

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Diseño de automatización: cuarto de secado para café

Trabajo de graduación en modalidad de Trabajo Profesional
presentado por

Elder Geovanni Velásquez Cordon

para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería
Mecatrónica

Guatemala

2013

Diseño de automatización: cuarto de secado para café

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Diseño de automatización: cuarto de secado para café

Trabajo de graduación en modalidad de Trabajo Profesional
presentado por

Elder Geovanni Velásquez Cordon

para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería
Mecatrónica

Guatemala


2013

Vo.Bo.

(f)  _____

Ing. Roberto Delgado

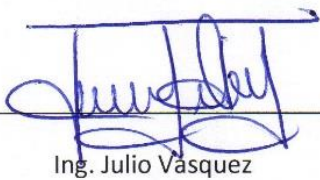
Tribunal Examinador:

(f)  _____

Ing. Aníbal Vargas

(f)  _____

Ing. Roberto Delgado

(f)  _____

Ing. Julio Vásquez

Fecha de aprobación: Guatemala, 21 de julio de 2013

PREFACIO

La idea detrás de este trabajo de graduación vino de la motivación de mi persona en querer implementar todos los conocimientos adquiridos durante la carrera universitaria, en un proyecto en el área de agricultura, y ya que Guatemala es un país agrícola, donde uno de sus principales productos es el café, y normalmente las fincas de café cuenta con sistemas tradicionales para cortar y beneficiar el café. Un día mi papá me comento que un amigo que tiene una finca de café ubicada en la Antigua Guatemala, estaba interesado en invertir en proyectos de alta tecnología para mejorar la producción de su finca. En pláticas con el dueño de la finca, él propuso tres proyectos, los cuales son: Sistema para mejorar la fermentación del café, sistema de movimiento de bandejas dentro de un invernadero y control automático de la temperatura en las secadoras de café. De ellos me interesó más el control automático de la temperatura de las secadoras de café, de allí surgió la idea de poder realizar el proyecto como un trabajo de graduación.

Después de cinco años y medio de estudio, con el apoyo de mi familia, amigos y catedráticos, estoy culminando una etapa más en mi vida. Por esa razón quiero dedicar este trabajo a todas las personas que me apoyaron durante mis estudios universitarios, en especial quiero dedicarle este trabajo a Dios, que gracias a Él que me dio la oportunidad de estudiar, la inteligencia y paciencia para poder culminar mis estudios. También quiero darle las gracias al Ing. Aníbal Vargas que fue mi asesor y al director de Mecatrónica Ing. Roberto Delgado, por ayudarme a realizar este trabajo de graduación.

CONTENIDO

	Página
PREFACIO	iv
LISTA DE TABLAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMEN	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS.....	3
III. MARCO TEÓRICO	4
A. PROCESO DE SECADO DE CAFÉ.....	4
1. El punto de secamiento	4
2. Determinación empírica del secado de café.....	4
3. Métodos de secado de café.....	5
B. VARIADOR DE FRECUENCIA.....	7
C. CONTROL LOGICO PROGRAMABLE (PLC).....	8
1. Unidad central de procesamiento	9
2. Módulos de expansión	9
3. Módulo de comunicación GSM/GPRS.....	9
D. SENSOR DE TEMPERATURA RTD.....	10
E. SENSOR DE HUMEDAD.....	12
IV. METODOLOGÍA	14
V. FINCA BELLA VISTA.....	15
A. UBICACIÓN DE LA FINCA.....	15
B. BENEFICIO DE CAFÉ.....	15
1. Recepción	16

2.	Despulpado	16
3.	Fermentación	16
4.	Lavado	16
5.	Secado	16
C.	SALÓN DE SECADO DE CAFÉ	17
D.	DISCUSIÓN	18
VI.	ESTUDIO ELÉCTRICO DEL SALÓN	20
A.	METODOLOGÍA.....	20
B.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
VII.	DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN	35
A.	METODOLOGÍA.....	35
B.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
1.	Diagrama de flujo	36
2.	Diagrama P&ID	40
3.	Diagrama eléctrico	42
4.	Programa PLC	51
5.	Componentes a usar.....	57
6.	Análisis financiero	60
VIII.	CONCLUSIONES	64
IX.	RECOMENDACIONES	65
X.	BIBLIOGRAFÍA	67
XI.	ANEXOS.....	69
A.	ENTREVISTA.....	69
B.	GLOSARIO.....	70

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Proceso de secado de café	4
Tabla 2. Cuadro de comparación entre Termo copla, RTD y termistor	10
Tabla 3. Especificaciones sensor de humedad.	13
Tabla 4. Equipo a usar	20
Tabla 5. Simbología para los planos de iluminación y potencia.	33
Tabla 6. Consumo de corriente.	34
Tabla 7. Etiquetas diagrama eléctrico.	50
Tabla 8. Equipo nuevo a comprar para la implementación.....	59
Tabla 9. Gastos mensuales de Finca Bella Vista	62
Tabla 10. Flujo de Efectivo Anual proyectado a 5 años.	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Variador de frecuencia Schneider Electric	7
Figura 2. Resistencia-temperatura para un RTD de platino de 100Ω , $\alpha=0.00385$	11
Figura 3. RTD Rosemount 0068P21N00A040T26E5.....	11
Figura 4. HMW61U de Vaisala	12
Figura 5. Finca Bella Vista, Tomada de Google Maps.	15
Figura 6. Planos eléctricos del salón de secado de café, iluminación y potencia. Realizados en AutoCAD 2013 versión de estudiante.....	21
Figura 7. Plano de iluminación. Vista de los ejes del 1 al 3.....	22
Figura 8. Plano de iluminación. Vista de los ejes del 3 al 6.....	22
Figura 9. Plano de iluminación. Vista de los ejes del 6 al 9.....	23
Figura 10. Plano de iluminación. Vista de los ejes del 9 al 12.....	23
Figura 11. Plano de iluminación. Vista de los ejes del 12 al 14.....	24
Figura 12. Plano de Potencia. Vista de los ejes del 1 al 4.....	25
Figura 13. Plano de Potencia. Vista de los ejes del 4 al 8.....	25
Figura 14. Plano de Potencia. Vista de los ejes del 8 al 12.....	26
Figura 15. Plano de Potencia. Vista de los ejes del 12 al 14.....	26
Figura 16. Detalle A. Ver figura 7 en página 21. Figura hecha en Visio 2013.....	27
Figura 17. Detalle B. Ver figura 7 en página 21. Figura hecha en Visio 2013.....	28
Figura 18. Detalle C. Ver figura 7 en página 21. Figura hecha en Visio 2013.	28
Figura 19. Detalle D. Ver figura 8 en página 21. Figura hecha en Visio 2013.	29
Figura 20. Detalle E. Ver figura 8 en página 21. Figura hecha en Visio 2013.....	29
Figura 21. Detalle F. Ver figura 9 en página 22. Figura hecha en Visio 2013.....	30
Figura 22. Detalle G. Ver figura 10 en página 22. Figura hecha en Visio 2013.	31
Figura 23. Detalle H. Ver figura 9 en página 22. Figura hecha en Visio 2013.	32
Figura 24. Simbología planos iluminación y potencia. Figura hecha en Visio 2013.....	32
Figura 25. Diagrama de flujo. Encendido del proceso de secado. Figura hecha en Visio 2013.	36
Figura 26. Diagrama de flujo. Subproceso de secado Guardiola 1. Figura hecha en Visio 2013.	37

Figura 27. Diagrama de flujo. Subproceso de secado Guardiola 2. Figura hecha en Visio 2013.	37
Figura 28. Subproceso de secado cuando las dos guardiolas están funcionando. Figura hecha en Visio 2013.	38
Figura 29. Control de temperatura de cada guardiola. Figura hecha en Visio 2013.	39
Figura 30. Diagrama de flujo. Apagado de las guardiolas y el cascabilero. Figura hecha en Visio 2013.	39
Figura 31. Diagrama PI&D guardiolas 1 y 2. Figura hecha en Visio 2013.	40
Figura 32. Simbología diagrama P&ID.	41
Figura 33. Diagrama eléctrico. Alimentación AC trifásica y 24VDC. Figura hecha en Visio 2013.	42
Figura 34. Diagrama eléctrico. Seguridad. Figura hecha en Visio 2013.	43
Figura 35. Diagrama eléctrico. Activación de los motores. Figura hecha en Visio 2013.	43
Figura 36. Diagrama eléctrico. Ventilador del cascabilero. Figura hecha en Visio 2013.	44
Figura 37. Diagrama eléctrico. Vibrador del cascabilero + ATV71. Figura hecha en Visio 2013.	44
Figura 38. Diagrama eléctrico. Ventilador guardiola 1 + ATV71. Figura hecha en Visio 2013.	45
Figura 39. Diagrama eléctrico. Ventilador guardiola 2 + ATV71. Figura hecha en Visio 2013.	45
Figura 40. Diagrama eléctrico. Motor guardiola 1 + ATV71. Figura hecha en Visio 2013.	46
Figura 41. Diagrama eléctrico. Motor guardiola 2 + ATV71. Figura hecha en Visio 2013.	46
Figura 42. Diagrama eléctrico. PLC S7 315-2 PN/DP + RS232. Figura hecha en Visio 2013.	47
Figura 43. Diagrama eléctrico. RTDs PT100. Figura hecha en Visio 2013.	47

Figura 44. Diagrama eléctrico. Sensores de humedad 2 hilos 4 - 20 mA. Figura hecha en Visio 2013.	48
Figura 45. Diagrama eléctrico. Botones pulsadores. Figura hecha en Visio 2013.	48
Figura 46. Diagrama eléctrico. Módulo GSM/GPRS. Figura hecha en Visio 2013.	49
Figura 47. Seguridad de la máquina. Figura hecha en Visio 2013.	51
Figura 48. Funcionamiento de los variadores de frecuencia. Figura hecha en Visio 2013.	52
Figura 49. Seguridad del programa. Figura hecha en Visio 2013.	52
Figura 50. Encendido de Guardiolas y cascabilero. Figura hecha en Visio 2013.	53
Figura 51. Activación de contactores de los motores. Figura hecha en Visio 2013.	54
Figura 52. Lectura de los sensores de humedad y temperatura. Figura hecha en Visio 2013.	54
Figura 53. Selección que procedimiento se debe hacer. Figura hecha en Visio 2013. ...	55
Figura 54. Caso 1 y caso 2, proceso de secado de café. Figura hecha en Visio 2013. .	55
Figura 55. Caso 3, cuando funcionan las dos guardiolas al mismo tiempo. Figura hecha en Visio 2013.	56

RESUMEN

Este trabajo de graduación comprende el diseño de automatización del salón de secado de café, en donde por medio de un control de temperatura y de humedad, se desea controlar y monitorear el proceso de secado. El trabajo realizado se enfocó en conocer y estudiar el lugar, observar qué elementos hay en las secadoras, qué se debe cambiar, qué se puede reutilizar y qué equipo nuevo hay que comprar.

Conociendo las características del lugar, se prosiguió a realizar planos eléctricos, esto se decide ya que el salón no cuenta con estos planos, que servirán para colocar los nuevos componentes para una implementación.

Se decidió utilizar un PLC Siemens para llevar a cabo esta tarea, con diferentes módulos de expansión analógicos y digitales. Se eligieron variadores de frecuencia marca Schneider Electric para el control de los motores que se utilizan en cada secadora. Por último se hizo un diagrama eléctrico en el cual se detalla la instalación de los componentes que son necesarios para la automatización. Teniendo todos estos datos, se decidió realizar el programa para que funcione la automatización, pero de una forma escrita y sin código oficial, ya que no se cuenta con los recursos para desarrollar el código.

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de graduación se enfoca en la elaboración de un diseño de automatización, en el cual se mostrarán diagramas de flujo y diagramas P&ID los cuales ayudarán a entender de una mejor manera el proceso que se lleva en el salón de secado de café. Se conocerá paso a paso el proceso de secado, cómo es que cada guardiola funciona, las temperaturas de operación a las cuales se debe trabajar para no dañar la calidad final del café, el flujo de cascabillo que debe entrar en el quemador para llegar a la temperatura deseada.

Se presenta un plano eléctrico que detalle las características del salón, ya que con su ayuda se podrá decidir la mejor ubicación para colocar un panel de control principal y, si es necesario, la instalación de paneles auxiliares. También se cuenta con diagramas eléctricos que nos muestran cómo será la conexión interna del panel de control y, si existieran, de los paneles auxiliares.

Como se mencionó al principio de la introducción, este es un trabajo en donde se expone, un diseño, el cual implica que todo el trabajo aquí realizado es de forma teórica y no se lleva a cabo la implementación.

Para poder llevar a cabo el siguiente trabajo de graduación, fue necesario realizar visitas a la finca, en donde se comenzó por conocer el proceso de beneficiado de café, los procesos que se deben seguir para poder lograr un grano de alta calidad, desde el momento del corte hasta el proceso de secado. El beneficiado de café es un proceso muy amplio, el cual dependiendo de varios factores (temperatura, humedad, interés de las personas, entre otros) se puede llegar a tardar varios días. Durante pláticas con el dueño de la finca, salió un comentario en el cual decía que los procesos en donde hay que poner más atención y son de mayor importancia son en el proceso de fermentación y en el proceso de secado, ya que estos determinan la calidad final del café.

Conocer el proceso sirve para poder realizar los diagramas de flujo y el diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID por sus siglas en inglés), el plano eléctrico muestra las condiciones actuales en las cuales se encuentra en el salón. Con estos planos y diagramas, se puede proseguir en buscar que elementos eléctricos y mecánicos son los ideales para poder llevar a cabo una implementación.

Durante cada visita se realizaron observaciones de las instalaciones eléctricas del salón, como es que está distribuida, los componentes que hay: luces fluorescentes, luces tipo canasta, luces tipo campana, switches, tomacorrientes en 110VAC y 220VAC, paneles de distribución, paneles de control, motores (si son trifásicos o monofásicos, potencia, tensión de alimentación, etc.) y sensores. También se estudió el procedimiento que se lleva a cabo para el control de la temperatura de cada guardiola, las posibilidades de aumentar o disminuir la temperatura.

Realizadas las visitas necesarias a la finca, teniendo las características eléctricas del salón, se seleccionó un control lógico programable que pudiera llevar a cabo la tarea de control de temperatura del aire que ingresa a las guardiolas, así como el determinar si el café está completamente seco. Con el control lógico programable seleccionado, se eligieron los sensores que llevaran la tarea de recopilar la información del proceso, los cuales únicamente son de dos tipos, un termómetro y un sensor de humedad por guardiola, así como los módulos de expansión para el control lógico programable encargados de recopilar y traducir esa información. Se seleccionó una opción para el control de los motores que están involucrados en el proceso, el cual es por medio de un variador de frecuencia para cada motor, selecto de acuerdo a sus características eléctricas.

II. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Optimización del proceso de secado de café en las guardiolas de la Finca Bellavista.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Hacer una propuesta de automatización del proceso de secado del café.
2. Hacer un análisis técnico de la propuesta de automatización.

III. MARCO TEÓRICO

A. PROCESO DE SECADO DE CAFÉ

La práctica de secar el café, tiene por objetivo el disminuir el agua del grano de café que fue previamente lavado y escurrido, a un punto que es comercialmente aceptado que reúne las características para almacenarlo, venderlo o trillarlo posteriormente. (Anacafé, 2013)

El proceso de secado de café es más complicado que cualquier otro grano, debido a su alto contenido de humedad (55%), por la volatilización de componentes aromáticos que ocurren a la exposición de altas temperaturas, y también por el efecto de las condiciones de operación que influyen en el aspecto y particularmente en la bebida. (Anacafé, 2013)

Tabla 1. Proceso de secado de café

% Humedad	Peso Total	Material de café (lbs)	Agua (lbs)	Etapas de secado
55	100	45	55	Café lavado escurrido
50	90	45	45	Seco superficial
30	64.28	45	19.28	Grano blando y blando
15	52.94	45	7.94	Grano oscuro y consistente
10	50	45	5	Café pergamino seco

(Anacafé, 2013)

1. **El punto de secamiento.** El punto correcto de secamiento se alcanza cuando el café que se está secando aparece uniforme, obteniendo un color típico verde claro o verde azulado, el cual comienza a ponerse más pálido mientras avanza el resecamiento. (Anacafé, 2013)

2. **Determinación empírica del secado de café.** Para comprobar si el café está con la adecuada cantidad de humedad se pueden utilizar los siguientes métodos para comprobar:

a. A la vista. Consiste en tomar una muestra de café de diferentes puntos de la partida, se le quita el pergamino y se observa su coloración. Si este no ha alcanzado la coloración de verde claro o verde azulado, significa que el café está húmedo aún. (Anacafé, 2013)

b. Con el diente. Se toman granos de café de diferentes puntos de la partida que se está secando, se prensa con los dientes los granos. Se tiene que observar que si al grano de café le queda la marca de los dientes, esto nos dice que ya está a punto; mientras que si los dientes se hunden, significa que el café sigue húmedo; y si no le queda señal al grano, significa que está reseco. (Anacafé, 2013)

c. Con navaja o cuchillo. Se colocan con la cara plana del grano hacia abajo tomados de diferentes puntos de la partida, y se prosigue a cortar cada grano. Si al momento de realizar el corte del grano en dos, estos saltan hacia los lados, el café está a punto; mientras

que si los dos pedazos no saltan significa que sigue húmedo y si el grano no se deja partir está reseco. (Anacafé, 2013)

d. Con martillo. Se colocan los granos con la cara plana hacia abajo, tomados de diferentes puntos de la partida. Se golpea el grano con un martillo. Si al grano le queda marca del golpe está a punto, si los granos se aplastan el café está húmedo, y si el grano se quiebra está reseco. (Anacafé, 2013)

e. Determinación con aparatos. Existen aparatos que permiten medir el grado de humedad de la partida de café. Algunas casas fabricantes han elaborado tablas para emplearlas en sus aparatos con café pergamino y café oro. Generalmente funciona en medir la conductividad o en la constante dieléctrica que se ejerce en un volumen de grano. (Anacafé, 2013)

3. Métodos de secado de café. Después del proceso de lavado y escurrimiento, el café contiene un porcentaje de humedad del 55%. Pero si el objetivo es almacenarlo, venderlo o trillarlo, es necesario llevar la humedad del grano entre el 10% y el 12%. Para lograr esta humedad se emplean diversos métodos de secado. A continuación solo se explicarán tres métodos, los cuales se presentan en la finca Bella Vista, Antigua Guatemala; los cuales son:

a. Secado al sol en patios. Este es el método clásico que se emplea en Guatemala para secar café, sobre todo para secar café de alta calidad. Por ser un proceso de secado lento y natural, proporciona una buena apariencia física del grano y mantiene la calidad de la bebida. El reposo que el café tiene durante la noche hace que la humedad que se encuentra en el interior del grano sea transportada hacia el exterior del mismo, mejorando el tiempo y la calidad del secado. (Anacafé, 2013)

La práctica consiste en extender el café recién lavado en capas delgadas inicialmente sobre un patio, y conforme el proceso de secado avanza estas capas van obteniendo un mayor espesor. (Anacafé, 2013)

Se revuelve constantemente para acelerar y emparejar el secado del grano. Cuando llega la lluvia se recoge en casetas apropiadas. De acuerdo con el lugar y la precipitación de este, el proceso puede llegar a tardar entre 5 a 15 días. (Anacafé, 2013)

El movimiento de volteo de café se realiza con rastrillos que lo que hacen es formar surcos, y se utilizan palas de madera para el amontonamiento del café. (Anacafé, 2013)

La superficie de los patios debe de ser lo más lisa posible, sin irregularidades, ya que al momento de usar la pala, esta debe de dejar un rastro limpio. La mayoría de los patios de café están contruidos de concreto, y ladrillo de cemento líquido. Sin embargo, aún se emplean los patios de ladrillo de barro, sobre todo en la zona de Antigua Guatemala. (Anacafé, 2013)

Se necesita un metro cuadrado para secar 70 libras de café al 55% de humedad. El espesor máximo de la capa de café debe de estar entre 4 a 5 centímetros. La pendiente mínima del patio es del 1% y máxima del 2% con dirección al drenaje. (Anacafé, 2013)

b. Patios térmicos o invernaderos. Este es un sistema de secado que consiste en domos de nylon transparente con protección ultravioleta, montado sobre una estructura que le permita moldear la forma de domo y un piso de patio con efecto aislante, compuesto por una capa de piedras bien compactas, arena fina, nylon de polietileno grueso, malla de gallinero, sabieta y un alisado negro. (Anacafé, 2013)

c. Secadora rotativa tipo guardiola. Esta sin duda es la secadora más antigua que existe y es la más popular en Centro América. Fue desarrollada por José Guardiola en la finca Chocolá, Guatemala, y patentada en 1882. (Anacafé, 2013)

Consta esencialmente de un tambor cilíndrico montado sobre un eje hueco por el cual circula aire caliente y de allí pasa al interior del tambor por medio de tubos radiales perforados colocados opuestos dos a dos. En modelos de guardiolas pequeñas el aire entra por un lado, mientras que en guardiolas grandes el aire entra por ambos lados. (Anacafé, 2013)

El tambor está dividido por tabiques longitudinales en cuatro compartimientos iguales, con ventanas para carga y descarga de café. En el interior del tambor se han soldado figuras y dobleces que permiten revolver de una forma continua la partida de café que se está secando. La superficie externa del tambor está completamente perforada, haciendo que el aire circule del interior hacia afuera, llevándose consigo la humedad del café. En los tabiques perpendiculares al eje van instaladas piezas triangulares que evitan que el café se mantenga indefinidamente junto a los mismos. El tambor debe de girar a una razón de 2 RPM, en algunos casos se han empleado a velocidad de 3 RPM. (Anacafé, 2013)

Un ventilador o soplador de hojas múltiples, aspira aire del ambiente y lo introduce a un calorífero a vapor o bien a un calorífero a fuego directo o indirecto, montado sobre un horno que puede usar leña, diésel o cascabillo. (Anacafé, 2013)

B. VARIADOR DE FRECUENCIA

Figura 1. Variador de frecuencia Schneider Electric



Para poder controlar los motores que se encuentra para la inyección de cascabillo y aire al quemador, aire caliente a la guardiola y el movimiento giratorio que la guardiola tiene, es necesario la utilización de un variador de frecuencia.

