	103.2	
31	426.837	130.1	
32	538.386	164.1	

AWG	Resistencia eléctrica en Cu ($\Omega/1km$)	Resistencia eléctrica en Cu ($\Omega/1000ft$)	Corriente admisible en Cu (40°C) (A)
33	678.806	206.9	
34	833	260.9	
35	1085.958	331.0	
36	1360.892	414.8	
37	1680.118	512.1	
38	2127.953	648.6	
39	2781.496	847.8	
40	3543.307	1080.0	

6.3 Tableros industriales

Los tableros de distribución de baja tensión son aptos para su utilización en las subestaciones principales, secundarias y en lugares donde se desee tener un grupo de interruptores con relés de sobrecarga y cortocircuito[5].

Estos tableros son armazones metálicas que se utilizan para proteger a todos los componentes de mando y de control de cualquier sistema eléctrico. Sus formas y tamaños varían dependiendo del área de aplicación, Sin embargo, estos elementos son esenciales en cada uno de ellos [6]:

1. Gabinete, que se encarga de proteger todos los componentes que conforman todo el tablero de control en esencia.
2. Rieles metálicos, estos tienen la función de ser la montadura de los componentes (CPU, módulos digitales, módulos analógicos, contactores, entre otros) dentro del tablero.
3. Barras colectoras, estas barras son de hechas de materiales conductores y se utilizan para suministrar la corriente eléctrica a los componentes del tablero.
4. Borneras de conexión, estas se encargan de retener los cables por medio de un tornillo, contienen dos extremos y poseen continuidad entre sí. Son prácticas para poder organizar el tablero y llevar una señal de un lado a otro, sin la necesidad de tener un cable muy extenso.
5. Canaletas, estas son hechas de plástico, sirven para colocar los cables y llevarlos de un lado a otro del tablero.
6. Prensa cables, conocidos como conectores de glándula, estos van empotrados en el gabinete eléctrico para poder transportar los cables que vienen del exterior o van hacia el exterior, de una manera segura.
7. Componentes eléctricos y electrónico, son todos aquellos que conforman el interior de los tableros, y son los encargados de realizar todas las acciones de control. Van desde componentes básicos como fusibles, hasta complejos como lo son el PLC, temporizadores, guarda-motores, Profibus:, y los que conforman el módulo de HMI:, etc.,.

Un PLC: o Autómata Programable, cuenta con las herramientas óptimas de software y de hardware, para el control de dispositivos externos, recibimiento de señales y la toma de decisiones de acuerdo a lo que el usuario le programe. Este consiste de varias parte, tal como módulos de entradas y salidas, CPU, memoria, interfases de entrada y salidas, programador y fuente [7].

El CPU este es quien realiza las operaciones de tiempo, de secuencia, de combinación o de auto-mantenimiento y retención[7]. En el mercado existen varios modelos, sin embargo, en este trabajo de investigación se estará implementando el CPU de la línea Siemens **s7-300** el **CPU 315-2 DP**, este a su vez cuenta con dos **interfaces de entrada y salida**. Estas establecen la comunicación entre el CPU y el proceso a través de la filtración, adaptación y codificación de las señales de entrada, decodificación y amplificación de las señales de salida.

Así mismo, el CPU mencionado anteriormente, no cuenta con una **memoria** de carga o de soporte de datos incorporada, por lo que la Micro Memory Card SIMATIC es imprescindible para su funcionamiento.

El PLC cuenta con una memoria que permite el almacenamiento de datos del programa (RAM), El sistema operativo (ROM), el programa de usuario (RAM no volátil o EEPROM), configuración de PLC (ROM o RAM no volátil para parámetros Configurables), rutinas de arranque (ROM) y rutinas de chequeo (ROM).

Por otra parte, el dispositivo por medio el cual se le posible introducir un programa de usuario al PLC es por medio del **programador**. Este es el encargado de realizar la conexión entre el usuario y el PLC, para poder llevar a cabo los procesos requeridos.

En la Figura 4 se muestra un ejemplo de un tablero de control industrial elaborado e incorporando los distintos dispositivos y componentes antes descritos.

6.4 Profibus

PROFIBUS es un protocolo internacional respaldado por los estándares **IEC 61158** e **IEC 61784**. Este protocolo complejo fue creado en tres capas del modelo de referencia ISO/OSI. Se ajusta a la detección de errores de comunicación así mismo para la observación de la capa física, enlaces de datos y todo el tráfico del bus de datos.[8]

Este protocolo se divide en tres tipos:

El primero que se desarrolló y que actualmente es obsoleto, fue el **PROFIBUS FSM** *Fieldbus Message Specification* este resolvía tareas de comunicación complejas entre sistemas de automatización, intercambio de datos entre equipos y principalmente implementado a nivel de control, y el cual fue sustituido por el protocolo de **Ethernet Industrial**. [9]

El segundo que se desarrolló fue el **PROFIBUS DP** *Periféricos Descentralizados* con el principal propósito de ejercer la comunicación entre sistemas de automatización y equipos descentralizados. Se utiliza en el 90 % de los casos en los que se aplica el protocolo PROFIBUS, posee tres versiones **DP-V0**, **DP-V1**, **DP-V2**, cada una de las versiones ha surgido debido a la demanda y avance de la tecnología a lo largo de los años. Cabe mencionar que utiliza la interfaz estándar de la capa física de comunicación RS-485 o fibra óptica.[10]

El tercero en desarrollarse fue el **PROFIBUS PA** *Automatización de Procesos* este se utiliza en sistemas de control de procesos donde estos se conectan a equipos de campo y necesitan sensores del tipo temperatura, presión, humedad, convertidores, entre otros. Sus principales ventajas son la transmisión confiable de información, manejo de estados variables, sistemas de seguridad de fallas y equipos de auto-diagnóstico. Así mismo poseen un control de alta velocidad y su instalación y mantenimiento son más económicos que otros sistemas de la misma gama.

Este permite la medición y control a través de una línea y dos cables individuales, también provee de alimentación a los equipos de campo en zonas intrínsecamente seguras. Cabe mencionar que este fue desarrollado en conjunto con la industria de control y procesos (**NAMUR**).

Este busca eliminar estaciones de bus en áreas intrínsecas sin afectar a otras y que esto pueda dañar la comunicación entre un punto a otro. De igual forma acoplar la comunicación de una forma más transparente entre este y el PROFIBUS DP. Con una transmisión de potencia y datos basado en la tecnología IEC 61158-2.[11]

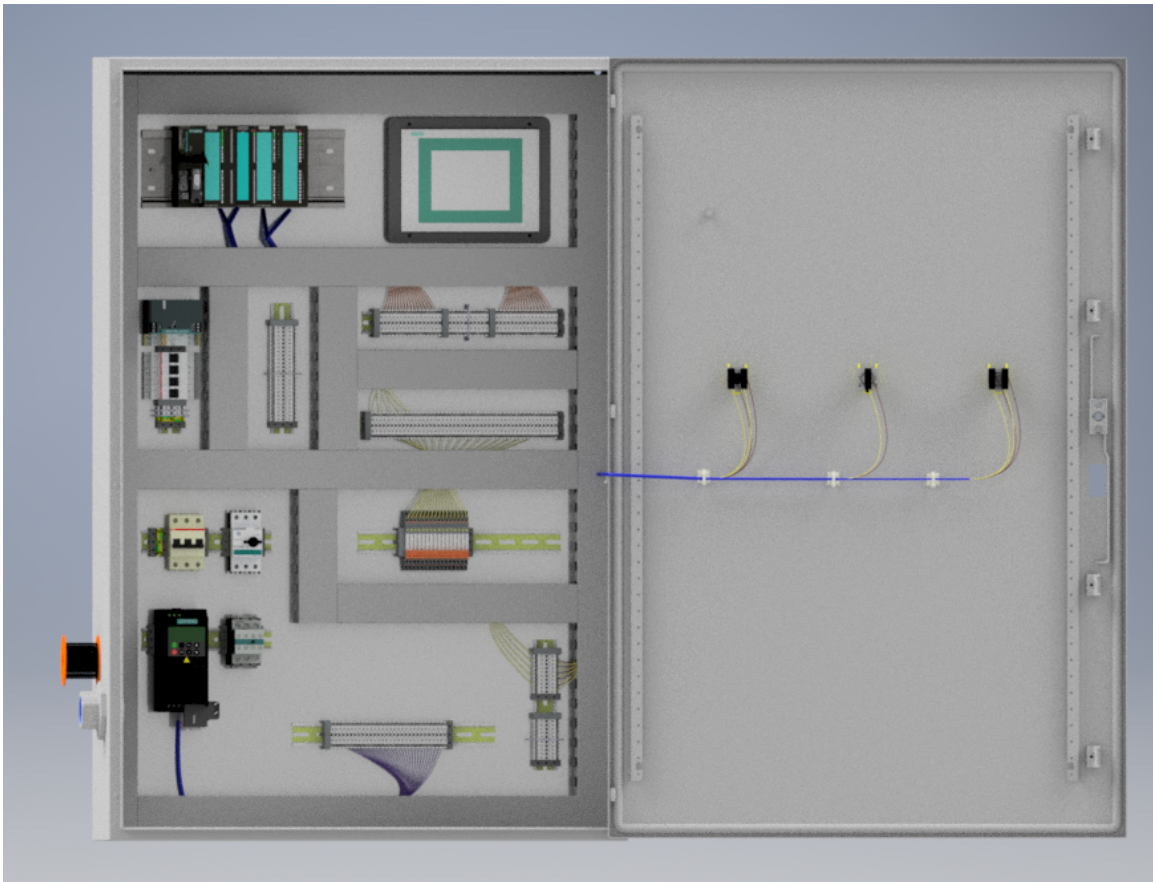


Figura 4: Render del modelo CAD elaborado en el presente trabajo

Estándares de cableado

Hoy en día existen normativas y estándares que se deben seguir al momento de diseñar sistemas estructurados. Uno de estos estándares es el de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC, por sus siglas en inglés). En este trabajo de investigación se seleccionó dicho estándar, ya que posee publicaciones accesibles las cuales se pueden encontrar libremente por internet. Debido a que muchos otros manuales de este tipo de otros estándares eran pagos, y para el fin didáctico para el que se buscaba estandarizar no era factible optar por estas alternativas, por lo que se escogió utilizar la normativa IEC.

7.1. Código de color

Como base se utilizó el estándar IEC 60446, el cual contiene normativas sobre la identificación de conductores por colores o alfanumérico. Este se modificó en cuanto a los colores permitidos en las líneas trifásicas, el manual establecía que se usaran los colores café-negro-gris, pero como el módulo de 24VDC poseía dos de esos colores, se decidió dejar los que ya se manejaban en los seis tableros actuales, negro-rojo-blanco. La normativa no establecía colores para señales analógicas y digitales, por lo que se escogieron colores que estuvieran permitidos por el estándar y se optó por amarillo-digitales, naranja-analógicas y violeta-variador de frecuencias.

Las modificaciones que se hicieron fueron por fines didácticos, para que los estudiantes puedan identificar de mejor manera las líneas de conexión de cada módulo. Respetando siempre que ningún color seleccionado pudiera confundirse fácilmente con algún otro establecido, por ejemplo el color amarillo de las señales digitales no puede confundirse con el color verde/amarillo de la señal de tierra física. Los colores seleccionados se muestran en el Cuadro 9.

Cuadro 9: Código de colores seleccionado

Señal	Color
Línea 1	negro
Línea 2	rojo
Línea 3	blanco
Tierra física	verde/amarillo
Neutro	azul
24 VDC	café
0 V	gris
Señales variador de frecuencia	violeta
Señales analógicas	naranja
Señales digitales	amarillo

7.2. Códigos de etiquetado

Siguiendo la misma base del estándar IEC 60446, se seleccionaron los nombres de identificación de cada línea tal como se muestra en el Cuadro 10. Tomando en cuenta que en los identificadores alfanuméricos de las señales analógicas, digitales y del variador, el 6 y el 9 deben identificarse de la siguiente forma: 6 y 9, para evitar cualquier tipo de confusión. Así mismo, esta normativa hace mención que la única conexión que no debe etiquetarse por medio de una etiqueta es la línea de tierra física, debido a que con la identificación de color es más que suficiente.

Los identificadores con la letra M antepuesta, se refiere a los utilizados en los grupos de borneras. Estas deben ser identificadas al inicio de cada grupo, si se encuentran colocadas de manera vertical este código debe ir arriba, y si por el contrario son ubicadas horizontalmente, esta identificación va del lado izquierdo del grupo.

Cuadro 10: Código de etiquetado seleccionado

Nombre	Código
Línea 1 trifásico	L1
Línea 2 trifásico	L2
Línea 3 trifásico	L3
Neutro	N
24 VDC	24VDC
0 V	0V
Señales variador de frecuencias	VFD(01-30)
Salida analógicas	PLC-AO-(00-15)
Entradas analógicas	PLC-AI-(00-15)
Salidas digitales	PLC-DO-(00-15)
Entradas digitales	PLC-DI-(00-15)
Módulo principal 24 VDC	M1-24VDC
Módulo secundario 24 VDC (intermedio en módulo AO y AI)	M2-24VDC
Módulo terciario 24 VDC (entradas digitales)	M3-24VDC

Nombre	Código
Módulo salidas analógicas	M-AO
Módulo entradas analógicas	M-AI
Módulo salidas digitales (relés)	M-KA
Módulo entradas digitales	M-DI
Módulo variador de frecuencias	M-VFD
Módulo alta potencia	M-VAC3F
Módulo interfaz humano-máquina	M-HMI
Dispositivos	
Pulsador de paro de emergencia	SB1
Pulsador de paro	SB2
Pulsador de inicio	SB3
Switch selector	SA1
Disyuntor de 1 polo	QF1-QF4
Disyuntor de 3 polos	QF5
Circuitbreaker de 3 polos	QF6
Contactador de 3 polos	KM1
Fuente de alimentación AC/DC	GD1