Los variadores de frecuencia son dispositivos electrónicos que permiten controlar y regular la velocidad de rotación de un motor de corriente alterna. La regulación de esta velocidad se logra a través del control de la frecuencia de alimentación que se le suministra al motor. La utilización de un variador de frecuencia tiene como ventajas: (Electronica Industrial.cl, 2013)

- Disminución en el consumo energético del motor.
- Prolonga la vida útil de la máquina.
- Evita el alto consumo energético al iniciar el proceso de una máquina.
- Aumentar la precisión de control de diversos dispositivos como ventiladores, compresores, etc.
- Disminuir los costos de mantención y reparación de dispositivos por ejemplo en su aplicación en bombas de agua.
- Reducción de estrés mecánico.
- Reducción de daños por cambios bruscos en cargas, pesos, flujos, etc.

(Electronica Industrial.cl, 2013)

Los variadores de frecuencia que son adecuados para la implementación de la automatización pertenecen a la casa Schneider-Electric de la familia ALTIVAR 71, específicamente para el control de los motores para girar la guardiola, los motores que inyectan aire caliente a la misma y del vibrador del cascabilero, utilizando los modelos ATV71HD11M3X, ATV71HU75M3 y ATV71H037M3 respectivamente. Adicionalmente a estos variadores se tiene que adquirir una tarjeta VW3A3307, la cual es una tarjeta de comunicación PROFIBUS DP, para poder lograr una comunicación con el controlador lógico programable a utilizar en esta automatización, el cual pertenece a la casa de Siemens.

C. CONTROL LOGICO PROGRAMABLE (PLC)

El control lógico programable (PLC por sus siglas en inglés Programmable Logic Controller) es un dispositivo electrónico que puede ser programado por el usuario y se utiliza en la industria para resolver problemas de secuencias de las máquinas o de los procesos. En la actualidad los PLC tienen un amplio campo de aplicación. Se utilizan fundamentalmente en procesos de maniobras de máquinas, control, señalización, etc. En los procesos industriales son muy utilizados, ya que se pueden utilizar en cualquier tipo de industria y ofrecen conexiones a la red, haciendo posible la comunicación del PLC con una computadora y otros dispositivos al mismo tiempo, permitiendo realizar monitoreo, estadísticas y reportes. (Abc Electronics, 2013)

El PLC tiene como funciones el detectar señales de diferentes tipos, elaborar y enviar acciones al sistema según el programa que tenga, recibe configuraciones y da reportes al operador o supervisor del proceso y el programa que utiliza permite modificarlo incluso por el operador cuando este está autorizado. Por lo anteriormente descrito se puede ver que el utilizar un PLC es posible hacer automático, prácticamente, cualquier proceso, mejorando la eficiencia y confiabilidad de la máquina, y sobre todo bajar los costos. En pocas palabras el PLC se paga solo. (Abc Electronics, 2013)

Utilizar un PLC tiene como ventajas:

- Menor tiempo en la elaboración del proyecto.
- Modificaciones al programa sin cambiar el cableado.
- Mínimo espacio de ocupación.
- Menor costo en la instalación.
- Mantenimiento económico.
- Se pueden controlar varias máquinas con un solo controlador lógico programable.

(Abc Electronics, 2013)

El sistema de PLC consta de las siguientes características:

1. **Unidad central de procesamiento.** La unidad de central de procesamiento (CPU por sus siglas en inglés), es la encargada de llevar a cabo todas las operaciones lógicas y aritméticas que son recolectadas a través de los sensores y los cuales modifican los valores de salida que van hacia los motores.

Para esta automatización se desea utilizar una CPU de Siemens S7-315-2 PN/DP (6ES7315-2EH14-0AB0), que pertenece a la familia de PLC S7300.

2. **Módulos de expansión.** Los módulos de expansión se pueden clasificar como módulos de expansión digital o módulos de expansión analógica. Estos módulos pueden ser de entradas o salida. Los módulos de entrada son los encargados de recolectar información del medio y traducirla al lenguaje que el PLC entiende, los módulos de salida son los encargados de enviar la información del PLC al actuador en el lenguaje de voltaje que este entiende.

Los módulos seleccionados para realizar esta tarea son:

- a. **Módulo de entradas S7300 8AI T/C 4AI PT100 20P (6ES7 331-7SF00-0AB0).** Este es un módulo especialmente para la conexión de termo coplas o RTD PT100.
- b. **Módulo de entradas S7300 8AI 9/12/14 bits 20P (6ES7331-7KF02-0AB0).** Este es un módulo que permite la lectura de sensores que envían su señal en 4 – 20mA, ideal para la comunicación con los sensores de humedad.
- c. **Módulo de entradas S7300 16DI 24VDC 20pin (6ES7321-1BH02-0AA0).** Este es un módulo de entradas digitales entre 0 – 24VDC, que nos permite recibir información de los botones y seguridades del panel.
- d. **Módulo de salidas S7300 8DO 24VDC 2A 20PN (6ES7322-1BF01-0AA0).** Este es un módulo de salidas digitales entre 0 – 24VDC, el cual se encarga de enviar la información a los diferentes actuadores del circuito. Soportando una salida de 2A por cada bit.

3. **Módulo de comunicación GSM/GPRS.** Una de las características de la automatización es que sea capaz de comunicar el estado y errores que el sistema tiene en ese momento. Para poder lograr esto, Siemens dentro de su gama de productos tiene un módulo el cual se encarga de enviar mensajes cortos por medio de mensajes de texto a través de una red celular.

Para poder realizar esta comunicación la familia de S7300 presenta una cómoda solución, con la cual se puede enviar mensajes de texto utilizando una comunicación serial entre el módulo

GSM/GPRS y el PLC. Este se compone de un módem SINAUT GSM/GPRS (6N-H9720-3AA00) y un módulo de comunicación serial CP340 (6ES7-340-1AH02-0AE0).

D. SENSOR DE TEMPERATURA RTD

Tabla 2. Cuadro de comparación entre Termo copla, RTD y termistor

CRITERIO	TERMO COPLA	RTD	TERMISTOR
RANGO TEMPERATURA	-267°C a 2316°C	-240°C a 649°C	-100°C a 500°C
PRECISION	Buena	Mejor	Buena
LINEARIDAD	Excelente	Mejor	Buena
SENSIBILIDAD	Buena	Excelente	Mejor
COSTO	Mejor	Buena	Excelente

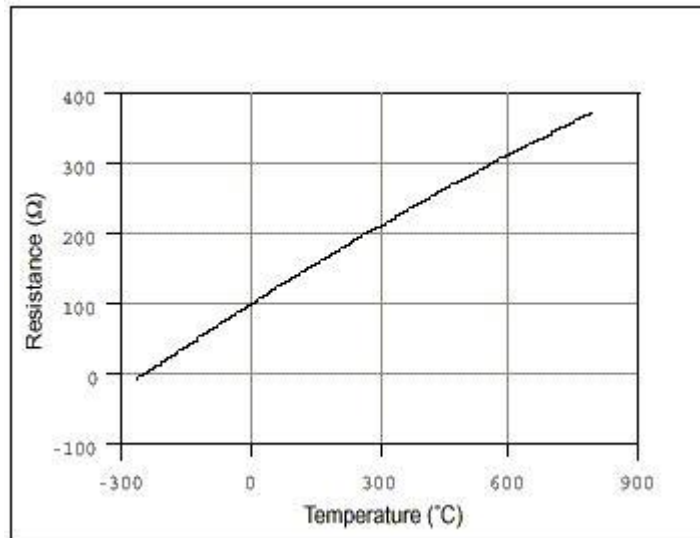
(National Instruments, 2013)

Los detectores de resistencias de temperatura (RTD por sus siglas en inglés) operan bajo el principio de los cambios en las resistencias eléctricas debido a la temperatura que se sometan. (National Instruments, 2013)

Los elementos típicos utilizados para la elaboración de un RTD son de níquel (Ni), cobre (Cu) y platino (Pt). Aunque de los materiales mencionados anteriormente el platino es el más utilizado para la elaboración de RTD debido a su amplio rango de temperatura, precisión y estabilidad. (National Instruments, 2013)

Entre la mayoría de sensores electrónicos para medir temperatura, los RTD son los más populares debido a su excelente estabilidad y a la linealidad con que muestran la señal con respecto a la temperatura a medir con respecto a cualquier otro sensor de temperatura como se observa en la Tabla 2. (National Instruments, 2013)

Figura 2. Resistencia-temperatura para un RTD de platino de 100Ω , $a=0.00385$



(National Instruments, 2013)

Para la implementación de la automatización se utilizarán RTD fabricadas por la casa de ROSEMOUNT como se muestra en la siguiente figura, especialmente de la familia 0068.

Figura 3. RTD Rosemount 0068P21N00A040T26E5



E. SENSOR DE HUMEDAD

El principio básico de un sensor de humedad es que este mide la humedad relativa del aire. (Tecnovex, 2013)

La humedad es un fenómeno natural, que se presenta a nivel molecular y se relaciona con la cantidad de partículas de agua presentes en una determinada sustancia, la cual puede estar en estado sólido o gaseoso. (Kouro, 2001)

La humedad relativa es la razón entre la presión parcial del vapor actual, y la presión del vapor de saturación, expresada generalmente en un porcentaje. $HR = \frac{P_v}{P_{sat}} * 100 [\%]$, nótese que si $P_v = P_{sat}$ se tiene una humedad relativa del 100%. (Kouro, 2001)

El secado de café funciona inyectando aire caliente en los dos extremos del cilindro de la guardiola y que este salga por agujeros que el cilindro tiene en todo su cuerpo. Para lograr medir la humedad que tiene el café, se tiene que colocar el sensor de humedad sobre las paredes del cilindro sin que estén en contacto. Luego se tiene que realizar mediciones en donde se pueda relacionar la humedad que se tiene en la salida del cilindro con la humedad del café, haciendo esta relación se puede llegar a determinar un algoritmo o una función que nos indique si el café está totalmente seco.

Los sensores de humedad que se adecuan para la implementación de una automatización pertenecen al fabricante de Vaisala, el sensor HMW61U. Como se muestra en la Figura 4 a continuación.

Figura 4. HMW61U de Vaisala



Tabla 3. Especificaciones sensor de humedad.

Rango humedad relativa	0% a 100%
Tipo de producto	Transmisor de humedad relativa
Precisión de humedad relativa	$\pm 2\%$ de 0% a 90% ± 3 de 90% a 100%
Tiempo de respuesta	15 segundos
Salida	4 – 20 mA
Construcción	Encapsulado de plástico ABS
Dimensiones	4.6875 in Ancho x 7.6875 in Alto x 1.25 in Profundidad
Voltaje	10VDC a 35 VDC
Marca	Vaisala
Modelo	HMW61U

IV. METODOLOGÍA

El desarrollo del trabajo de graduación se divide en una serie de capítulos los cuales tratan de una forma más detallada cada paso para poder realizar el trabajo de graduación. Estos capítulos tratan sobre el conocimiento del lugar y el estudio del proceso de secado de café (Finca Bella Vista), el estudio eléctrico del salón y, el último, sobre el diseño de automatización del salón.

V. FINCA BELLA VISTA

Como parte de la investigación para el desarrollo de una automatización del salón de secado de café, es necesario conocer todo el proceso por el cual el grano de café tiene que pasar antes de secarlo y el lugar físicamente, para ver con qué equipo cuenta el salón, y así determinar los componentes que hacen falta o si se pueden utilizar los ya existentes.

A. UBICACIÓN DE LA FINCA

La finca está ubicada en el Valle Panchoy, Sacatepéquez, Guatemala.

Figura 5. Finca Bella Vista, Tomada de Google Maps.



(Google, 2013)

Como se muestra en la Figura 5, se observa que la finca Bella Vista se encuentra entre Antigua Guatemala, Ciudad Vieja y San Pedro Las Huertas. La entrada de la finca se encuentra ubicada en el camino que lleva de la Antigua Guatemala hacia Ciudad Vieja, como se muestra en el círculo azul en la Figura 5.

B. BENEFICIO DE CAFÉ

La finca Bella Vista cuenta con el espacio, como se ve en el círculo amarillo en la Figura 5, y la infraestructura para el proceso de beneficiado del café. El beneficio se divide en cinco procesos, los cuales son:

1. Recepción. En este proceso es en donde se recibe el café que proviene del corte de café o de otras fincas, ya que la finca compra café a fincas que no cuenta con un beneficiado propio. Se pesa el café recibido y se observa la calidad con la que viene, es decir se observa la cantidad de granos verdes y rojos que viene por la partida.

2. Despulpado. Antes de poder pasar al proceso de despulpado, es necesario trasladar el café que se recibió al área de despulpe. Este traslado se realiza a través de un tornillo sin fin que mueve los granos de café, en esta parte el café es transportado con piedras, palos, etc. Al final del tornillo sin fin, el café cae en una pila la cual está llena de agua y separa hojas, papel, palos, basura liviana del café, grano de café seco. En la parte inferior de la pila el café es succionado por un tubo, en el cual durante su recorrido cuenta con mini piletas en las cuales las piedras que pasan, se depositan en el fondo. Al final de este tubo solo los granos de café caen a las máquinas despulpadoras.

El proceso de despulpado consiste en separar el grano de café y su cáscara. Esto se hace a través de máquinas despulpadoras, las cuales presionan el café haciendo separar la cascara y el grano. La máquina envía la cáscara de café por una canaleta hacia un área en donde esta será procesada para reciclarla y poderla utilizar. Los granos de café son enviados a una canaleta, diferente a la de la cascara, hacia el área de fermentación.

3. Fermentación. El proceso de fermentación es un proceso el cual tarda alrededor de 16 horas, dependiendo de la temperatura del ambiente. La finalidad de este proceso es hacer que la separación del mucilago en el grano de café sea más fácil. Esto se logra a través de pilas en donde el café, después de ser despulpado, se deposita y se deja en reposo durante el tiempo que sea necesario. Una vez que se completa el proceso de fermentación, el café es transportado por medio de canales al área donde será lavado.

Durante el proceso de fermentación se tiene que llevar un monitoreo constante de cada pila, ya que si se deja que el café se fermente demasiado, el grano llega a tomar características muy ácidas, haciendo que el sabor de la taza de café sea amargo. Por otra parte si no se fermenta el tiempo correcto la separación del mucilago del grano no se llega a completar a su totalidad, haciendo que el sabor en la taza de café sea diferente y bajando su calidad.

4. Lavado. El proceso de lavado consiste en lavar el café con mucilago a través de un chorro de agua, logrando separar el mucilago del café. Una vez lavado los granos de café, estos son transportados al área de secado, la cual puede ser en patios de secado al sol, en el invernadero o en una secadora.

5. Secado. Este el último proceso del beneficiado de café, en este último proceso el café pasa por un proceso de eliminación de agua del grano, llegándolo a un punto de humedad en el cual se pueda vender, almacenar o trillar.

Este proceso es el que determina la calidad del grano, ya que si se seca mucho el café el grano se vuelve quebradizo y pierde su olor; o en caso contrario si se le deja con bastante humedad el grano, este al momento de almacenarlo puede llegar a desarrollar un tipo de hongo que arruinaría el grano.

Es importante resaltar que durante el proceso de secado hay que tomar ciertos parámetros que permiten que el grano al momento de ser secado no pierda sus propiedades físicas, de olor y de sabor. Si se está secando en patios el café se tiene que controlar que no esté más tiempo del debido, ya que el sol puede llegar a resecar el café; o dejarlo menos tiempo del que es, ya que el grano no se lograría secar haciendo que en un futuro este pueda desarrollar algún tipo de hongo. En el caso de secar el café en secadoras rotativas tipo guardiola, hay que controlar la temperatura del aire que ingresa a la secadora, que se encuentre entre un rango de «50°C a 55°C» (Ac, 2013), ya que si la temperatura pasa este rango el café puede resecarse o si la temperatura está por debajo de este rango se tomaría más tiempo en secar el café o este no se llegaría a secar completamente.

C. SALÓN DE SECADO DE CAFÉ

El salón de secado de café que forma parte del beneficio de la finca Bella Vista, cuenta con un equipo de 2 secadoras rotativas tipo guardiola, las cuales tienen una capacidad instalada de «60qq de café pergamino seco» (Ac, 2013) cada una. El salón de secado funciona entre los meses de octubre a mayo, tiempo en el cual se corta y beneficia el café.

El proceso de secado de café en secadoras se tarda entre «24 a 26 horas» (Ac, 2013) hasta lograr que el grano esté listo para su almacenaje, venta o para trillarlo. Utilizar el salón con las secadoras hace que la finca tenga que gastar energía eléctrica para el funcionamiento del control de la temperatura del aire que se utiliza para secar el café, ya que esta tiene que rondar entre los «50°C a 55°C» (Ac, 2013), así como el control para hacer girar las guardiolas con café. Debido a que el control actual de todo el salón lo realiza una persona, muchas veces esta persona encargada deja que la temperatura llegue a temperaturas mayores a las mencionadas anteriormente, haciendo que el grano de café se reseque.

Debido al mal control del proceso y al gasto de energía que conlleva, el salón de secado está como último recurso para secar café. En la finca se prefiere secar el café de una forma tradicional, es decir que la primera opción a usar son los patios de secado, ya que por este método el café no sufre daños por resequedad, aunque se tarde más el proceso de secado. Si todos los patios están en uso, se comienza a secar en el invernadero, donde se lleva un mejor control de las condiciones de humedad del ambiente. El invernadero es pequeño en comparación del área usada en los patios o el área de las secadoras. En este método de secado se requiere el uso de más personal

para mover las bandejas de café para que logren un secado uniforme. Y por último, si el invernadero está lleno, se utilizan las guardiolas que se encuentran en el salón de secado.

El salón de secado cuenta con cinco motores trifásicos y una bobina monofásica, estos motores son los que actualmente están instalados y con los cuales se planea trabajar a excepción de la bobina monofásica que será reemplazado por un motor trifásico, para obtener un mejor control por medio de un variador de frecuencia. Los seis motores se pueden dividir en tres diferentes etapas, las cuales son el cascabilero, el ventilador y la guardiola. Las características de los motores fueron tomadas en una lectura y observación directa a los que se tiene instalado actualmente en la finca.

En el área del cascabilero se necesitan dos motores, uno que es el vibrador del cascabilero, el cual es una bobina monofásica que se encuentra instalada actualmente. Esta bobina tiene las siguientes características, es una bobina monofásico con una alimentación 110V AC. Se planea reemplazar por un motor trifásico que se encuentra almacenado en la finca, el cual tiene las siguientes características, tiene una alimentación de 240/460 V @ 1720rpm, con una potencia 0.5kW.

El cálculo del motor del vibrador no es de gran importancia, ya que este motor solo necesita hacer vibrar una lámina que se encarga de hacer bajar el cascabillo para introducirlo al quemador.

También se encuentra en el área del cascabilero un motor para el ventilador que ingresa el cascabillo al quemador. Este motor tiene las características siguientes, es un motor trifásico que se alimenta con un voltaje 240/460 V @ 1710rpm, con una potencia de 2.2kW.

En el área del ventilador se encuentran dos motores, uno para cada guardiola. Estos ventiladores son los encargados de extraer el aire caliente del quemador e introducirlo a la guardiola. Las características para estos dos motores son las mismas. Tiene que ser un motor trifásico que se alimenta con un voltaje 240/460 V @ 1760rpm, con una potencia de 7.5kW.

Cada guardiola cuenta un motor trifásico que la hace girar. Este motor se alimenta con un voltaje de 240/460 V @ 1750rpm, con una potencia de 11kW.

D. DISCUSIÓN

Conocer la finca Bella Vista, en especial el proceso de beneficiado de café da una idea más clara sobre el proceso de secado de café por medio de una guardiola. En este capítulo se puede observar que cada proceso del beneficiado de café es tan importante, y que si llega a fallar o se comete un error en uno de estos pasos puede hacer que el café pierda su calidad, afectando el precio de venta de este. De los cinco procesos del beneficiado de café mencionados anteriormente, el proceso de fermentación y el proceso de secado son los más críticos y los que tienen que estar en constante monitoreo.

Durante el proceso de secado de café, a través de una guardiola, el controlar y regular el aire caliente que ingresa a la guardiola es de suma importancia, ya que este flujo de aire caliente es el que aumenta la temperatura dentro de la guardiola y que muchas veces la persona encargada deja aumentar la temperatura a niveles más altos de lo permitido, haciendo que al final el café pierda su características físicas, de sabor y de olor.

Se observa que el salón cuenta con cinco motores trifásicos y una bobina monofásica para la operación de las dos guardiolas y cascabillero. Se propone utilizar los motores que se encuentran instalados en el salón actualmente, ya que estos están en buen funcionamiento y son los ideales para que el salón de secado funcione óptimamente.