7.3. Dimensionamiento de cables

Esta es una práctica necesaria en toda instalación eléctrica que garantiza el correcto funcionamiento y protección del sistema así mismo como la seguridad del operario ante una sobre tensión. El dimensionamiento de cables se divide en dos partes importantes, la selección del calibre y la longitud del cable:

7.3.1 Calibre

Para la selección de los calibres se evaluaron las corrientes máximas recomendadas en las líneas de paso de los circuitos del PLC, HMI, 24VDC y el circuito de control del motor. Para la alimentación de los primeros tres, los disyuntores que abren paso a la alimentación poseen una corriente nominal de 2A (PLC y 24VDC) y una corriente nominal de 1.6A (HMI). Cabe recalcar que la corriente nominal de alimentación del circuito del PLC se escogió en base a la recomendada en la hoja de datos del fabricante. Por último, el circuito del variador se analizó por medio de la entrada del mismo de 8.2A y la salida de 3.9A, para la selección del calibre.

Luego, se decidió qué el tipo de conductor a utilizar sería de tipo TFF el cual es un tipo de cordón de hilos de cobre suaves, trenzados y recubiertos de con PVC. Este tipo de conductor es flexible, y es utilizado en sistemas de baja tensión. Para terminar con la selección de los calibres, se procedió a indagar las normativas estipuladas en el NEC [12], basándose en el artículo 400 (Cordones y cables flexibles), tablas 400.4 y 400.5(A). Así mismo, aplicando los factores de corrección para instalaciones eléctricas de baja tensión UNE-HD 60364-5-52:2014.

Size (AWG)	Thermoplastic Types TPT, TST	Thermoset Types C, E, EO, PD, S, SJ, SJO, SJOW, SJOO, SJOOW, SO, SOW, SOO, SOOW, SP-1, SP-2, SP-3, SRD, SV, SVO, SVOO		Types HPD, HPN, HSJ, HSJO, HSJOO
		Thermoplastic Types ET, ETLB, ETP, ETT, SE, SEW, SEO, SEOW, SEOOW, SJE, SJEW, SJEO, SJEOW, SJEOOW, SJT, SJTW, SJTO, SJTOW, SJTOO, SJTOOW, SPE-1, SPE-2, SPE-3, SPT-1, SPT-1W, SPT-2, SPT-2W, SPT-3, ST, SRDE, SRDT, STO, STOW, STOO, STOOOW, SVE, SVEO, SVT, SVTO, SVTOO		
		Column A ⁺	Column B ⁺	
27*	0.5	—	—	—
20	—	5**	***	—
18	—	7	10	10
17	—	9	12	13
16	—	10	13	15
15	—	12	16	17
14	—	15	18	20
12	—	20	25	30
10	—	25	30	35
8	—	35	40	—
6	—	45	55	—
4	—	60	70	—
2	—	80	95	—

Figura 5: Ampacidad permisible para cordones y cables flexibles [A temperatura ambiente de 30°C]

Factores de corrección para instalación directamente enterrada

1. Profundidad del terreno diferente a 0,70m

Factores de corrección para diferentes profundidades de instalación

Profundidad de instalación (m)	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2
Factor de corrección	1,03	1,02	1,01	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95

Tabla 2

2. Temperatura del terreno diferente a 25 °C

Factores de corrección para diferentes temperaturas

T° terreno (°C)	10	15	20	25	30	35	40	45	50
T° servicio 90 °C	1,11	1,07	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78
T° servicio 70 °C	1,15	1,11	1,05	1,00	0,94	0,88	0,82	0,75	0,67

Tabla 3

3. Resistividad térmica media del terreno diferente a 1 K.m/W

Factores de corrección para resistividad térmica del terreno

Resistividad térmica del terreno	0,80	0,85	0,90	1,00	1,10	1,20	1,40	1,65	2,00	2,50	2,80
Cable unipolar	1,09	1,06	1,04	1,00	0,96	0,93	0,87	0,81	0,75	0,68	0,66
Cable tripolar	1,07	1,05	1,03	1,00	0,97	0,94	0,89	0,84	0,78	0,71	0,69

Tabla 4

4. Número de cables tripolares o ternas de unipolares y la distancia entre ellos

Factor de corrección para agrupaciones de cables trifásicos o ternas de cables unipolares

Nº de cables o ternas de la zanja	2	3	4	5	6	8	10	12
D = 0 En contacto	0,80	0,70	0,64	0,60	0,56	0,53	0,50	0,47
D = 0,07m	0,85	0,75	0,68	0,64	0,60	0,56	0,53	0,50
D = 0,10m	0,85	0,76	0,69	0,65	0,62	0,58	0,55	0,53
Separación entre los cables o ternas	D = 0,15m	0,87	0,77	0,72	0,68	0,66	0,62	0,59
	D = 0,20m	0,88	0,79	0,74	0,70	0,68	0,64	0,62
	D = 0,25m	0,89	0,80	0,76	0,72	0,70	0,66	0,64
	D = 0,30m	0,90	0,81	0,77	0,73	0,71	0,67	0,65

Tabla 5

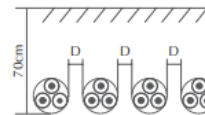


Figura 6: Factores de corrección para instalaciones eléctricas de baja tensión UNE-HD 60364-5-52:2014

¹ Utilizando los factores de corrección del fabricante Cables RCT[13] Figura 6, se consideraron los factores de; agrupación de cables y las profundidades de instalación. En el primero, como las canaletas poseen una profundidad de 80 mm, se tomó la mitad para seleccionar el factor, el cual tiene un valor de 1.03, y el factor de agrupación se tomó en cuenta el mayor número de cables que van a estar agrupados juntos, los cuales son 30. Por esta razón se decidió tomar grupos de 6 cables con una distancia de 0 cm entre ellos, y el factor de corrección es de 0.56.

Para hacer el cálculo de las corriente de cada calibre con sus factores se hace de la siguiente manera:

$$A_f = A * factor(es)$$

Teniendo claro lo anterior, las corrientes máximas de cada uno de los calibres propuestos son las siguientes :

Cuadro 11: Calibres seleccionados luego de aplicar los factores de corrección

AWG	Capacidad de corriente a 30°C (A)
12	11.536
14	8.652
16	5.768
18	4.038

Dados los resultados del Cuadro 11 se tomó la desición de utilizar conductores calibre 12AWG para las entradas y salidad del variador de frecuencia. Conductores calibre 16AWG para la fuente de alimentación AC/DC y realizar las conexiones de sus salidas a los respectivos disyuntores que alimenta. Por último, los conductores de calibre 18AWG se utilizaran para las conexiones de los módulos del CPU, AI/AO, DI/DO, HMI y 24CDC.