Se plantea sustituir la bobina del cascabillero, ya que el control se simplificaría si se coloca un motor trifásico de $\frac{1}{2}$ kW, este motor se escogió ya que en la finca tiene almacenado un motor trifásico que no está en uso.

VI. ESTUDIO ELÉCTRICO DEL SALÓN

El salón no cuenta con planos propiamente, así que como parte del estudio se hicieron planos eléctricos del salón, los cuales nos dan una idea más clara de estas características que se están buscando.

A. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el estudio eléctrico fue necesario la visita al lugar físicamente, y observar toda la instalación eléctrica que hay, así como el contar con el equipo que se muestra la Tabla 4 para poder realizar el estudio de una mejor manera.

Tabla 4. *Equipo a usar*

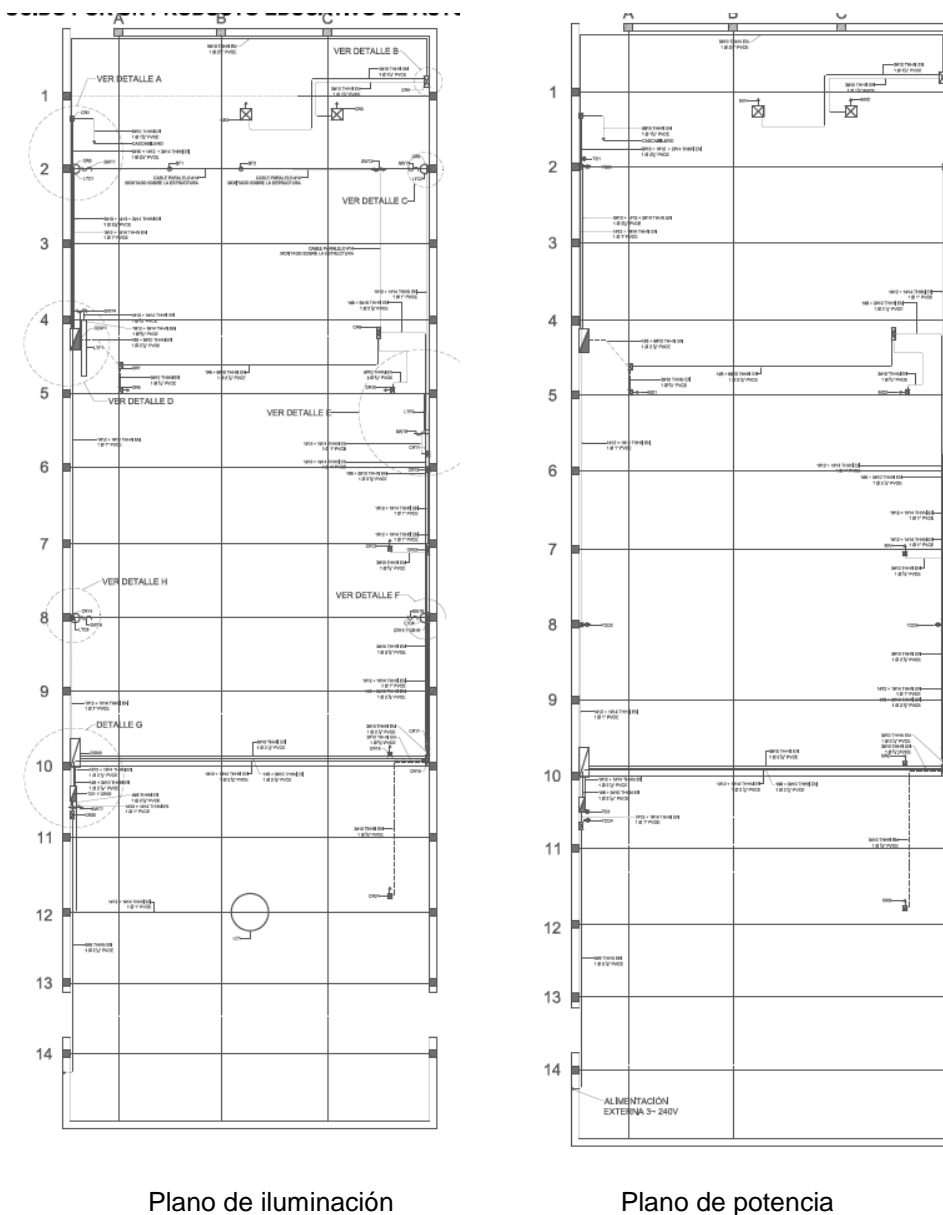
Equipo a usar
Amperímetro de gancho [600V AC]
Cinta métrica [5m]
Escalera
Lapiceros y lápiz
Cuaderno de dibujo y anotación
Vernier
Binoculares

Dentro del salón se determinó la altura de los componentes, sus dimensiones, el largo o tramo que deberán recorrer, el ancho de la tubería y su largo, el equipo que se utiliza y sus características. Se hicieron mediciones de las dimensiones de los componentes dentro del salón y la separación entre cada componente. Por último, obtenidos todos estos datos, se elaboraron dos planos, en el primero se muestran los circuitos de iluminación y en el otro los circuitos de potencia.

B. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se observan imágenes que dan una mejor idea de cómo está la instalación eléctrica del salón.

Figura 6. Planos eléctricos del salón de secado de café, iluminación y potencia. Realizados en AutoCAD 2013 versión de estudiante.



En la Figura 6 se observa cómo es el salón físicamente, el salón cuenta con un amplio espacio en donde también se utiliza para almacenar café seco en costales. El salón mide 10m de ancho por 30m de largo. Las guardiolas están ubicadas entre la línea de eje 1 hasta la línea de eje 5, teniendo un área aproximada de 100m².

Para poder entender la instalación eléctrica del salón es necesario de revisar los detalles que se encuentran a partir de la página 30, la figura 24 y tabla 5 con lo que significa cada etiqueta y símbolo dentro del plano.

A continuación se amplían estas imágenes en donde se puede apreciar con detalle la instalación eléctrica del salón. Se inicia con las imágenes del plano de iluminación.

Figura 7. Plano de iluminación. Vista de los ejes del 1 al 3.

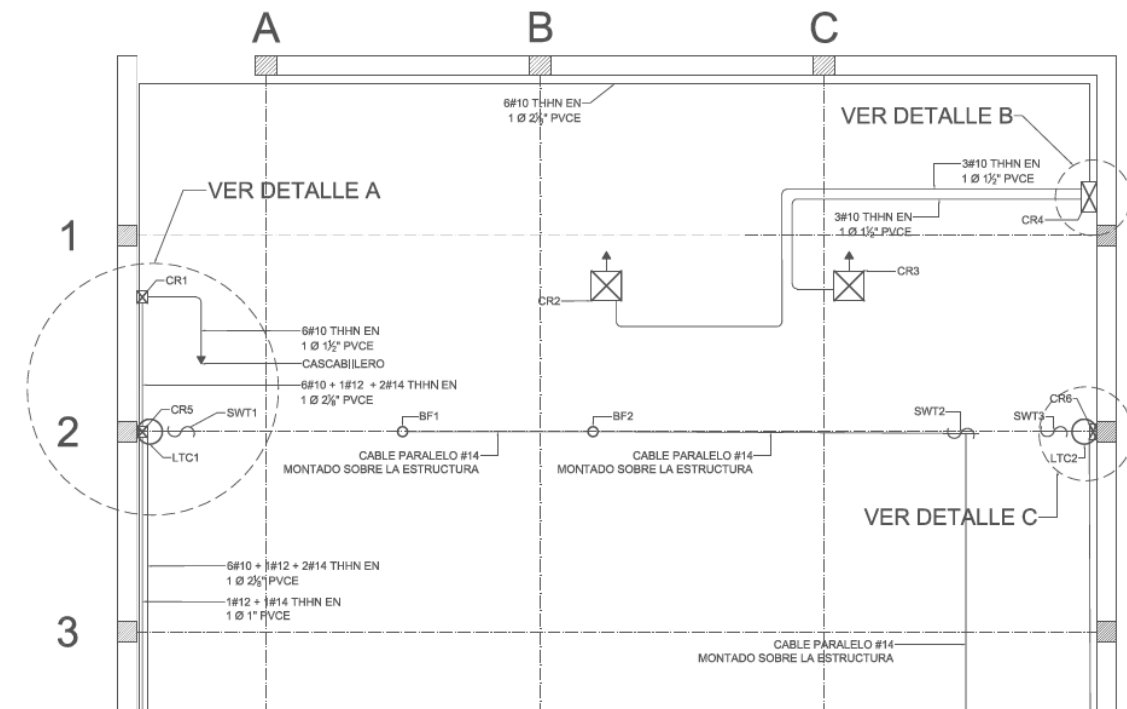


Figura 8. Plano de iluminación. Vista de los ejes del 3 al 6.

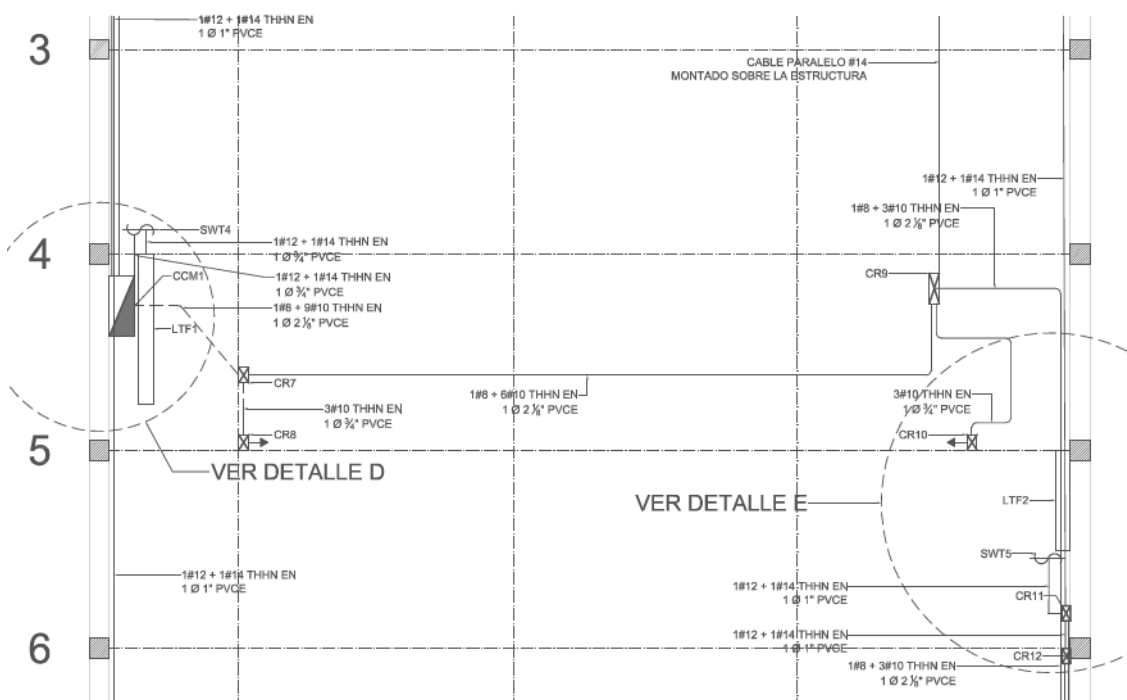


Figura 9. Plano de iluminación. Vista de los ejes del 6 al 9.

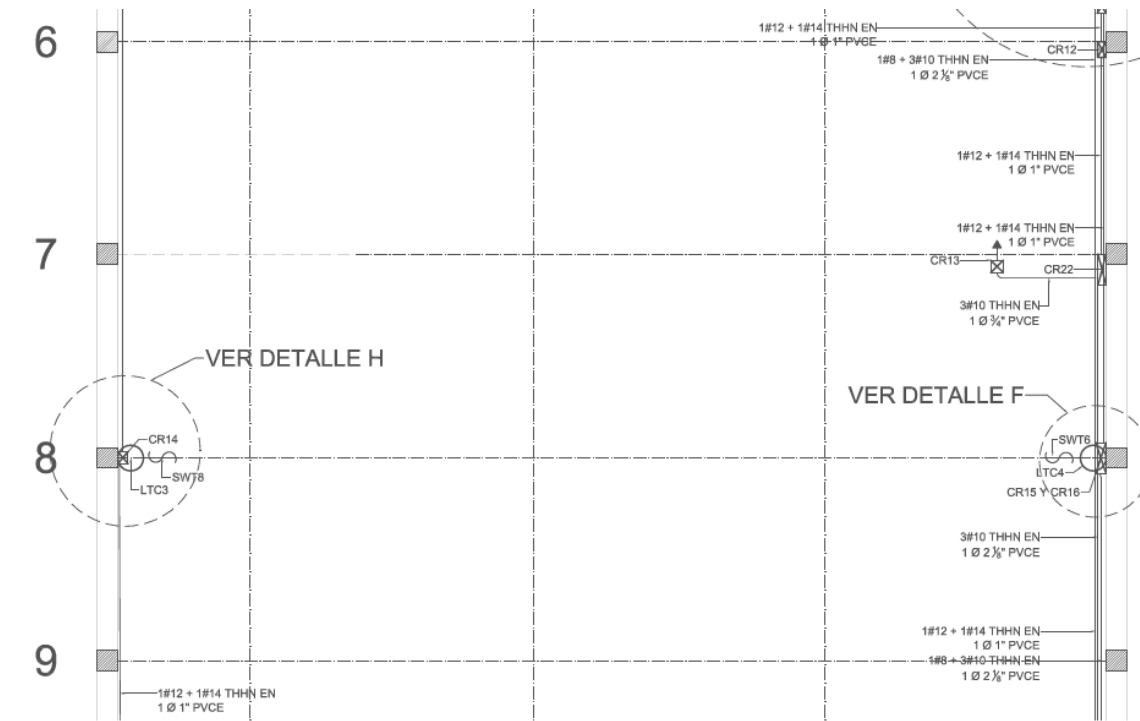


Figura 10. Plano de iluminación. Vista de los ejes del 9 al 12.

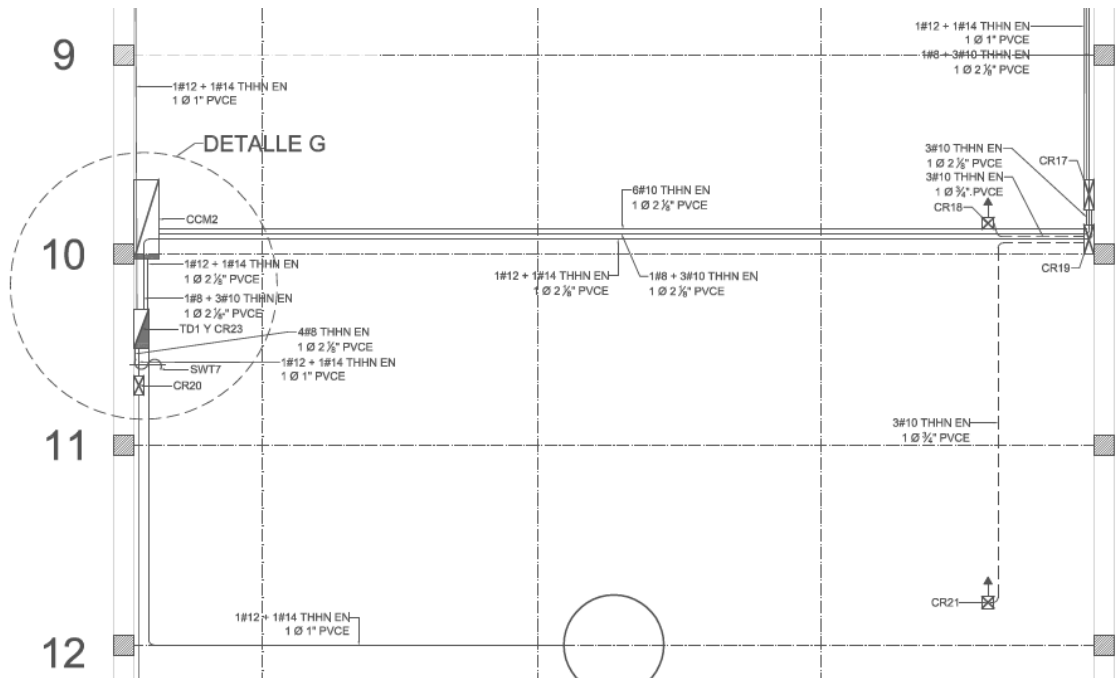
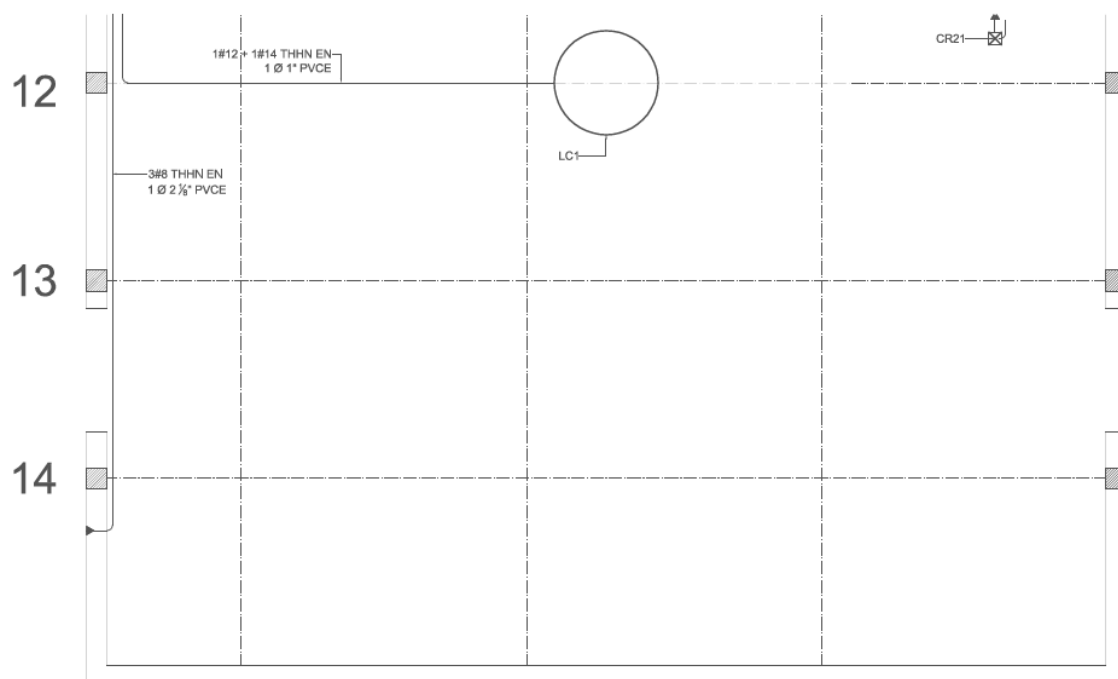


Figura 11. Plano de iluminación. Vista de los ejes del 12 al 14.



De la Figura 7 a la Figura 11 se pueden observar las diferentes tuberías que hay en el salón, el diámetro de las tuberías, el material de la tubería, que en todo el salón se utilizó un plástico PVC eléctrico de color gris (PVCE por sus siglas) y la cantidad de cables que transporta cada una con su respectivo calibre.

A continuación se muestran imágenes del plano de potencia.

Figura 12. Plano de Potencia. Vista de los ejes del 1 al 4.

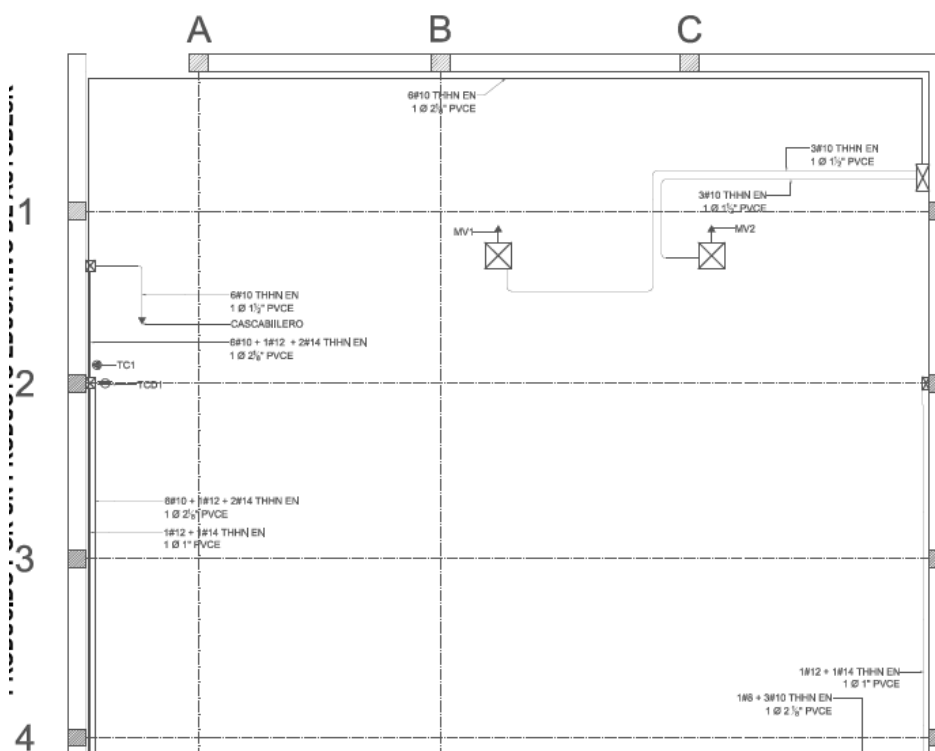


Figura 13. Plano de Potencia. Vista de los ejes del 4 al 8.

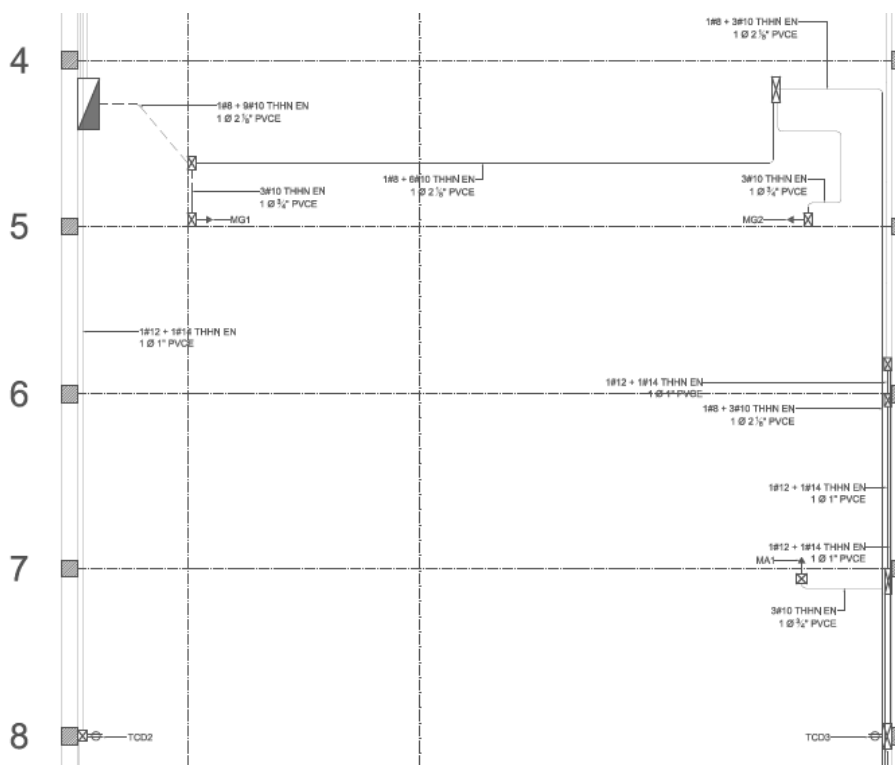


Figura 14. Plano de Potencia. Vista de los ejes del 8 al 12.

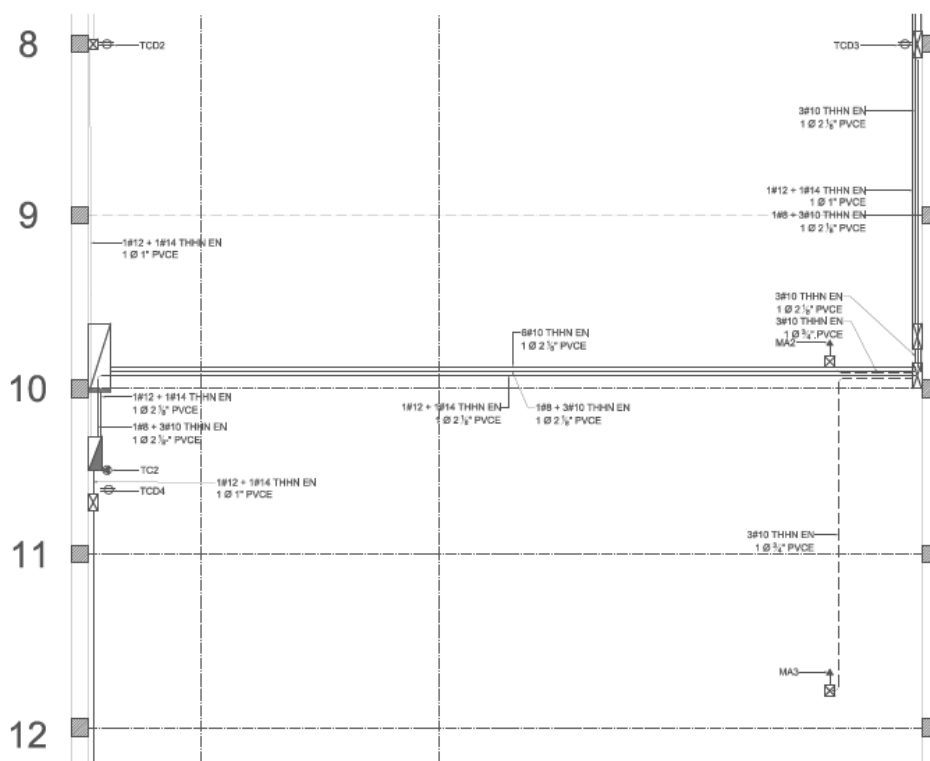
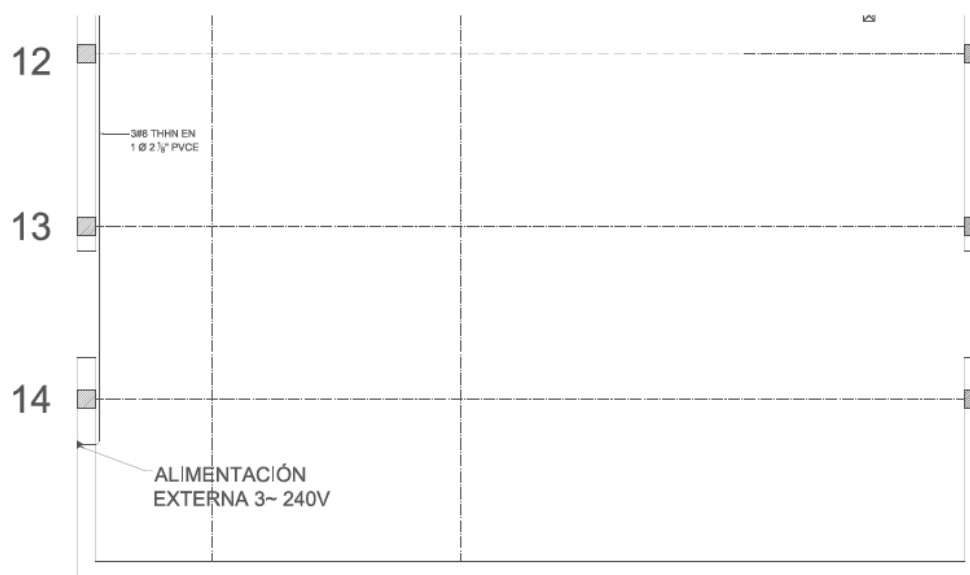


Figura 15. Plano de Potencia. Vista de los ejes del 12 al 14.



En las figuras de la 12 a la 15, se observa que son pocos los toma corrientes de 110V y 220V que hay instalados en el salón. Pero se tienen instalados nueve motores, de los cuales seis pertenecen a las guardiolas 1 y 2.

Para entender la instalación eléctrica del salón fue necesario la realización de detalles, los cuales son una representación en elevación de cada parte del plano. Son imágenes que fueron hechas sin escala.

Figura 16. Detalle A. Ver Figura 7 en página 21. Figura hecha en Visio 2013.

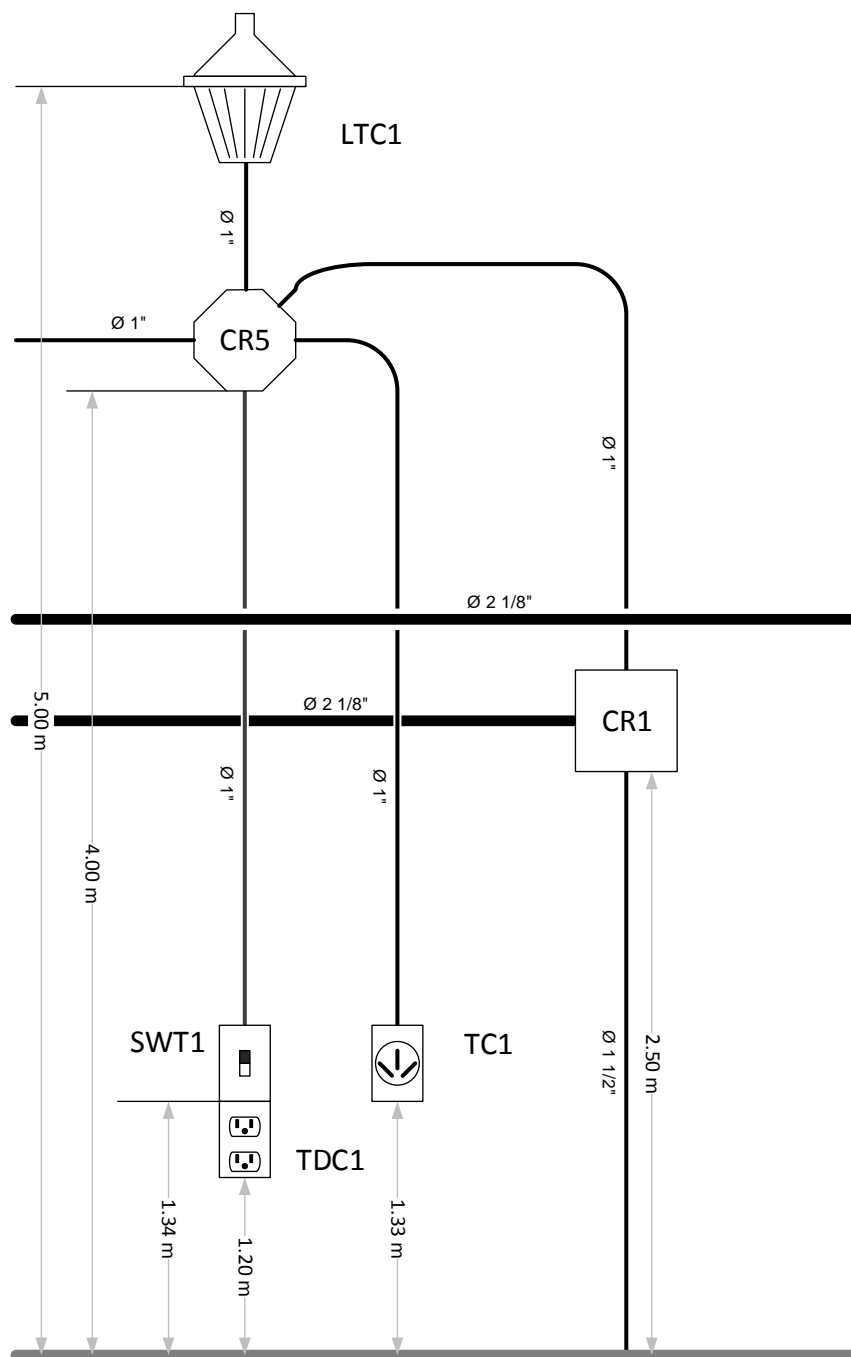


Figura 17. Detalle B. Ver Figura 7 en página 21. Figura hecha en Visio 2013.

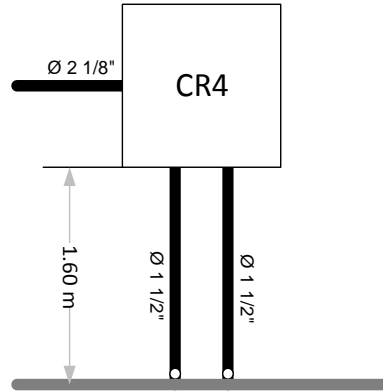


Figura 18. Detalle C. Ver Figura 7 en página 21. Figura hecha en Visio 2013.

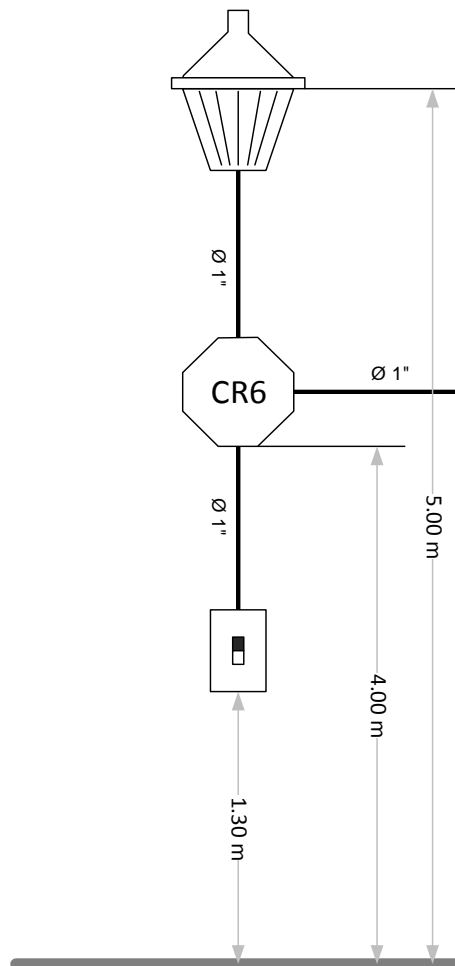


Figura 19. Detalle D. Ver Figura 8 en página 21. Figura hecha en Visio 2013.

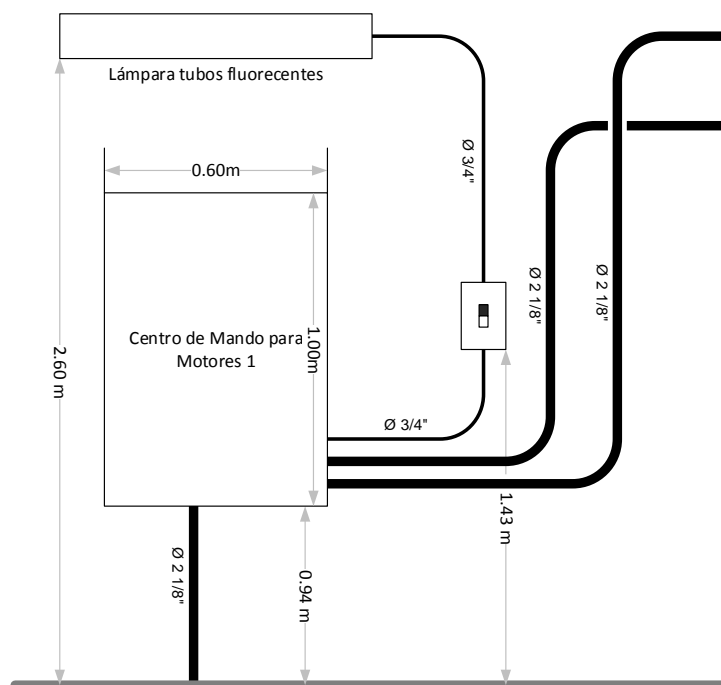


Figura 20. Detalle E. Ver Figura 8 en página 21. Figura hecha en Visio 2013.

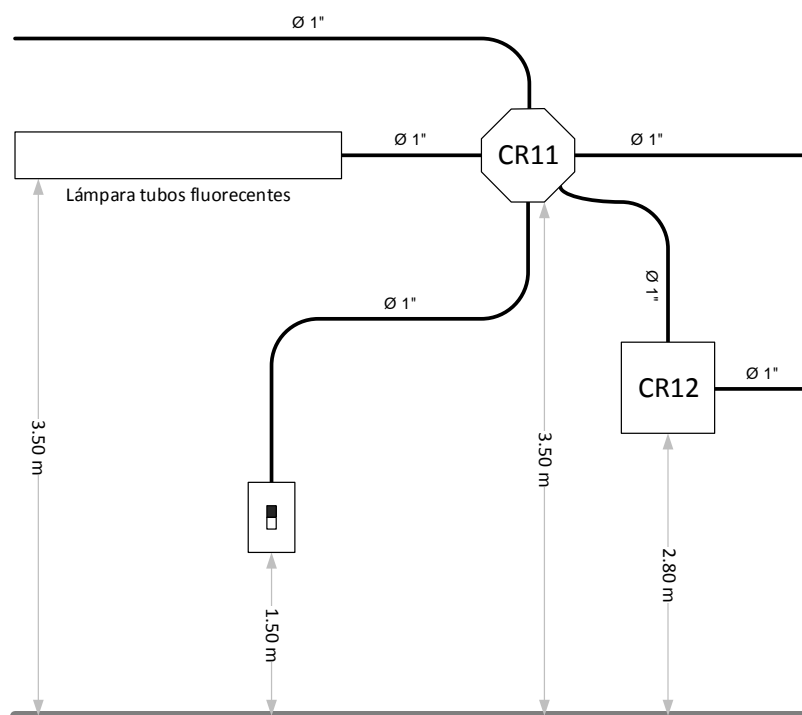


Figura 21. Detalle F. Ver Figura 9 en página 22. Figura hecha en Visio 2013.

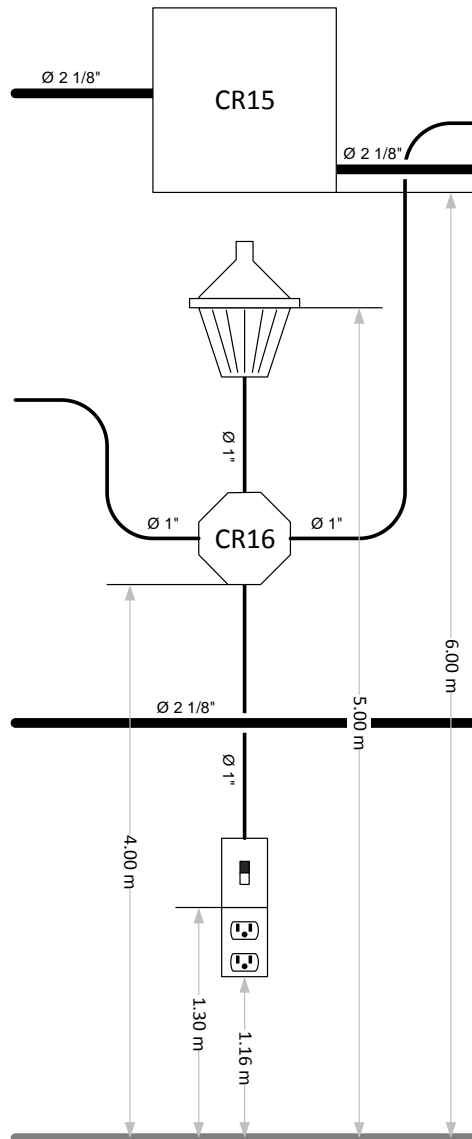


Figura 22. Detalle G. Ver Figura 10 en página 22. Figura hecha en Visio 2013.

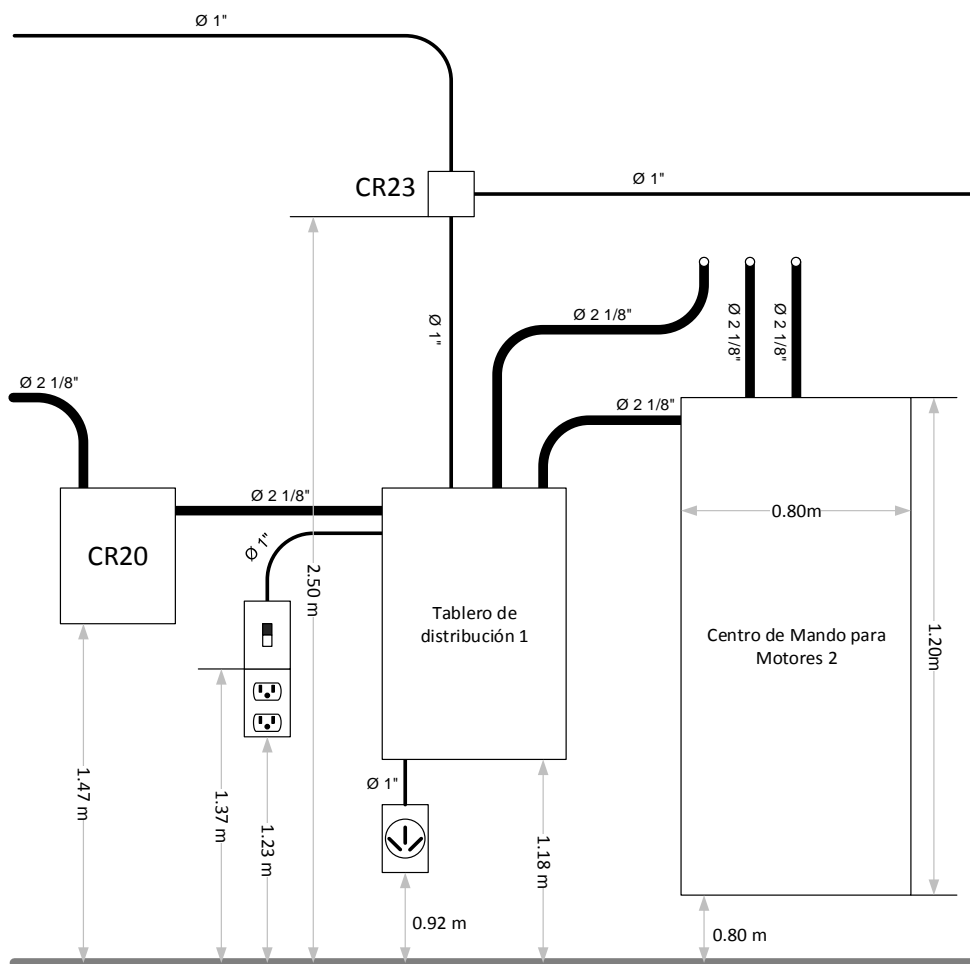


Figura 23. Detalle H. Ver Figura 9 en página 22. Figura hecha en Visio 2013.