Se optó por calibre 12 y no 14 para tener un margen de error más amplio por si llegase a suceder una sobre tensión dentro del sistema.

7.3.2 Longitud

En el caso de la longitud, se estimaron los valores utilizando como medida de referencia la altura (1,165 mm), ancho (750 mm) del tablero y basándose en la nueva distribución propuesta, como se muestra en la Figura 7.

En el Cuadro 12, se ven estimados las longitudes en mm de cada uno de los cables necesarios para la instalación del módulo descrito dentro del trabajo. Cabe mencionar que se realizaron sobre-estimaciones de las longitudes, porque puede ocurrir errores al momento de hacer los cortes para la instalación de las terminales en los mismos.

¹Las ampacidades seleccionadas son las de la columna A+ (Figura 5) con un TFF de tipo E (ver tabla 400.4 de la NEC)

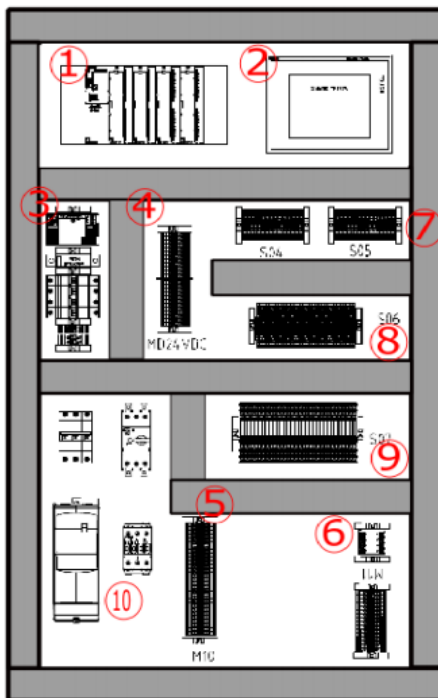


Figura 7: Distribución propuesta del tablero

Cuadro 12: Longitudes estimadas de los conductores

Descripción	Longitud (mm)	Cantidad	Calibre
Línea profibus del variador de frecuencias hacia pantalla HMI	1850	1	
Línea profibus de la pantalla HMI hacia el CPU	500	1	
Botón SB2 a borneras M-HMI	1165	2	18 AWG
Botón SB3 a borneras M-HMI	1165	2	18 AWG
Botón SB1 a borneras M-HMI	1085	2	18 AWG
Switch SA1 a borneras M-HMI	1095	4	18 AWG
Interruptor QF1 (CPU ON) a borneras M-VAC3F	70	1	16 AWG
Interruptor QF1 (CPU ON) a convertidor AC/DC	115	1	16 AWG
Interruptor QF2 (HMI ON) a borneras M1-24VDC	200	1	18 AWG
Interruptor QF2 (HMI ON) a convertidor AC/DC	100	1	16 AWG

Descripción	Longitud (mm)	Cantidad	Calibre
Interruptor QF3 (PLC ON) a borneras M1-24VDC	220	1	18 AWG
Interruptor QF3 (PLC ON) a convertidor AC/DC	35	1	16 AWG
Interruptor QF4 (24V ON) a borneras M1-24VDC	240	1	18 AWG
Interruptor QF4 (24V ON) a convertidor AC/DC	35	1	16 AWG
Interruptor QF5 L1 (proveniente del generador de frecuencias)	280	1	12 AWG
Interruptor QF5 L2 (proveniente del generador de frecuencias)	280	1	12 AWG
Interruptor QF5 L3 (proveniente del generador de frecuencia)	280	1	12 AWG
Interruptor QF5 a línea directa L1	500	2	12 AWG
Interruptor QF5 a línea directa L2	500	2	12 AWG
Interruptor QF5 a línea directa L3	500	2	12 AWG
Interruptor QF6 a línea directa L1	500	1	12 AWG
Interruptor QF6 a línea directa L2	500	1	12 AWG
Interruptor QF6 a línea directa L3	500	1	12 AWG
Interruptor QF6 a línea directa L1 a KM1	120	1	12 AWG
Interruptor QF6 a línea directa L2 a KM1	120	1	12 AWG
Interruptor QF6 a línea directa L3 a KM1	120	1	12 AWG

7.4. Profibus DP

Profibus DP es uno de las tres versiones de Profibus que se pueden implementar para la comunicación de red de distintos dispositivos. Su aplicación se basa en el intercambio a gran velocidad de un volumen medio de información entre un controlador y distintos controladores. Esta versión en específico es compatible con la comunicación entre el PLC S7-300 de Siemens, con el cual se trabaja en este proyecto.

Cuadro 13: Características del Profibus DP

Estándar	Especificaciones
Método de acceso	Paso por testigo con maestro-esclavo
Velocidad de transmisión	9.6 Kbits/s - 12 Mbits/s
Tiempo de datos	Entre 5 y 10 ms
Volumen de datos	Hasta 246 bytes
Medio de transmisión	Cable de dos hilos apantallado Cables de fibra óptica Infrarrojos
Máx. no. de nodos	32 estaciones por segmento y hasta un total de 127
Tamaño de red	Depende de la velocidad
Eléctrica	Máx. 9.6 Km
Óptica	150 Km
Topologías	bus, árbol, estrella, anillo, anillo redundante
Aplicaciones	Comunicación de procesos, campo o datos

Pero, como todos los dispositivos o más referente a cables, este tipo de bus posee una forma específica en la cual debe instalarse. Primero, se debe saber que se utiliza el estándar RS-485 para la capa física, lo que quiere decir que se debe de ir seccionando las capas del conector para tener una conexión exitosa con las terminales. Tal como se observa en la Figura 8, esa es la manera correcta de preparar ambas terminaciones del bus [10].

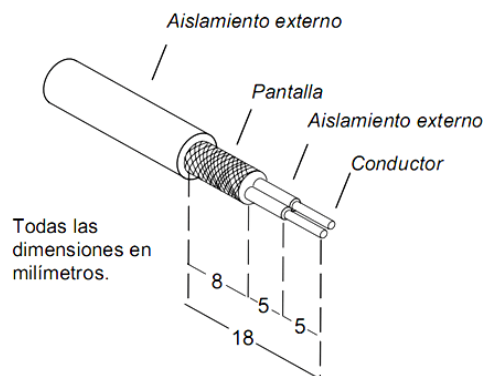


Figura 8: Correcta preparación de las terminaciones del cable Profibus DP

Luego de tener ya listo los cables, para poder montar un cable Profibus en un componente, por ejemplo en la pantalla touche y el CPU, se deben colocar unas resistencias terminales (Figura 9) en cada extremo. Esto para determinar si el dispositivo estará enviando o recibiendo datos.