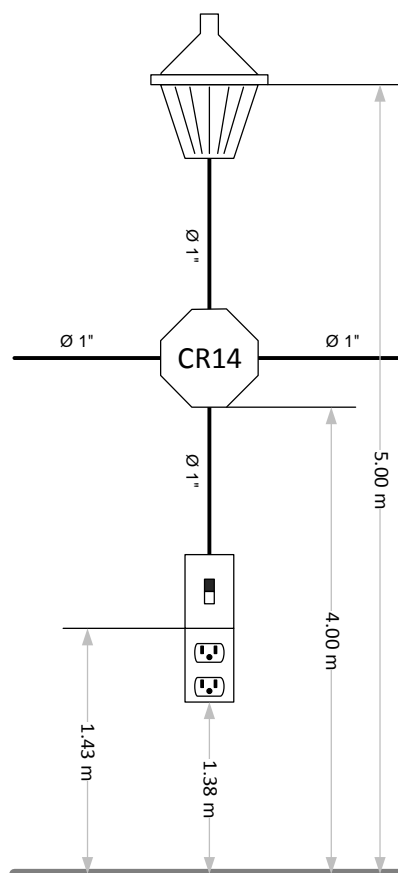
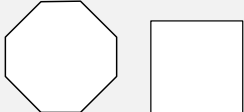

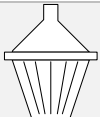




Figura 24. Simbología planos iluminación y potencia. Figura hecha en Visio 2013.

	Lámpara de tubos fluorescentes.
	Panel de distribución o panel de control de motores.
	Cara de registro
	Interruptor encendido/apagado 110V.
	Lámpara tipo campana o canasta.
	Toma corriente de 220V.
	Toma corriente doble de 110V.
	Tubería PVCE externa, montado sobre la pared o las máquinas.
	Tubería PVCE instalada bajo suelo.

Tabla 5. Simbología para los planos de iluminación y potencia.

Nomenclatura	Descripción
CR#	Caja de registro. En el salón hay un total de 23 cajas de registro, desde cajas cuadradas pequeñas hasta octogonales. 
SWT#	Interruptores encendido/apagado. Son interruptores para encender y apagar las lámparas del salón. 
LTC#	 Lámpara tipo canasta.
BF#	Bombillo fluorescente.
LTF#	Lámpara de tubos fluorescentes.
CCM#	Centro de control para motores. Es un panel donde están los contactores, guarda motores y equipo eléctrico para el funcionamiento de los motores.
LC#	Lámpara tipo campana.
TC#	 Toma corriente de 220V.
TCD#	 Toma corriente doble de 110V.
CASCABILLERO	Motores del cascabilero: vibrador y ventilador.
MV#	Ventilador de la guardiola.
MG#	Motor de la guardiola.
MA#	Motor de almacenamiento de café.
TD#	Tablero de distribución eléctrica.

Se tomaron medidas de la corriente que se consume cuando la guardiola 2 está funcionando y éste fue el resultado:

Tabla 6. Consumo de corriente.

	Fase 1	Fase 2	Fase 3
Corriente [A]	32.3	28.8	31.0

Se observa que los resultados de la Tabla 6 muestran que la instalación eléctrica del salón no es la adecuada, ya que las tres fases del salón no están balanceadas. Este problema se debe a que el salón no cuenta con la instalación de una línea de tierra, como se demuestra en las imágenes de la 12 a la 15, ya que con esta línea se podría llegar a balancear el sistema y estas diferencias de corrientes en cada fase serían mínimas.

Al momento de querer realizar una implementación de un equipo nuevo, se tiene que tomar en cuenta este desbalance, ya que esto puede dañar el equipo a instalar. Una forma de corregir este problema es instalar un cable de tierra, y así se logrará tener balanceada las tres fases.

Otra solución que se puede dar es la instalación de una nueva red eléctrica, independiente de la que ya se tiene instalada solamente para el PLC y los equipos de medición. Esto se debe a que el equipo de automatización que se desea instalar es muy delicado y este desbalance puede provocar daños al PLC o los componentes de medición y actuación. Cualquiera de las dos opciones anteriores se tiene que realizar antes de agregar equipo nuevo a la instalación actual.

VII. DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN

A. METODOLOGÍA

Terminado el estudio sobre los componentes a usar y los planos eléctricos del salón, se prosigue a realizar un diagrama de flujo en donde se explique cómo es que se lleva a cabo el proceso de secado de café por medio de las dos guardiolas.

Se realizó un diagrama PI&D para comprender de una mejor forma los elementos de fuerza y sensores que se necesitan para poder llevar a cabo el proceso de secado de café, en este diagrama podemos observar cuantos motores, sensores y controladores tienen que haber en el proceso.

Por último se elaboraron los diagramas eléctricos correspondientes para la implementación, en donde se especifica cómo serán las conexiones físicas de los elementos, así como su alimentación si es trifásica, monofásica o corriente directa. Para finalizar con el diseño se presenta una tabla en donde se especifican los componentes a utilizar en la implementación y un estudio financiero en donde se explica con más detalle si la implementación del proyecto es viable.

B. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las páginas siguientes se presentan los resultados obtenidos de este capítulo, los cuales son el diagrama de flujo del proceso de secado de café, el diagrama de tubería e instrumentación del proceso de secado de café, los diagramas eléctricos de la automatización y por último los componentes a utilizar en la automatización del salón de secado de café.

1. Diagrama de flujo.

Figura 25. Diagrama de flujo. Encendido del proceso de secado. Figura hecha en Visio 2013.

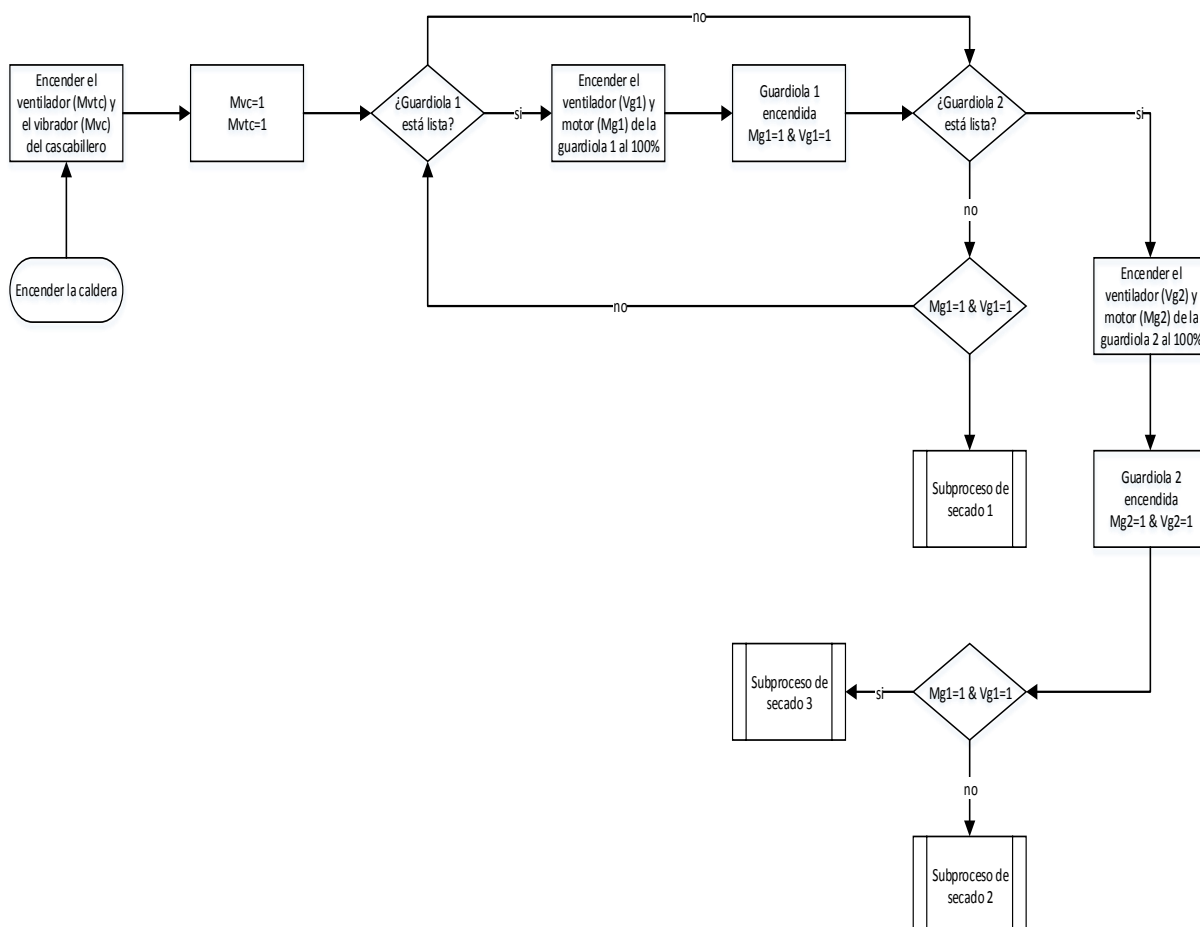


Figura 26. Diagrama de flujo. Subproceso de secado Guardiola 1. Figura hecha en Visio 2013.

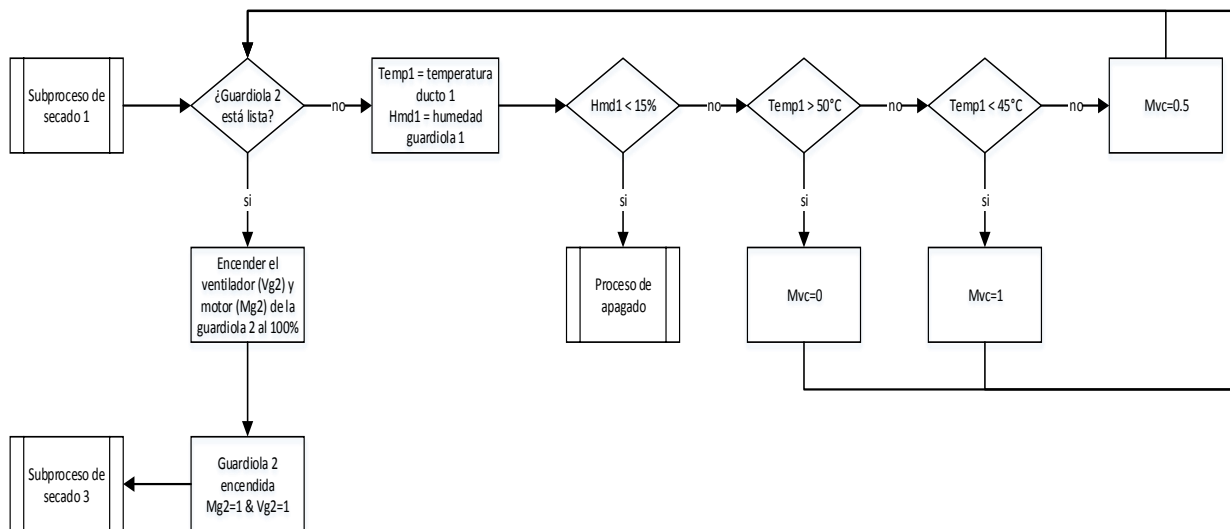


Figura 27. Diagrama de flujo. Subproceso de secado Guardiola 2. Figura hecha en Visio 2013.

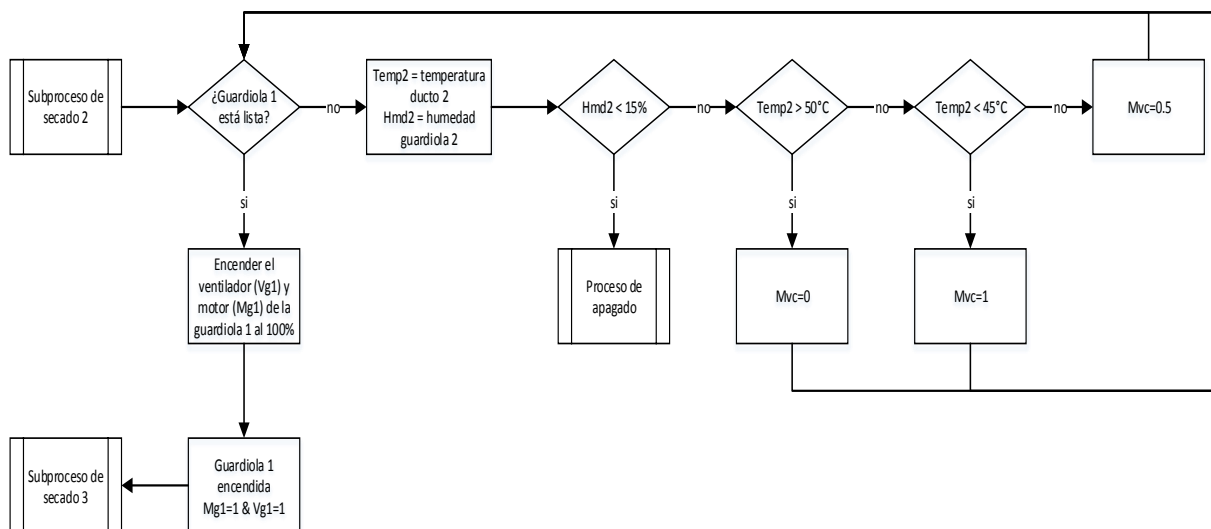


Figura 28. Subproceso de secado cuando las dos guardiolas están funcionando. Figura hecha en Visio 2013.

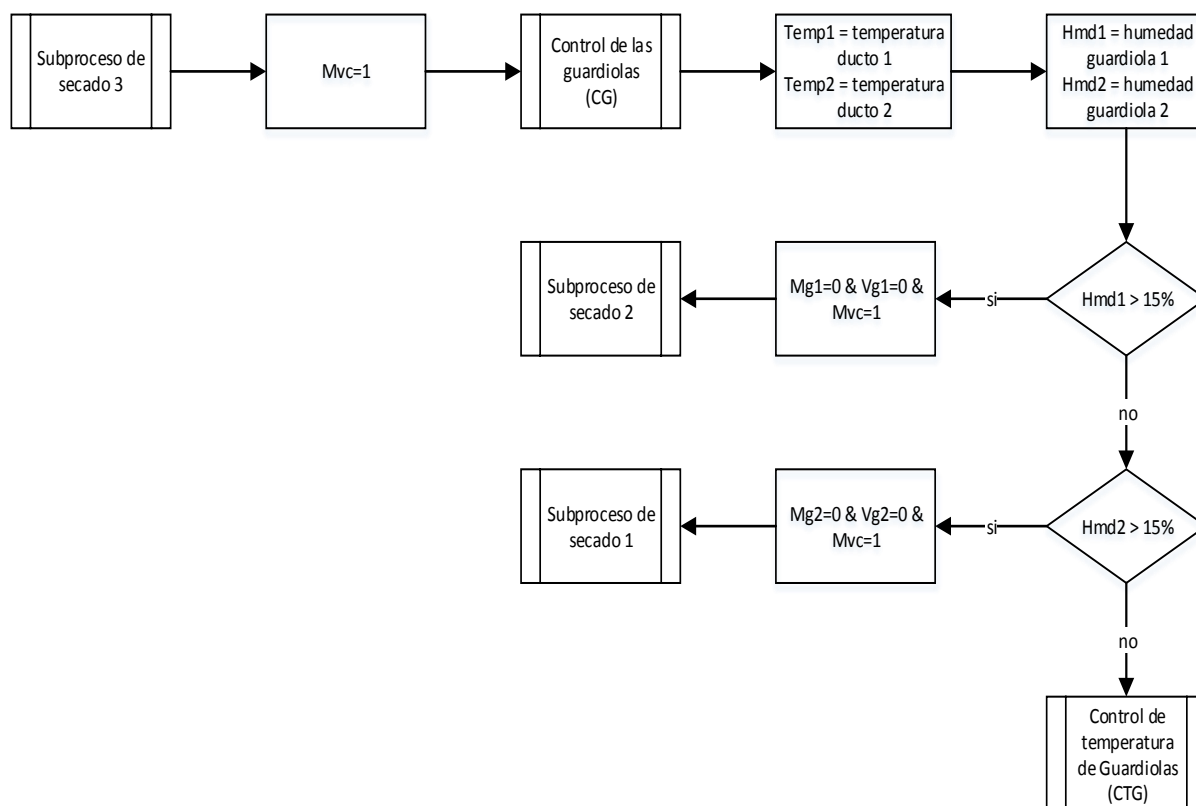


Figura 29. Control de temperatura de cada guardiola. Figura hecha en Visio 2013.

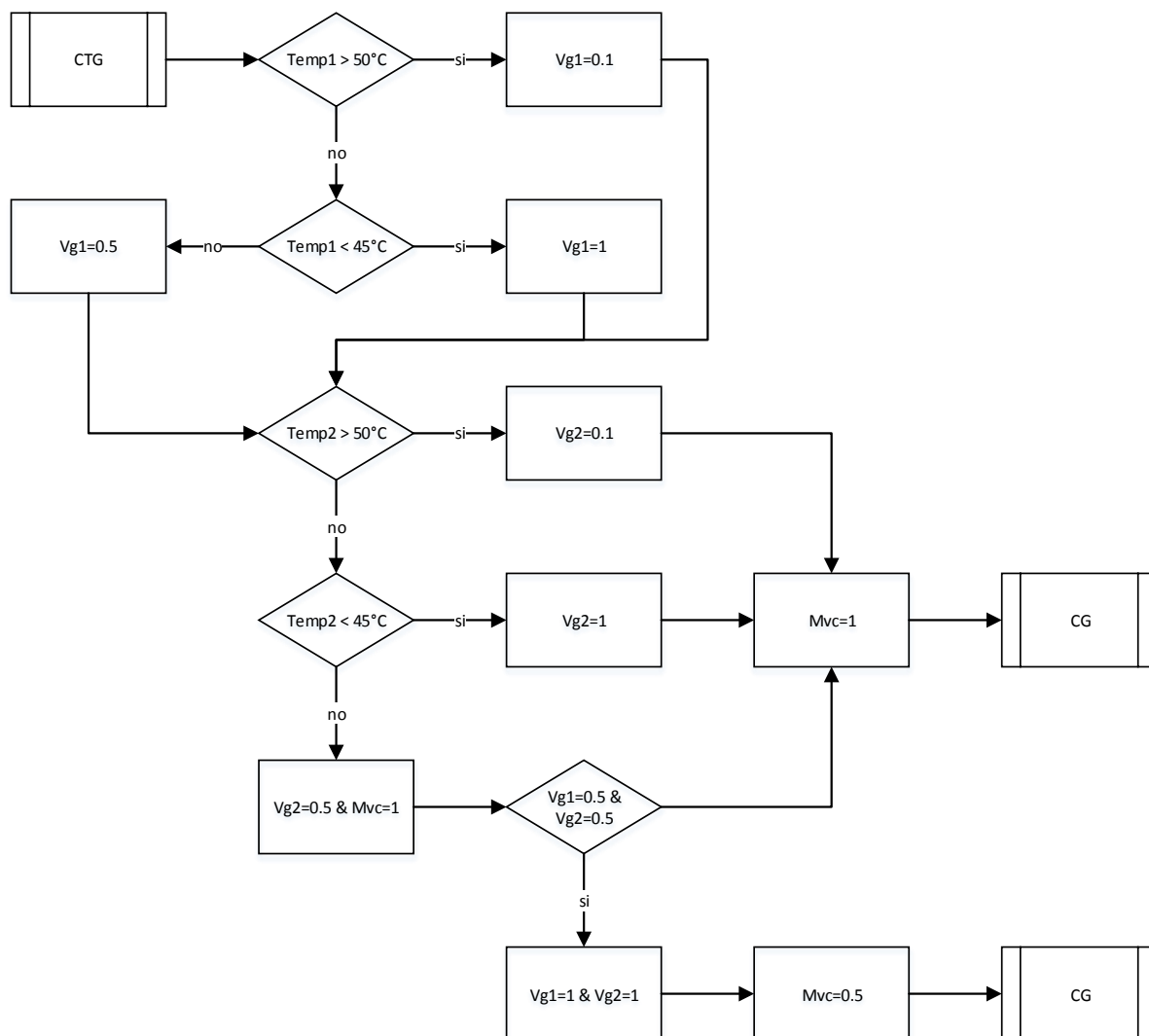
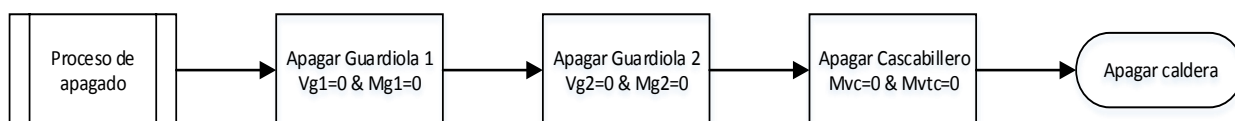


Figura 30. Diagrama de flujo. Apagado de las guardiolas y el cascabilero. Figura hecha en Visio 2013.



En esta sección se puede observar que el proceso de secado de café se compone de seis subprocesos, los cuales son: el encendido del cascabilero y de las guardiolas, si se va a utilizar

solo una guardiola, si se va a utilizar la otra guardiola, si se va a utilizar ambas guardiolas, el control de temperatura para ambas guardiolas y el apagado de las guardiolas y el cascabilero.

Este es proceso que se implementa actualmente en el salón de secado, pero se hace por medio de una persona. Este diagrama de flujo se propone como una solución viable a implementar en un PLC, debido a la forma en que se opera actualmente el sistema nos permite sin hacer mayor modificación al diagrama de flujo implementarlo en un computador.

Con esta tesis no se pretende sustituir la presencia humana del proceso, lo que se desea es que el proceso sea lo más preciso posible y reducir al mínimo el error humano. Pero que siempre sea operado por una persona que se encargue de escoger en qué modo se trabajará y dejando el control a cargo del PLC.

2. Diagrama P&ID.

Figura 31. Diagrama PI&D guardiolas 1 y 2. Figura hecha en Visio 2013.

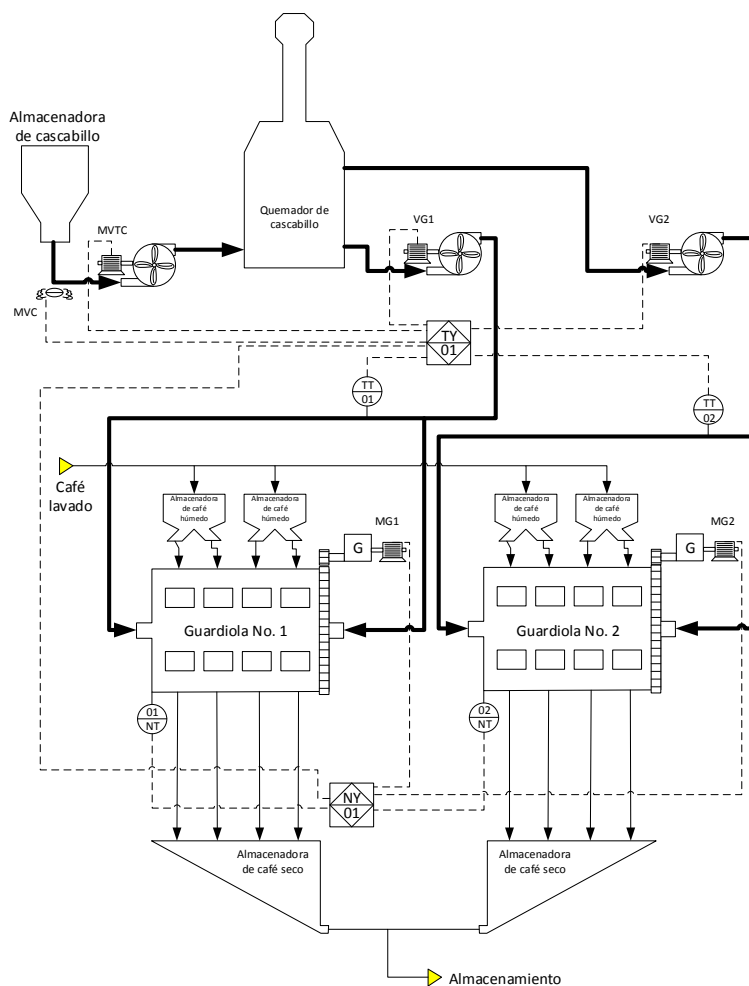











Figura 32. Simbología diagrama P&ID

	Línea transporte de café húmedo y seco		Controlador de temperatura
	Ducto de aire frío y caliente		Controlador de humedad
	Conexión eléctrica		Transmisor de temperatura
	Controlador lógico programable		Transmisor de humedad
	Sensor transmisor de campo	MVC	Motor vibrador cascabilero
	Vibrador trifásico	MVTC	Motor ventilador cascabilero
	Motor trifásico	VG1	Ventilador guardiola 1
	Caja reductora de velocidad	VG2	Ventilador guardiola 2
		MG1	Motor guardiola 1
		MG2	Motor guardiola 2

El controlador de temperatura y el controlador de humedad que se muestran en el diagrama P&ID, se puede implementar con un mismo controlador. Para esta aplicación se seleccionó el PLC Siemens S7 315 PN/DP, ya que este PLC cuenta con la opción de incrementar su capacidad de entradas y salidas, ya sean analógicas o digitales, así como la opción de tener una comunicación con otros dispositivos mediante un bus de campo Profibus DP.

Se necesita utilizar dos sensores de temperatura para el monitoreo de la temperatura en los ductos de aire que ingresa a cada guardiola. Estos sensores son del tipo RTD PT100, fabricados por Rosemount, debido a su alta fiabilidad, sensibilidad y linealidad.

Se necesita utilizar dos sensores de humedad para el monitoreo de la humedad que tiene cada guardiola.

En el inciso 4 (componentes a usar) se darán una explicación del PLC, las RTDs y los sensores de humedad; donde se mostrarán las características eléctricas de cada componente, así de una breve explicación de porqué se seleccionó ese componente.

3. Diagrama eléctrico.

Figura 33. Diagrama eléctrico. Alimentación AC trifásica y 24VDC. Figura hecha en Visio 2013.

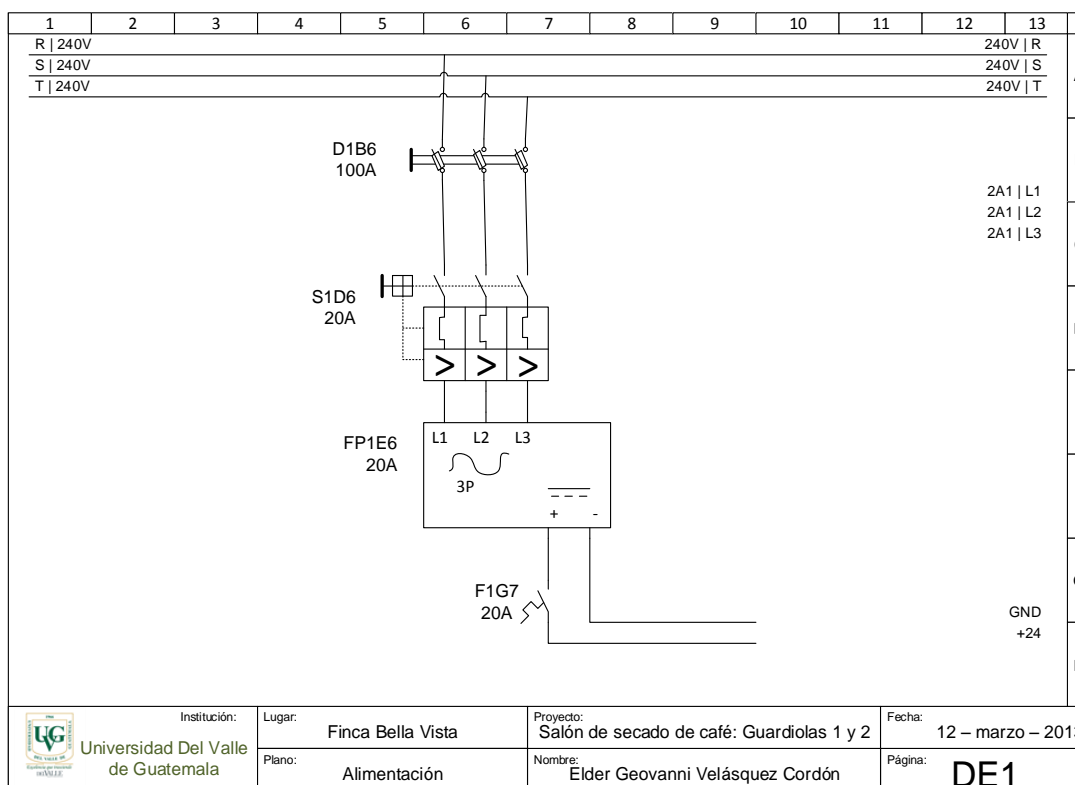


Figura 34. Diagrama eléctrico. Seguridad. Figura hecha en Visio 2013.

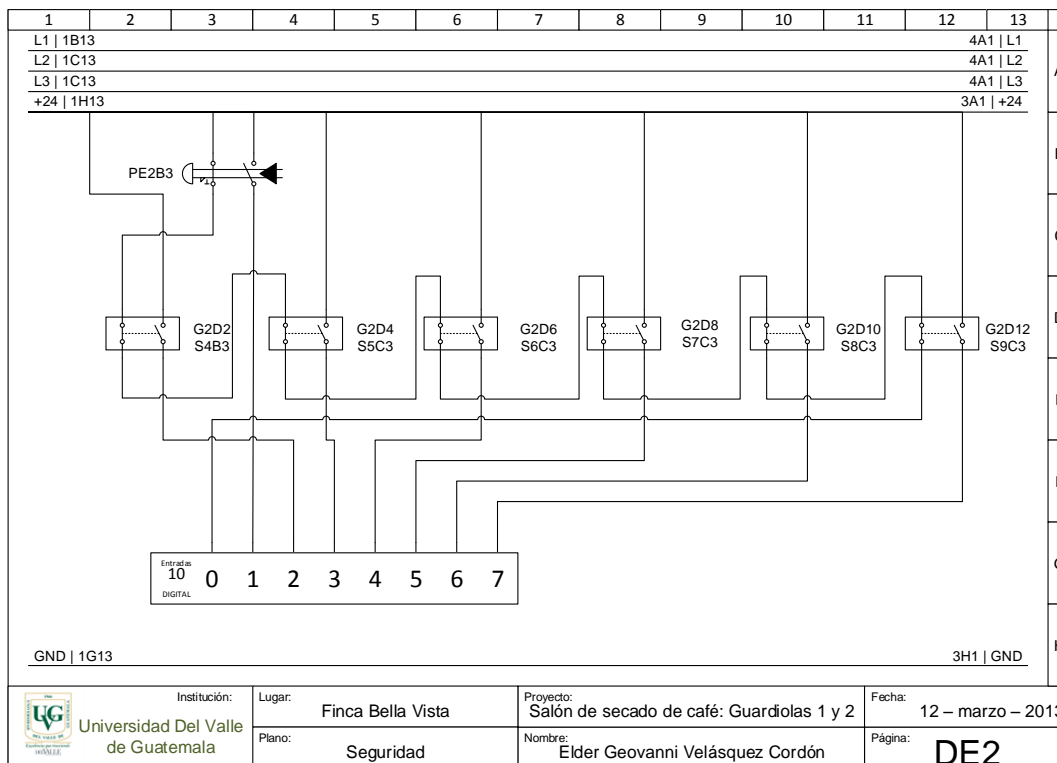


Figura 35. Diagrama eléctrico. Activación de los motores. Figura hecha en Visio 2013.

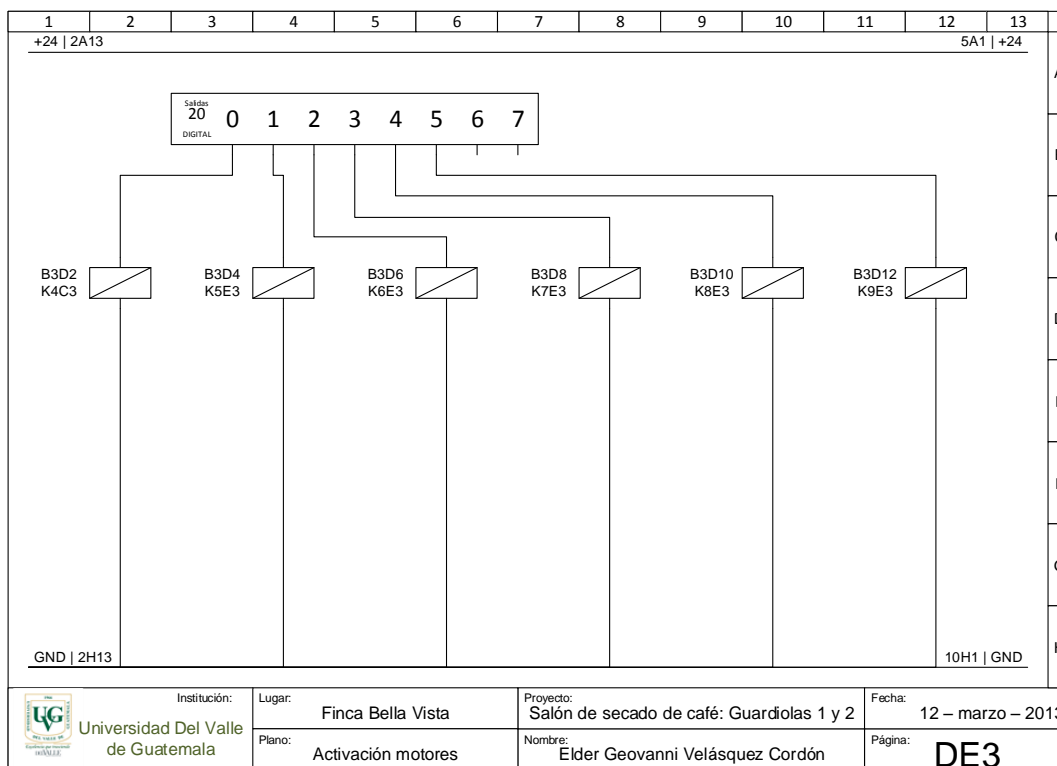


Figura 36. Diagrama eléctrico. Ventilador del cascabilero. Figura hecha en Visio 2013.

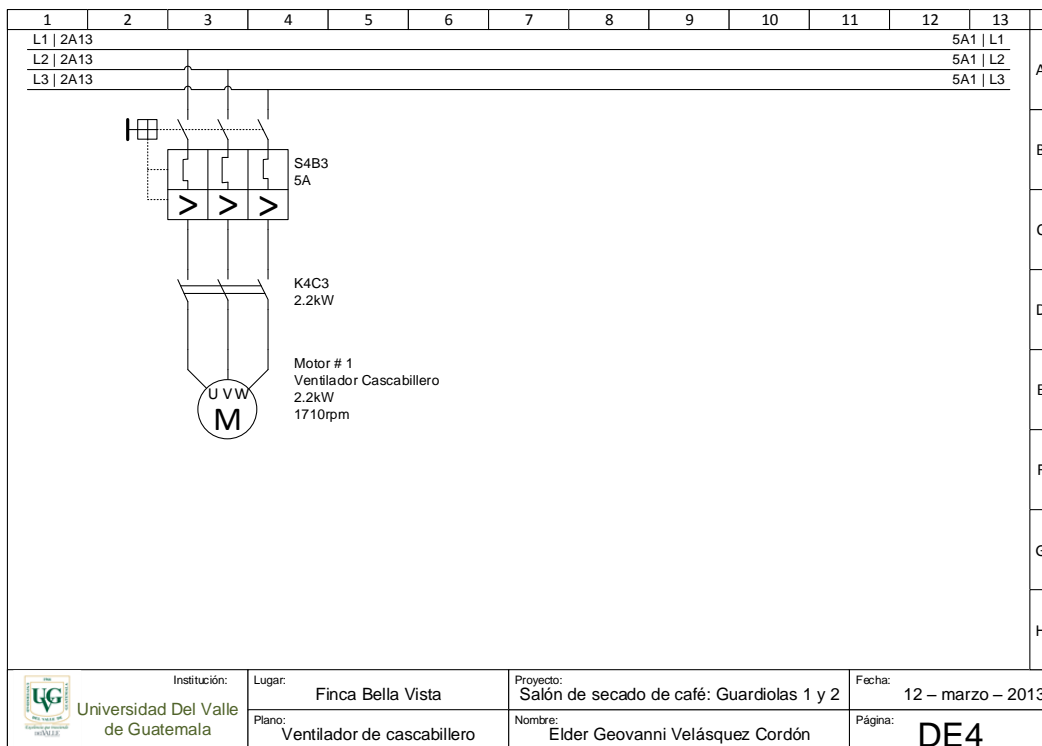


Figura 37. Diagrama eléctrico. Vibrador del cascabilero + ATV71. Figura hecha en Visio 2013.

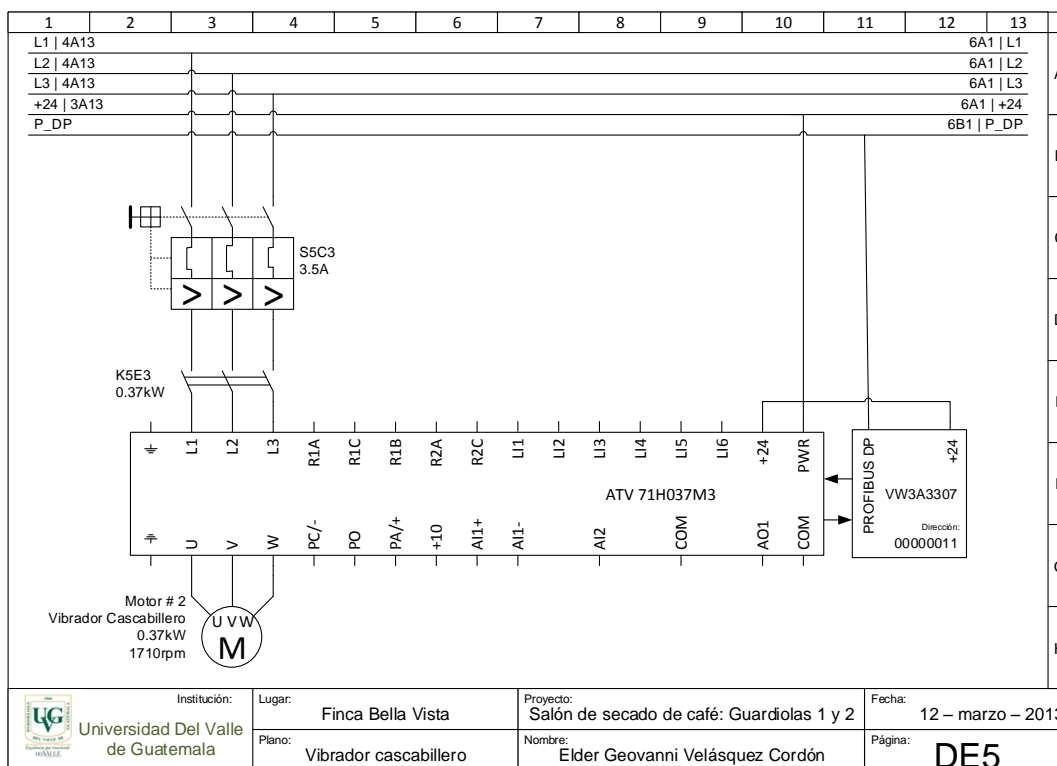


Figura 38. Diagrama eléctrico. Ventilador guardiola 1 + ATV71. Figura hecha en Visio 2013.

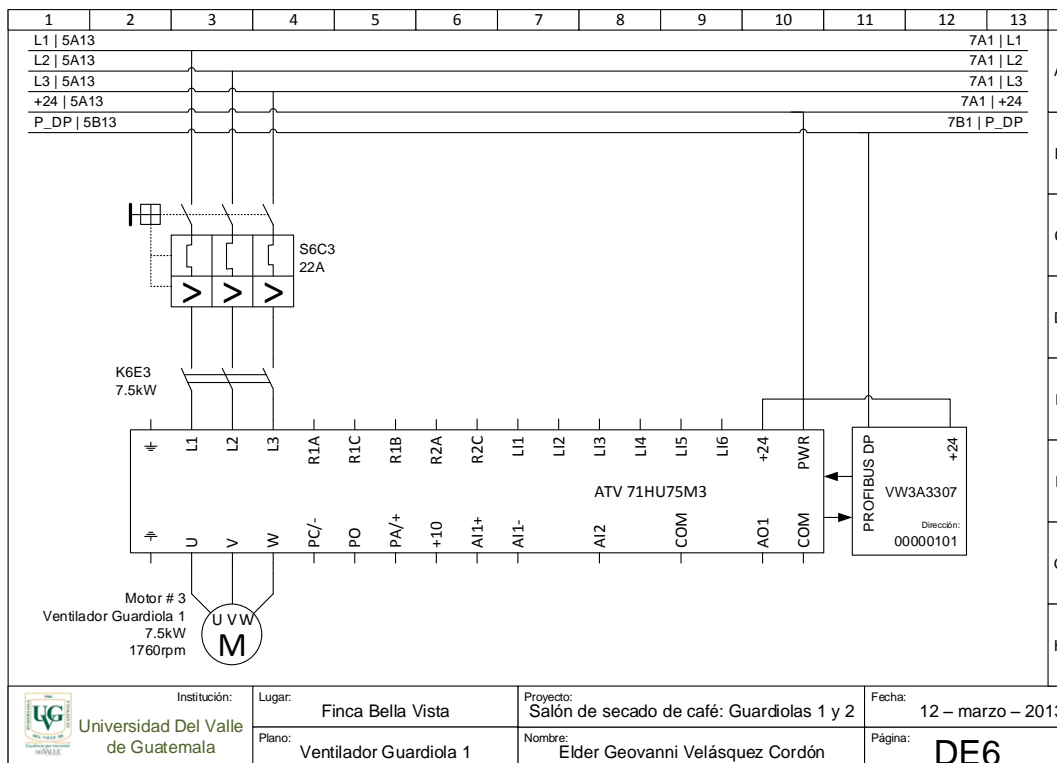


Figura 39. Diagrama eléctrico. Ventilador guardiola 2 + ATV71. Figura hecha en Visio 2013.