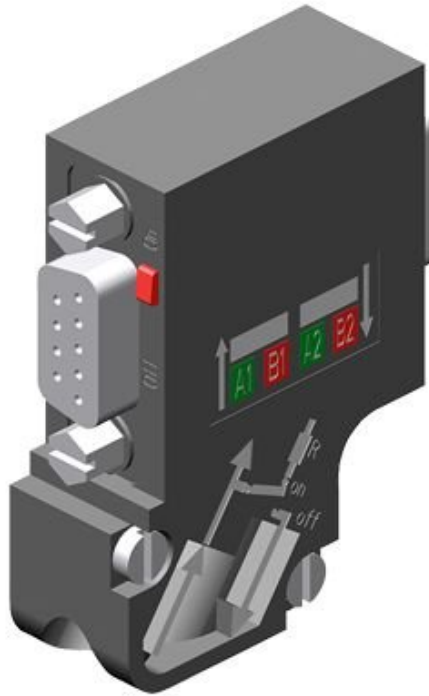


Figura 9: Resistencia terminal para los extremos del cable profibus

Dentro de este estándar también se clasifica la velocidad de transferencia según la longitud del cable, tal como lo muestra la Cuadro 14.

Cuadro 14: Longitudes permitidas para las subredes Profibus [14]

Velocidad de transmisión (Kbits/s)	Longitud máx. de cable en un segmento (m)
9.6 - 187.5	1000
500	400
1,500	200
3,000 - 12,000	100

Ya teniendo las bases para la selección de cables e identificadores, se procedió a realizar los diagramas unifilares y un modelo 3D de los tableros de control didáctico.

8.1. Diagramas unifilares

Utilizando como referencia los diagramas proporcionados por el departamento, se procedió a la elaboración de los nuevos diagrama unifilares incluyendo los cambios propuestos y previamente autorizados. Se utilizó el programa AutoCAD Electrical 2020, que es desarrollado específicamente para la creación, diseño y modificación de diagramas eléctricos. La base para la selección de los símbolos fue tomada de la norma IEC, y estandarizando los símbolos contenidos en los primeros diagramas, para crear una uniformidad entre el contenido previo y el actual, y que se tuviera un mayor entendimiento de los mismos.

Todas las líneas de conexión que no se encuentran dentro del mismo formato, se encuentran identificadas por medio de coordenadas dadas por las numeraciones y alfabetizaciones contenidas en los bordes de cada formato, así como por el número de formato en donde se encuentra la continuidad de la conexión. Tal como se observa en las siguientes figuras.

En las figuras 10 y 11 se observa lo descrito previamente, las conexiones se referencian de la siguiente forma: *no. de formato.coordnada alfanumérica*. Por ejemplo, en la Figura 10 las flechas que apuntan hacia adentro tienen el identificador previo **2.6E**, lo cual se refiere a que esa conexión proviene de aquella situada en el formato 2 en la coordenada 6E. Ahora, observando la Figura 11 se ve claramente como las flechas de las terminales en las conexiones están hacia afuera, estas indican hacia dónde va esa conexión. Entonces, como esa figura se refiere al formato referenciado en la primera figura, se ve que la última conexión posee el identificador **4.1E**, lo cual es el punto en el formato 4 a donde va esa señal.

8.2. Diseño 3D

Para una mejor visualización sobre la instalación del panel, se utilizó el programa de Autodesk Inventor 2019. Se buscaron los modelos en GrabCAD y traceparts de cada componente que conforma el tablero de control y se procedió a ensamblar cada uno dentro del panel basándose en la propuesta que se puede ver en la Figura 7 y el modelo 3D con los componentes ya en su sitio se observa en la Figura 12.



Figura 12: Modelo 3D del tablero de control industrial

Primero, se ensamblaron los componentes de la estructura, los cuales incluyen el armario, las canaletas, los rieles, la placa de montaje, las borneras simples, los soportes de etiquetas, cubiertas de borneras y bloque de fijación.



Figura 13: Modelo 3D de la estructura del tablero

Segundo, se ensamblaron los componentes de alimentación, los cuales incluyen la fuente de alimentación (AC/DC), el supresor, y los disyuntores encargados de alimentar al CPU, módulos analógicos y digitales y la pantalla táctil.

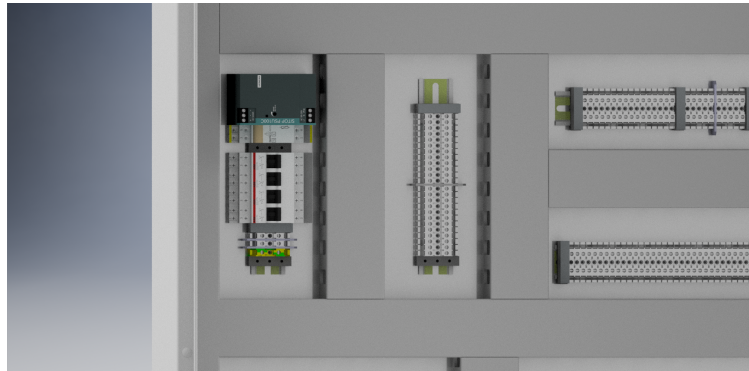


Figura 14: Modelo 3D de los componentes de alimentación

Tercero, se ensamblaron los modelos del sistema lógico estos incluyen el CPU, el módulo de entradas y salidas analógicas y digitales, así como los relés y el soporte para relés.



Figura 15: Modelo 3D de los componentes del sistema lógico

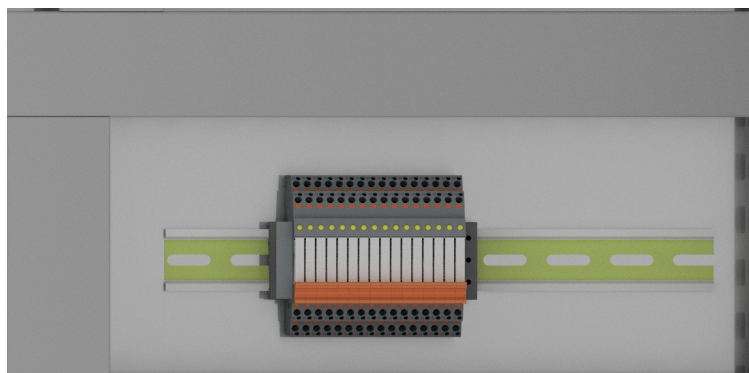


Figura 16: Modelo 3D de los componentes del sistema lógico (relés, salidas digitales)

Cuarto, se ensamblaron los modelos del variador de frecuencia, circuitbreaker, contactor

y el disyuntor de tres polos.



Figura 17: Modelo 3D de los componentes del sistema de control

Finalmente, se colocaron los modelos de HMI, los cuales incluyen la pantalla táctil, y los interruptores (paro de emergencia, ON/OFF y switch selector).