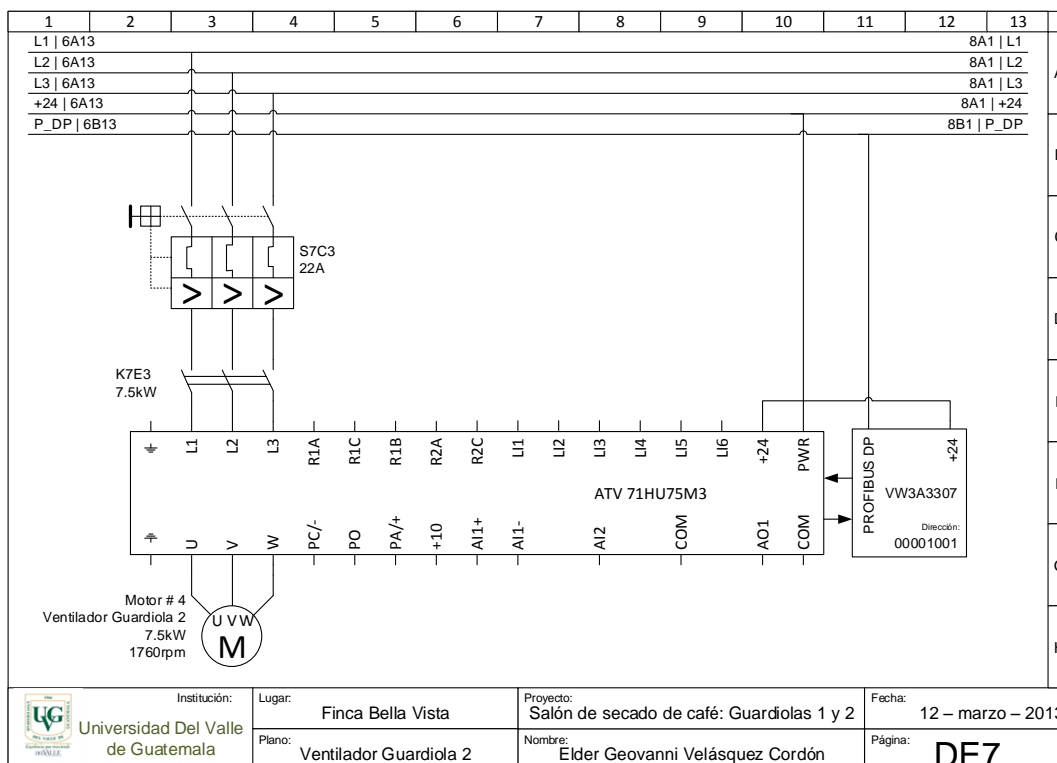


Figura 40. Diagrama eléctrico. Motor guardiola 1 + ATV71. Figura hecha en Visio 2013.

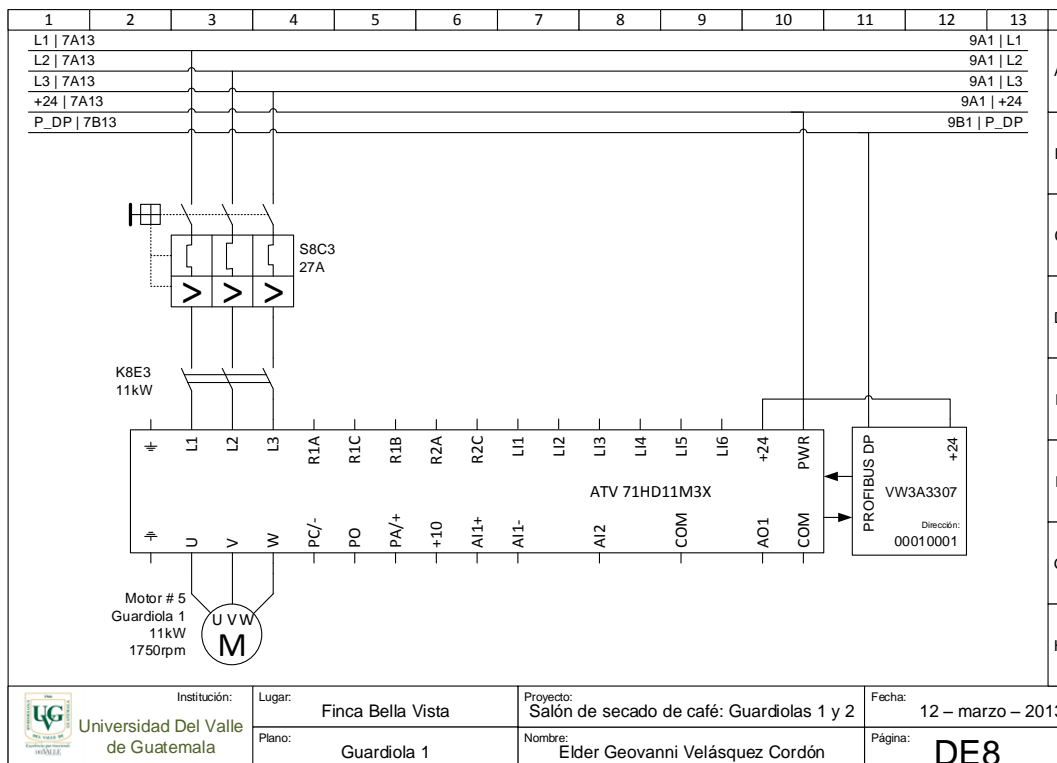


Figura 41. Diagrama eléctrico. Motor guardiola 2 + ATV71. Figura hecha en Visio 2013.

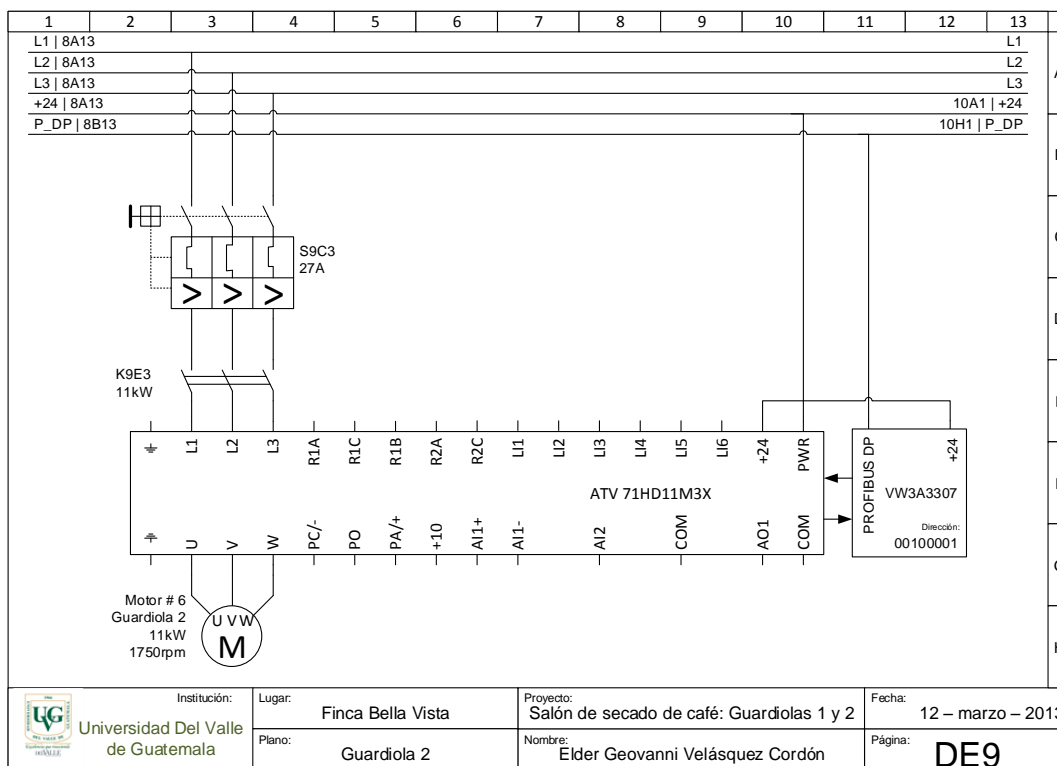


Figura 42. Diagrama eléctrico. PLC S7 315-2 PN/DP + RS232. Figura hecha en Visio 2013.

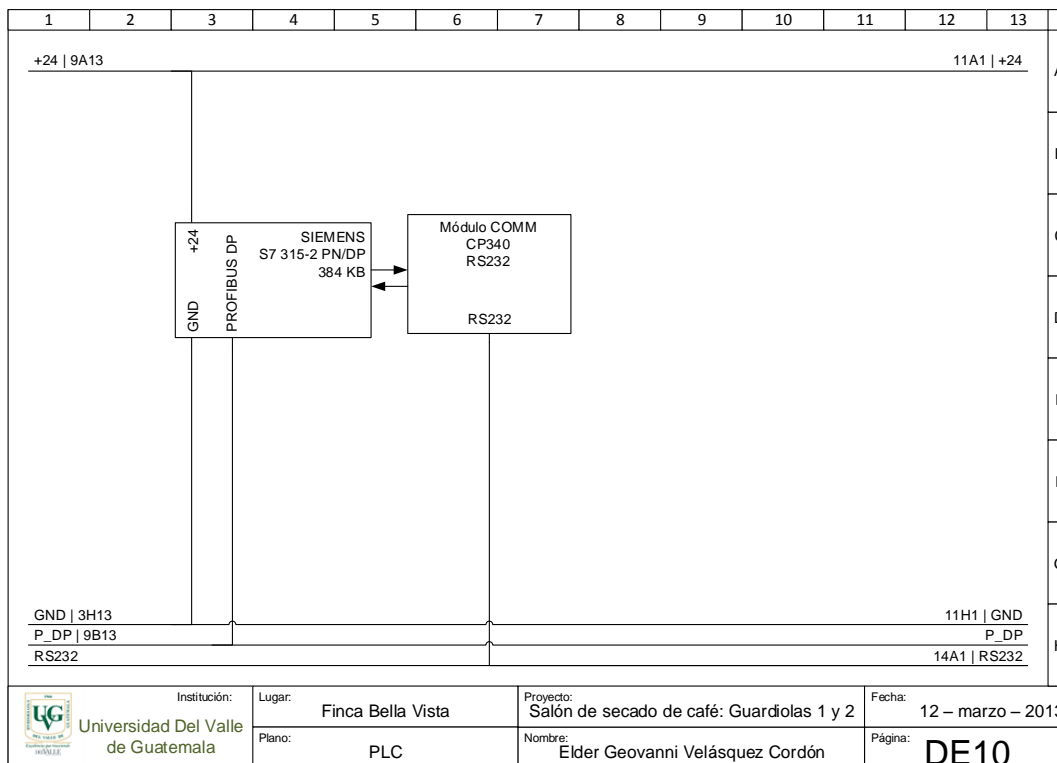


Figura 43. Diagrama eléctrico. RTDs PT100. Figura hecha en Visio 2013.

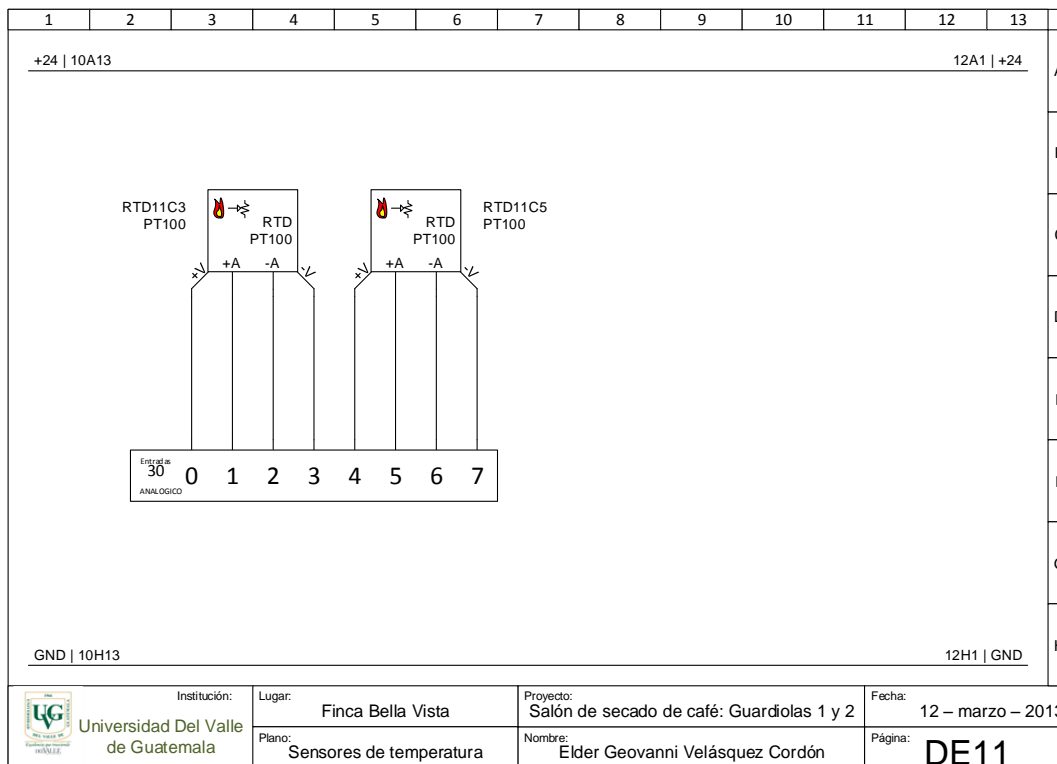


Figura 44. Diagrama eléctrico. Sensores de humedad | 2 hilos | 4 - 20 mA. Figura hecha en Visio 2013.

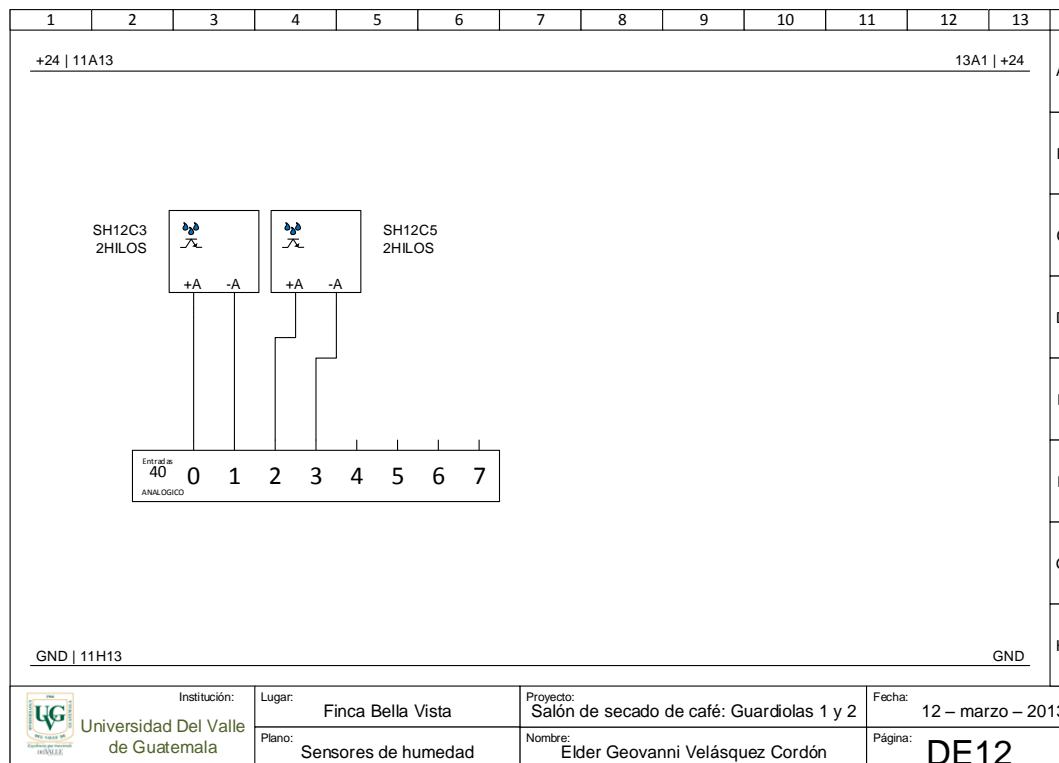


Figura 45. Diagrama eléctrico. Botones pulsadores. Figura hecha en Visio 2013.

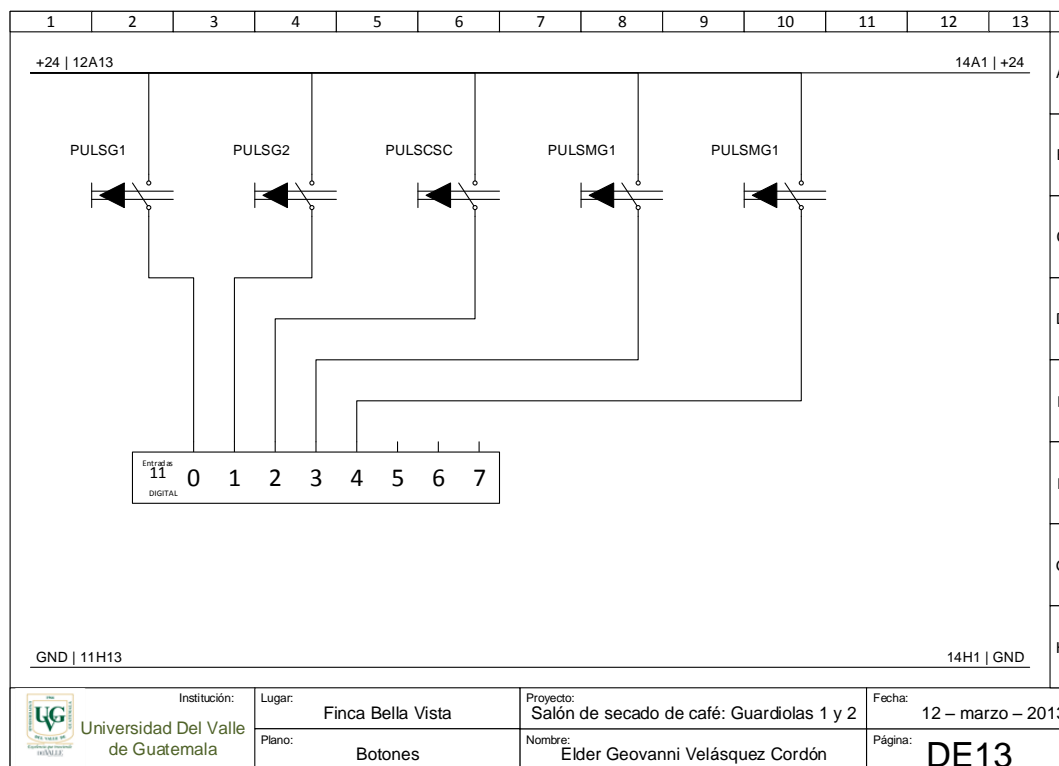


Figura 46. Diagrama eléctrico. Módulo GSM/GPRS. Figura hecha en Visio 2013.

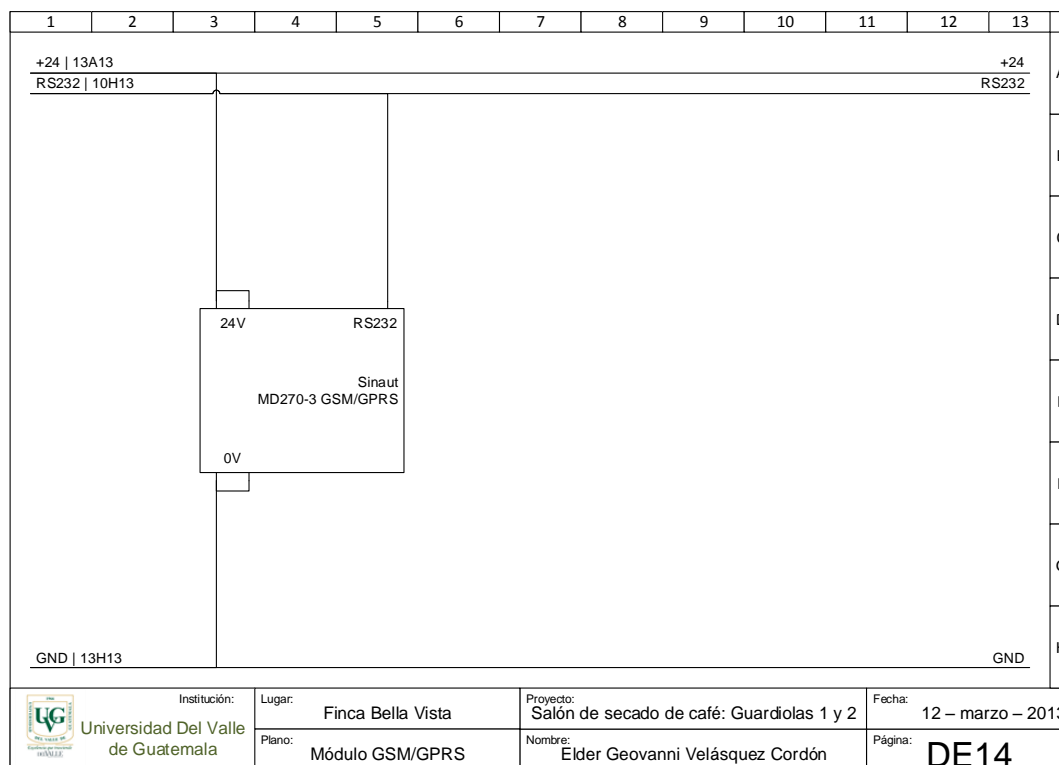
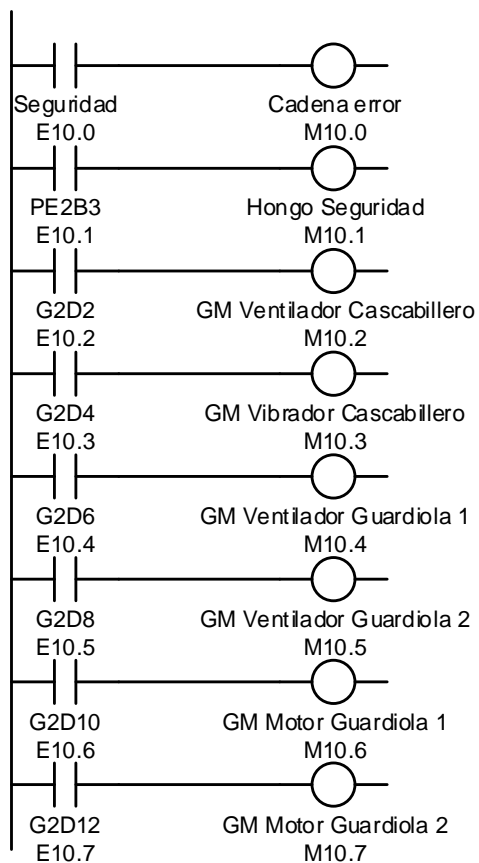


Tabla 7. Etiquetas diagrama eléctrico.