Figura 18: Modelo 3D de los componentes de HMI-pantalla

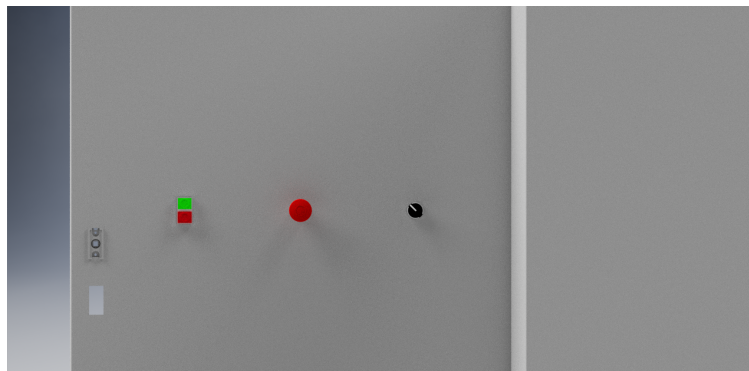


Figura 19: Modelo 3D de los componentes de HMI-botonería

Luego de tener los componentes en su lugar, se procedió a la elaboración de las conexiones. Estas se implementaron con la función de *Cable and Harness* que proporciona el

programa. Se crearon los cables y cada grupo de cables se colocó en un arnés para que se vieran de manera ordenada. Posteriormente se procedió a colocar los componentes de tornillería (tornillos, tuercas y arandelas), para el ensamblaje de las canaletas y los rieles en la placa.

Este modelo fue la base para la elaboración del manual de instalación junto a los vídeos que muestran el proceso de ensamblaje.

9.1. Listado de componentes

A continuación de los cuadros 15 - 22, se presenta el listado de componentes necesarios para armar el tablero de control didáctico. Este listado se dividió en distintos módulos para que tanto el presente trabajo como los manuales tuvieran congruencia entre sí.

Así mismo, se detalla la cantidad de cable necesaria para el cableado de cada módulo en el Cuadro 23.

Cuadro 15: Componentes del submódulo estructura

No.	Parte	Cant.	Fabricante	Código	Descripción
1	Armario	1	Schneider Electric	NSYCRNG128 300	Puerta lisa, sin placa de montaje, H1200xW800xD300mm
2	Placa de montaje	1	Schneider Electric	NSYMM128	Placa montaje metálica 1200X800mm
3	Riel Simatic S7-300	1	Siemens	6ES7390-1AF30-0AA0	Riel de fijación Simatic S7-300, longitud: 530mm
4	Riel DIN	3	Ferrules Direct	TH3575T	Riel DIN de acero, 35x7.5mm, longitud: 1m
5	Canaleta	4	PhoenixContact	CD 60X80 - 3240199	Canal de cableado con tapa, gris, ancho: 60 mm, altura: 80 mm, longitud: 2000 mm
6	Bloque de terminales	170	Ferrules Direct	UKJ6	Borneras de alimentación con tornillo de sujeción de 6 mm
7	Bloque final	30	PhoenixContact	USA10-1201578	Adaptador universal para rieles DIN
8	Soporte para etiquetas	10	PhoenixContact	KML4	Soporte para pegar las etiquetas de identificación de los bloques de terminales.
9	Cubierta para terminales	8	Ferrules Direct	UKJW25 10FG	Cubierta de separación de bloques de terminales, color gris.

Cuadro 16: Componentes del submódulo alimentación

No.	Parte	Cant.	Fabricante	Código	Descripción
10	Fuente AC/DC	1	Siemens	6EP1332-5BA10	SITOP PSU100C 24V/4A, Fuente de alimentación estabilizada, entrada: AC 120-230V (DC110-300V), salida: DC24V/4A
11	Supresor	1	Iskra	ISPRO C (R) 40	Dispositivo de protección contra sobretensiones, 1 polo
12	Disyuntor	1	ABB	S201-C4	Disyuntor - S200 - 1Polo - C - 4A
13	Disyuntor	2	ABB	S201-K6A-C2	Disyuntor - S200 - 1Polo - C - 2A
14	Disyuntor	1	ABB	S201-C1,6NA	Disyuntor - S200 - 1Polo - C - 1.6A
15	Terminal tierra	4	Ferrules Direct	UKJ6JD	Borneras de alimentación con tornillo de sujeción de 8 mm, verde-amarillo

Cuadro 17: Componentes del submódulo sistema lógico

No.	Parte	Cant.	Fabricante	Código	Descripción
16	CPU	1	Siemens	6ES7315-2AH14-0AB0	Simatic S7-300 - CPU (315-2DP) con interfaz MPI
17	Módulo AI	1	Siemens	6ES7331-7KF02-0AB0	Simatic S7-300 - Módulo de entradas analógicas
18	Módulo AO	1	Siemens	6ES7332-5HF00-0AB0	Simatic S7-300 - Módulo de salidas analógicas
19	Módulo DI	1	Siemens	6ES7321-1BH02-0AA0	Simatic S7-300 - Módulo de entradas digitales
20	Módulo DO	1	Siemens	6ES7322-1BH01-0AA0	Simatic S7-300 - Módulo de salidas digitales
21	Relé	16	Phoenix Contact	REL-MR-24DC/21 -2961105	Relé de potencia en miniatura enchufable, con contacto de potencia, tensión de entrada 24 VDC
22	Soporte de relé	16	Phoenix Contact	RIF-0-BPT/21 -2900958	Soporte para relés miniatura de potencia, conexión "push-in"

Cuadro 18: Componentes del submódulo control

No.	Parte	Cant.	Fabricante	Código	Descripción
23	Variador de frecuencia	1	Siemens	6SE6420-2AB17-5AA1	Micromaster 420, Clase A, 200- 240V1AC, Par constante 0.75 kW, 173x 73x 149 (HxWxD), sin AOP / BOP
24	Módulo PROFIBUS	1	Siemens	6SE6400-1PB00-0AA0	Módulo Micromaster 4 PROFIBUS
25	Panel de operador	1	Siemens	6SE6400-0AP00-0AA1 S203-C40	Panel de operador avanzado MICROMASTER 4 (AOP)
26	Disyuntor	1	ABB	3RV1021-1CA10	Disyuntor - S200 - 3P - C - 40A
27	Cortacircuitos	1	Siemens	3RT1024-1AP00	Interruptor automático para protección del motor, CLASE 10 A- liberación 1.8 ... 2.5 A Cortocircuito liberación 33 A
28	Contactador	1	Siemens	REL-MR-24DC/21 -2961105	Contactador de potencia, AC-3 12 A, 5.5 kW / 400 V 230 V AC, 50 Hz 3 polos

Cuadro 19: Componentes del submódulo HMI

No.	Parte	Cant.	Fabricante	Código	Descripción
29	Panel táctil	1	Siemens	6AV6642-0AA11-0AX1	Panel táctil SIMATIC TP 177A Pantalla de 5.7", interfaz MPI / PROFIBUS DP, configurable desde WinCC
30	Soporte de montaje en panel	1	Siemens	A5E00-336554	Kit de soportes de montaje del panel a estructura.
31	Base montaje HMI	1			Base para insertar el panel táctil y asegurarlo a la placa de montaje.
32	Paro de emergencia	1	Salinco	SB5(LA68SXB5)-AS452	Interruptor de botón de parada de emergencia con cabeza de hongo, giro de bloqueo para liberar
33	Switch selector	1	Salinco	SB5(LA68SXB5)-AD25	Interruptor selector giratorio estándar de tres posiciones
34	Pulsador doble	1	Salinco	SB5(LA68SXB5)-AW84	Interruptor de botón de doble cabeza NA/NC
35	Cable PROFIBUS DP	1	Shneider Electric	LU9RPB010	Cable profibus L = 10m
36	Conexión PROFIBUS	3	Siemens	6ES79720BB520XB0	SIMATIC DP, clavija de conexión para PROFIBUS, hasta 12 Mbit/s, resistencia terminal con función de aislamiento.

Cuadro 20: Componentes complementarios

No.	Parte	Cant.	Fabricante	Código	Descripción
37	Espiga Eléctrica	1	EAGLE	1709C	Espiga 20A 250V
38	Espiga Eléctrica (Twist Lock)	1	EAGLE	L515-P	Espiga Lock 3W 15A
39	Conector acometida	1	Ferrules Direct	NMLT1125	Conector hermético de nailon (1-1/4")
40	Carrete de cable	1	AMES-A	SKU:09625	Porta manguera de 18z polipropileno

Cuadro 21: Componentes de cableado

No.	Parte	Cant.	Fabricante	Código	Descripción
41	Abrazaderas	100	Ferrules Direct	AP0810	Abrazadera ajustable - 1 x 0.75 x 0.87", paquete de 25 unidades
42	Terminales 20 AWG	75	Ferrules Direct	AD07508LM	Terminales de cables calibre 20 AWG, gris, paquete de 500
43	Terminales 18 AWG	375	Ferrules Direct	AW10008	Terminales de cables calibre 18 AWG, gris, paquete de 500
44	Terminales 16 AWG	75	Ferrules Direct	AD15008	Terminales de cables calibre 16 AWG, gris, paquete de 500

Cuadro 22: Tornillería utilizada para el montaje

No.	Parte	Cant.	Fabricante	Código
45	M6X20mm	30	RS Pro	553-699
46	M4X20mm	40	RS Pro	553-560
47	M8X25mm	5	RS Pro	527-511
48	M6x50mm	5	RS Pro	8066689
49	M6	35	RS Pro	525-947
50	M4	40	RS Pro	525-925
51	M8	5	RS Pro	527-634
52	Tuerca M6	5	RS Pro	293-088

Cuadro 23: Cantidad de cable por calibre y color

Calibre	Cantidad (m)	Color
PROFIBUS	3	Violeta
20 AWG	13	Violeta
18 AWG	15	Naranja
18 AWG	34	Amarillo
18 AWG	14	Café
18 AWG	7.7	Gris
16 AWG	3.6	Rojo
16 AWG	6.6	Negro
16 AWG	3.6	Blanco
16 AWG	0.5	Café
16 AWG	0.5	Gris
16 AWG	4.25	Verde-Amarillo
16 AWG	3	Azul claro

9.2. Manual de instalación

Este manual se realizó con el software *HelpNDoc 6* el cual es gratuito y posee una interfaz amigable para los usuarios, tal como se muestra en la Figura [20]. Así mismo, este software posee la modalidad de poder exportar todos los proyectos a distintos formatos, tales como PDF, HTML, entre otros. Posee la modalidad de que el usuario cree sus propias plantillas para los distintos formatos, o bien, conserve la plantilla estándar proporcionada por el mismo programa.

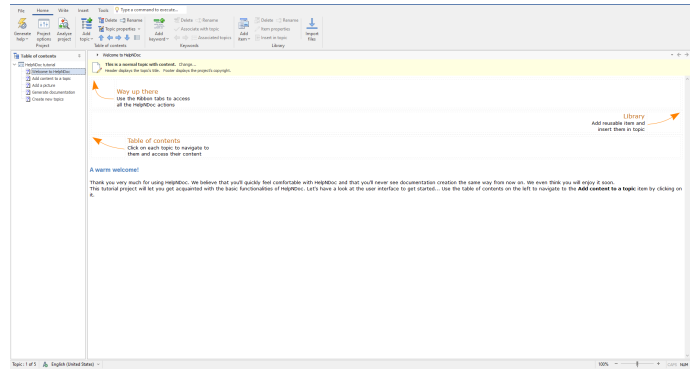


Figura 20: Interfaz HelpNDoc 6

El propósito general de este manual es presentar la manera más adecuada y detallada de la instalación de los diferentes componentes que conforman cada uno de los módulos del tablero de control y la preparación del cableado. Así mismo, mencionar las consideraciones de seguridad que se deben de tomar en cuenta al momento del montaje de las piezas en el panel.

La estructura del contenido que se podrá encontrar en el documento se puede observar en la Figura 21. En la sección 2 se hace mención a directrices de seguridad que deben de tomar en cuenta previamente a comenzar a ensamblar el panel. Así mismo, la sección 3 proporciona un listado de las herramientas básicas necesarias para hacer el trabajo, tales como desarmadores, alicates, metro, entre otras.

La sección de módulo nos proporciona el listado de los componentes que contiene cada uno de los módulos enlistados, así como la forma correcta de montar. Por ejemplo, la subsección *Estructura* menciona cómo se ensamblan las canaletas y rieles a la plancha y armario, la de *Alimentación* proporciona información sobre la forma adecuada de montar la fuente de alimentación junto a los disyuntores que accionan la alimentación del sistema. Las subsecciones *Sistema Lógico*, *Control* y *HMI* continen la información respectiva del ensamblaje del resto de componentes, tales como los pulsadores, variador de frecuencias, PLC, etc. Por último, la sección de preparación de cableado, nos muestra cómo se prepara el cableado y una imagen de cada módulo con sus respectivos calibres y largos de cables.

Introducción	3
Consideraciones de seguridad	3
Herramientas	3
Módulos	5
Estructura	5
Alimentación.....	20
Sistema lógico.....	23
Control	24
HMI.....	26
Cableado	31

Figura 21: Índice del manual de instalación

9.3. Manual de usuario

Este manual, al igual que el manual de instalación se realizó por medio de la aplicación *HelpNDoc 6*. Dentro de este documento se detallan las reglas generales bajo las que se encuentran diseñados los tableros de control mencionados en este trabajo. El usuario podrá encontrar contenido detallado sobre las funciones de los diferentes módulos, así como la función de cada uno de los componentes que los conforman. El índice del se muestra en la Figura 22.

A diferencia del manual de instalación, este contiene las reglas o normativas que se tomaron en cuenta para la selección de identificación y color de los cables a utilizar. Por otro lado, en la sección de módulos se detalla el propósito o función de cada uno de los componentes, así como la función general que contiene cada grupo dentro del funcionamiento final del sistema. Y el listado proporcionado en la última sección contiene hipervínculos que redireccionan al usuario a las hojas de datos de los componentes. Esto con el fin de proporcionar toda la información pertinente para el correcto manejo de los tableros. Cabe mencionar que esta función solo aplica para la versión de escritorio, es decir, para la versión HTML no funcionan los hipervínculos, ya que estos se encuentran dentro de otra carpeta en el repositorio.

Introducción	3
Advertencias	3
Reglas generales	4
Código de identificación	4
Códigos de color	5
Módulos	5
Estructura	5
Alimentación	6
Sistema lógico	8
Sistema de control	9
Sistema HMI	10
Instalación correcta del cable PROFIBUS	11
Conexión de módulos	13
Listado de componentes	19

Figura 22: Índice del manual de usuario

1. Se diseñó la implementación del cableado del CPU, botonería, flipones, HMI y profibus respetando todas las normativas seleccionadas.
2. Para el desarrollo del proyecto se utilizó la normativa IEC 60446 como base para poder elaborar un nuevo código de color e identificación, sin dejar de tomar en cuenta lo que estipula la norma.
3. Las longitudes de las secciones del cable Profibus DP dentro de los tableros de control diseñados, cumplen con los rangos estipulados por la norma RS-485.
4. Se realizó exitosamente un modelo 3D el cuál muestra una visualización previa del producto final, y que se puede ir modificando sin alterar los componentes físicos ni que represente un gasto monetario innecesario.
5. La instalación de los tableros de control se deben hacer con ayuda de ambos manuales, el manual de instalación y el manual de usuario.
6. Se obtuvo un listado de los componentes necesarios para la correcta instalación de paneles de control didácticos para el departamento de Ingeniería Mecatrónica, Electrónica y Biomédica de la Universidad del Valle de Guatemala.
7. Los diagrama unifilares realizados tomaron como base la normativa IEC para la selección de los símbolos, ya que así se creó una uniformidad con los diagramas previos.

CAPÍTULO 11

Recomendaciones

1. Verificar que al momento de la instalación de los cables, estos tengan el largo y color correcto que no se encuentren dañados, y el calibre sea el adecuado para cada una de las aplicaciones.
2. Considerar el anclaje a la pared o la movilidad del sistema para que este sea más seguro de utilizar.
3. Si se decide anclar el sistema, es necesario tomar en cuenta las vibraciones que puede llegar a sufrir la edificación, para la selección de los pernos que sostengan la placa a la pared.
4. Incorporar más módulos a los tableros de control para hacerlos más interactivos y darle a los estudiantes un contenido más amplio para poder aplicar a la industria.

-
- [1] P. Ponsa y A. Granollers, “Diseño y automatización industrial”, *Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña*, 2009.
 - [2] *Wiring Color Codes: Color Codes: Electronics Textbook*. dirección: <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/reference/chpt-2/wiring-color-codes/>.
 - [3] J. I. G. Torres y J. H. G. Ortiz, “Área Transversal de un Cable y su Calibre AWG (American Wire Gauge)”, *Conciencia Tecnológica*, n.º 46, págs. 43-47, 2013.
 - [4] M. E. Macias Garcia, C. Contreras Hinojosa, R. Anaya Zamora, M. E. M. Garcia, C. C. Hinojosa y R. A. Zamora, “Capacidad de corriente de conductores eléctricos”,
 - [5] *Tableros Industriales*. dirección: <http://www.electricidadgeneral.com/Tableros-industriales.html>.
 - [6] www.facebook.com/mecafenix, *Tipos de tableros eléctricos*. dirección: <https://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/tableros-electricos/>.
 - [7] T. Londa, J. Antonio, M. Vera y E. Cornelio, *Diseño y construcción de un tablero didáctico para el control de velocidad de un motor tipo jaula de ardilla utilizando un micro PLC logo, variador de frecuencia y una pantalla TD*. Ene. de 1970. dirección: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/1608>.
 - [8] P. Drahoš e I. Bélai, “The PROFIBUS Protocol Observation”, *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 45, n.º 11, págs. 258-263, 2012.
 - [9] S. H. Hung, “Experimental performance evaluation of Profibus-FMS”, *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 7, n.º 4, págs. 64-72, 2000.
 - [10] R. L. Corzo Torres, H. J. Rodríguez Rodríguez y col., *Red profibus DP aplicada mediante el PLC siemens S7-300*, 2013.
 - [11] Y. Bin-qiang, “Research and Application of Profibus-PA Technology [J]”, *Automation In Petro-chemical Industry*, vol. 5, pág. 018, 2005.
 - [12] N. Association y col., “National electrical code (NFPA 70)”, 2008.

- [13] cablesRCT, *Intensidad admisible de los conductores eléctricos de baja tensión*, 2020. dirección: https://www.cablesrct.com/descargas/varios/intensidades_admisibles.pdf?v=20190509.
- [14] I. Gútiez, *Normas básicas para realizar un cableado Profibus*, jun. de 2020. dirección: <https://programacionsiemens.com/3-normas-basicas-para-realizar-un-cableado-profibus/>.
- [15] J. Castro, J. Laguna y M. Vargas, “La aplicación de interfaces humano-máquina (HMI), en la industria Tijuanaense”, en *Ciencias de la Ingeniería y Tecnología Handbook T-VI: Congreso Interdisciplinario de Cuerpos Académicos*, ECORFAN, 2014, págs. 204-218.
- [16] Dirección: <http://www.machine-information-systems.com/PLC.html>.
- [17] V. Mascarós, V. Casanova y J. Salt, “Análisis experimental del funcionamiento de un sistema de control basado en red sobre el protocolo Profibus-DP (I)”, *XXV Jornadas de Automática, Ciudad Real (España)*, 2004.

13.1. Diagramas unifilares

https://gitlab.com/kekellner/automatizacion/-/blob/MichelleMorales/CAD/electrical/AutoCAD/Panel_de_control_didactico/Panel_de_control_didactico.pdf

13.2. Manual de instalación

<https://gitlab.com/kekellner/automatizacion/-/tree/MichelleMorales/Manual/Manual%20de%20Instalaci%C3%B3n>

13.3. Manual de usuario

<https://gitlab.com/kekellner/automatizacion/-/tree/MichelleMorales/Manual/Manual%20de%20Usuario>

HMI: Este se refiere a la interfaz-usuario-máquina, el cual es utilizado para traducir el lenguaje binario de la máquina que se desea manejar a un lenguaje que el usuario pueda comprender para poder realizar el control manual del sistema. [15]

PLC: *Control lógico programable* es una computadora utilizada en el ámbito de la automatización industrial para optimizar los procesos en los campos electromecánicos, electroneumáticos y electrohidráulicos. Este se encuentra diseñado por diversas señales de entrada y salida que actúan en tiempo real, es decir que todas las tareas que se programan dentro de un PLC deben cumplir con tiempos específicos para llevar a cabo la tarea deseada [16]

Profibus: Proviene de la derivación de *PROces Field Bus*, este es un estándar de comunicación entre sensores de campo y sistemas de control o controladores. Es un bus de campo abierto que cumple con el estándar europeo EN50170 [17]