Etiqueta	Descripción	Etiqueta	Descripción
D1B6	Seccionador trifásico de 100A	S1D6	Protección para la fuente de poder, protección térmica 20A
FP1E6	Fuente de poder Siemens SITOP MODULAR PLUS 24VDC/20A	S4B3	Guarda motor ventilador cascabilero 5A
F1G7	Fusible térmico con protección para sobre corrientes 20A	S5C3	Guarda motor vibrador cascabilero 3.5A
PE2B3	Paro de emergencia guardiolas 1 y 2, y cascabilero	S6C3	Guarda motor ventilador guardiola 1 22A
G2D2	Contactos NA&NC del guarda motor del ventilador del cascabilero	S7C3	Guarda motor ventilador guardiola 2 22A
G2D4	Contactos NA&NC del guarda motor del vibrador del cascabilero	S8C3	Guarda motor guardiola 1 27A
G2D6	Contactos NA&NC del guarda motor del ventilador de la guardiola 1	S9C3	Guarda motor guardiola 2 27A
G2D8	Contactos NA&NC del guarda motor del ventilador de la guardiola 2	K4C3	Contactador ventilador cascabilero 2.2kW
G2D10	Contactos NA&NC del guarda motor de la guardiola 1	K5E3	Contactador vibrador cascabilero 0.37kW
G2D12	Contactos NA&NC del guarda motor de la guardiola 2	K6E3	Contactador ventilador guardiola 1 7.5kW
B3D2	Bobina de 24VDC del contactor K4C3	K7E3	Contactador ventilador guardiola 2 7.5kW
B3D4	Bobina de 24VDC del contactor K5E3	K8E3	Contactador motor guardiola 1 11kW
B3D6	Bobina de 24VDC del contactor K6E3	K9E3	Contactador motor guardiola 2 11kW
B3D8	Bobina de 24VDC del contactor K7E3	PULSG1	Pulsador ON/OFF guardiola 1 Ventilador y motor de la guardiola 1
B3D10	Bobina de 24VDC del contactor K8E3	PULSG2	Pulsador ON/OFF guardiola 2 Ventilador y motor de la guardiola 2
B3D12	Bobina de 24VDC del contactor K9E3	PULSCSC	Pulsador ON/OFF cascabilero Ventilador y vibrador cascabilero
SH12C3	Sensor de humedad 24VDC, 4-20mA. Guardiola 1	PULSMG1	Pulsador ON (mientras esté presionado) del motor de la guardiola 1
SH12C5	Sensor de humedad 24VDC, 4-20mA. Guardiola 2	PULSMG2	Pulsador ON (mientras esté presionado) del motor de la guardiola 2
RTD11C3	PT100 24VDC, Guardiola 1	RTD11C5	PT100 24VDC, Guardiola 2

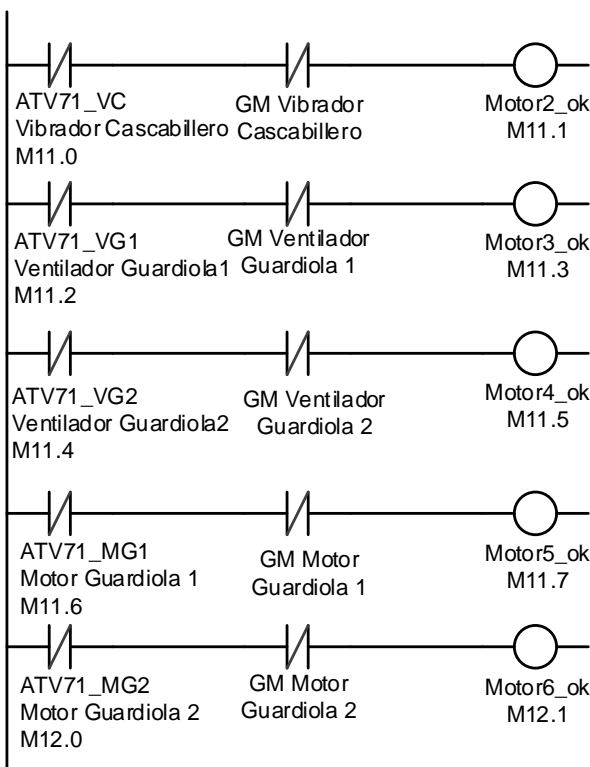
4. Programa PLC. Al no contar con una licencia de STEP7 para poder realizar el programa del PLC, se muestra a continuación la lógica que debe de ser implementada para el desarrollo del programa.

Figura 47. Seguridad de la máquina. Figura hecha en Visio 2013.



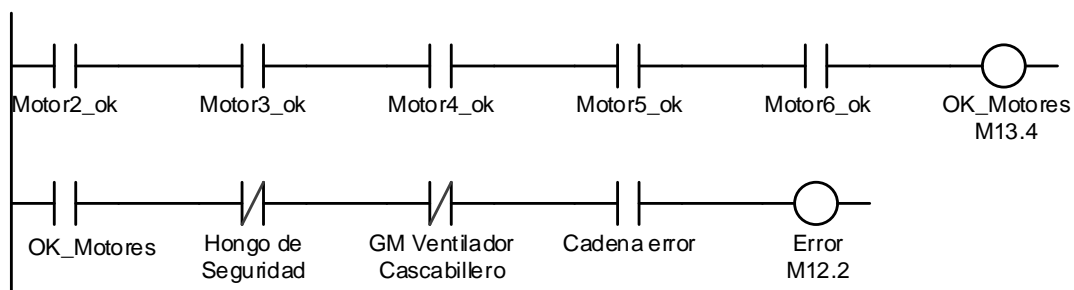
En este código se guarda la información si se presionó el hongo de seguridad o alguno de los guarda motores no está activo, esto sirve para tener un mejor control de cuál es el posible error que tenga la máquina. Se cuenta con una entrada que indica que si cualquiera de estos elementos de seguridad se desconecta, esto se hace para tener una mejor protección de la persona que opera la máquina.

Figura 48. Funcionamiento de los variadores de frecuencia. Figura hecha en Visio 2013.



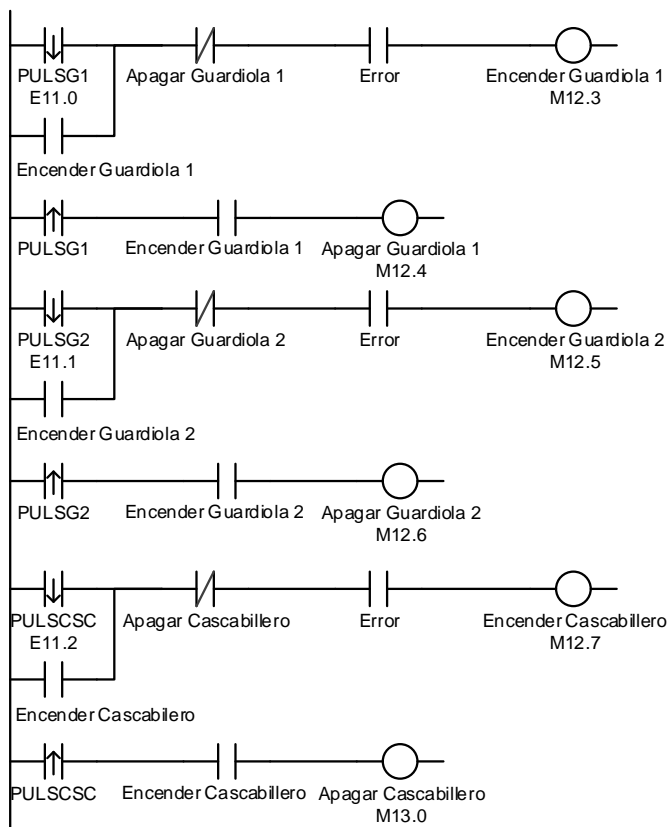
Junto con la información si los guarda motores están conectados, se implementará una forma de ver que los variadores de frecuencia estén funcionando. Si uno de los variadores de frecuencia se llega a desconectar por una sobre corriente o un sobre esfuerzo, todo el programa se detiene y se tiene que reestablecer dicho variador de frecuencia y volver a iniciar el programa.

Figura 49. Seguridad del programa. Figura hecha en Visio 2013.



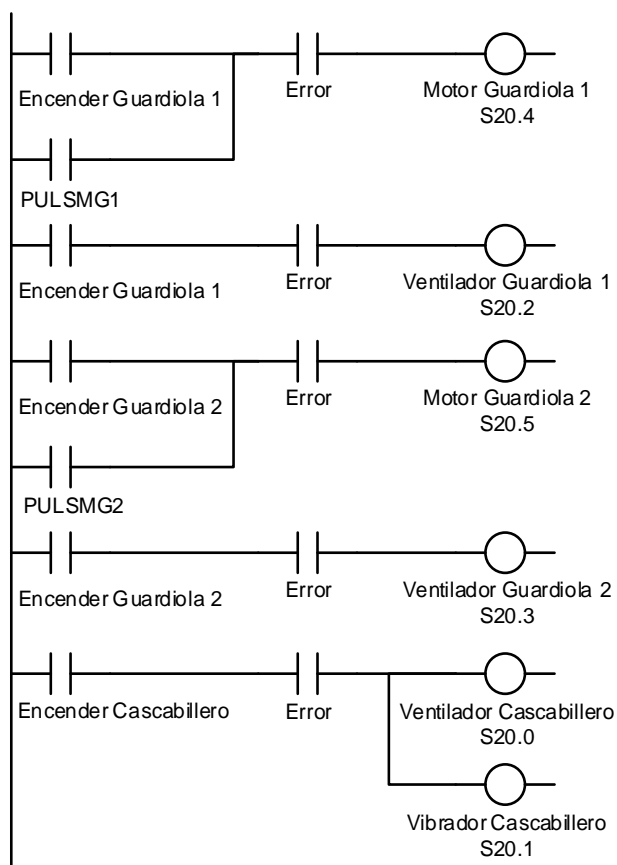
Error es una variable que indica si el programa se debe detener, esta variable se puede modificar si se presiona el hongo de seguridad y si alguno de los motores (incluye su guarda motor y su variador de frecuencia si lo tiene) está con problemas.

Figura 50. Encendido de guardiolas y cascabilero. Figura hecha en Visio 2013.



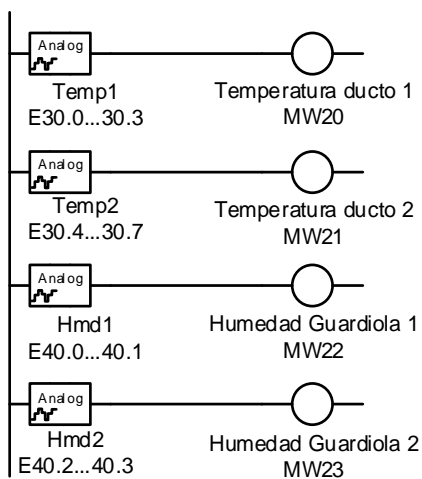
La activación de las guardiolas o el cascabilero se hace por medio de un pulsador, el cual al momento de presionarlo hace un enclavamiento y activa una de las guardiolas o el cascabilero. Para apagar las guardiolas o el cascabilero se tiene que presionar el mismo botón, que tiene una memoria en donde se queda guardado si se había presionado anteriormente el pulsador. El PULSG1 es el pulsador para la guardiola 1, éste se encarga de encenderla o apagarla; el PULSG2 es el pulsador para la guardiola 2, éste se encarga de encenderla o apagarla; y el PULSCSC es el pulsador del cascabilero, éste se encarga de encenderlo o apagarlo.

Figura 51. Activación de contactores de los motores. Figura hecha en Visio 2013.



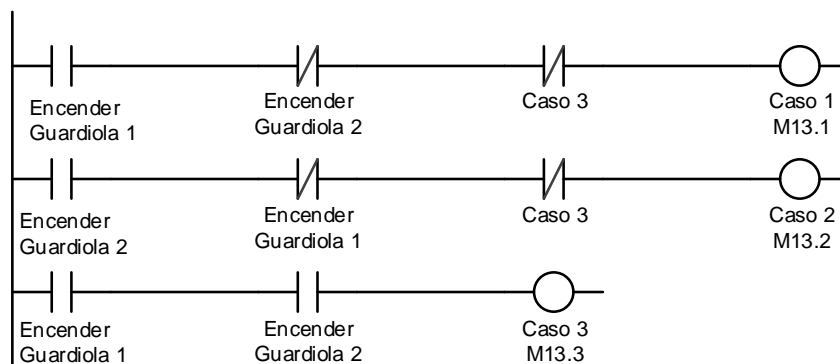
En esta parte del código se conectan los contactores de cada motor, de los cuales ninguno puede funcionar si el variador de frecuencia lo permite, a excepción del ventilador del cascabilero, el cual es el único que funciona con solo activar su contactor.

Figura 52. Lectura de los sensores de humedad y temperatura. Figura hecha en Visio 2013.



De forma simplificada las cajas de Temp1, Temp2, Hmd1 y Hmd2 es una representación de una lectura del sensor y de una conversión de esa lectura a una escala en °C y % de humedad. Para una mejor comprensión del código se estarán utilizando valores en °C y % de humedad para entender cómo debe de funcionar el código.

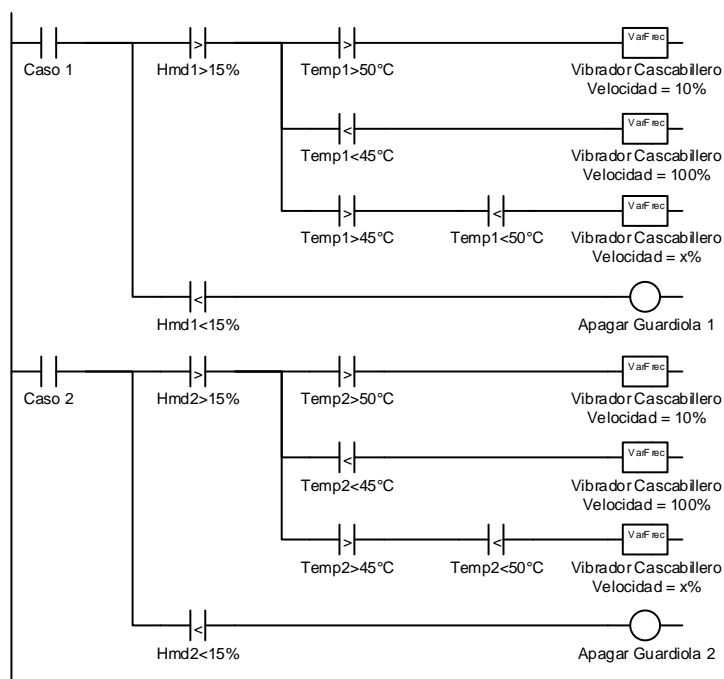
Figura 53. Selección que procedimiento se debe hacer. Figura hecha en Visio 2013.



Se debe de seleccionar que guardiolas están en funcionamiento, si solo está funcionando la guardiola 1 se hace el caso 1, si solo está funcionando la guardiola 2 se hace el caso 2 y si ambas guardiolas están funcionando se hace el caso 3.

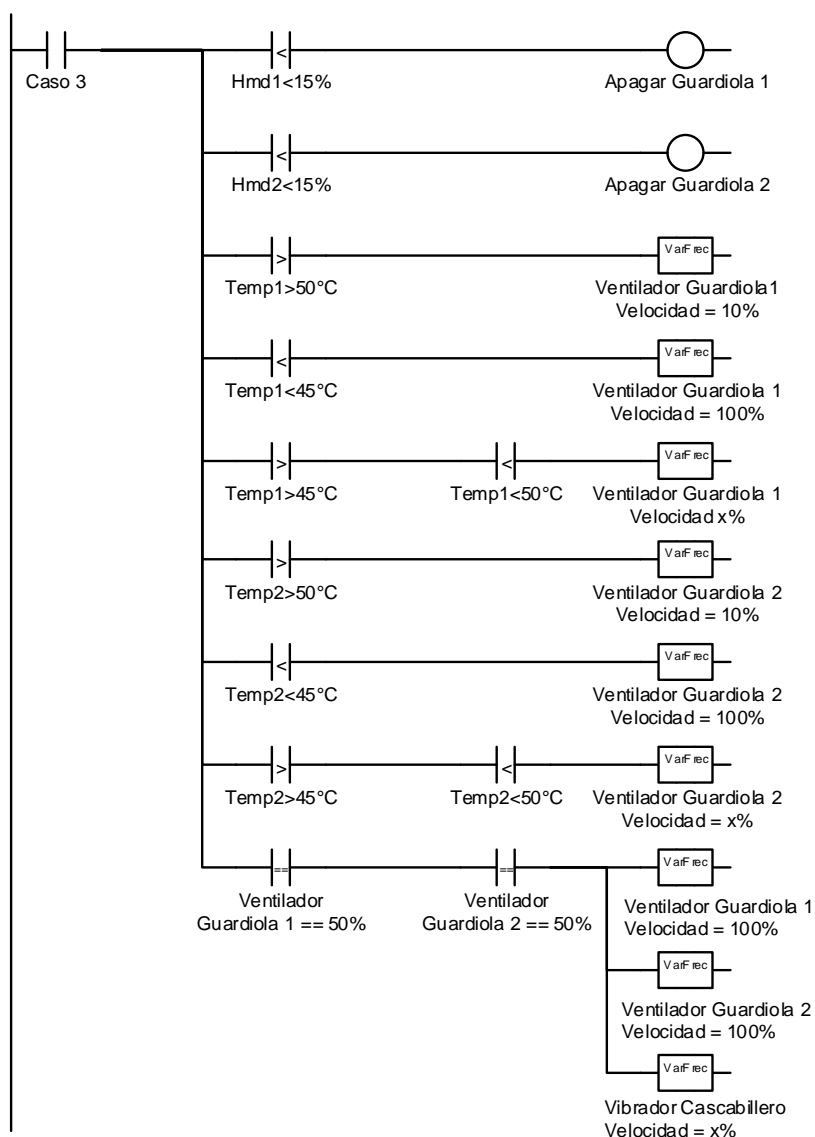
Cada caso comprende en monitorear la temperatura del ducto de cada guardiola, así como la humedad que esta tiene, y de ser necesario modificara la frecuencia de operación de cada motor hasta el punto de apagarlo o ponerlo a su máxima potencia.

Figura 54. Caso 1 y caso 2, proceso de secado de café. Figura hecha en Visio 2013.



El caso 1 y el caso 2 es cuando una de las dos guardiolas está funcionando, en este procedimiento se evalúa si la humedad de la guardiola es inferior al 15%. Esta evaluación de humedad se hace a través de un sensor colocado en la superficie de la guardiola, sin que estén en contacto, el aire que sale de la guardiola tiene una humedad que se puede representar como la humedad que tiene el café. Si la humedad del café es superior al 15% se tienen tres casos en donde se envía información al variador de frecuencia que lo que hace es modificar la vibración del cascabilero, si la temperatura es mayor a los 50°C el vibrador del cascabilero funcionará a un 10% de su potencia máxima, si es menor a los 45°C el vibrador del cascabilero funcionará al 100% de su potencia máxima, y si se encuentra en medio de estas temperaturas, el vibrador del cascabilero funcionara a un x% de su potencia máxima con una fórmula que relacionará la temperatura con la vibración del cascabilero.

Figura 55. Caso 3, cuando funcionan las dos guardiolas al mismo tiempo. Figura hecha en Visio 2013.



El caso 3, es cuando las dos guardiolas están funcionando. En este caso se tiene que verificar si una guardiola ya alcanzo una humedad inferior al 15%, una vez que una alcance este valor se vuelven a los caso 1 o caso 2 dependiendo de la guardiola que llego primero a ese valor. Si la humedad de las dos guardiolas es superior al 15%, se tienen varios casos en los cuales se controla la velocidad de rotación de cada ventilador de la guardiola. Si la velocidad de rotación de cada ventilador es igual, se modifica la velocidad del vibrador del cascabilero y los ventiladores se ponen a funcionar a su 100%.

El código que se muestra en este capítulo es una representación y no es el código oficial a implementar en el PLC, solo se desea representar como es que el código debe de funcionar. Dentro de esta explicación no se muestra como se programa un variador de frecuencia Altivar 71, ya que este se comunicará vía Profibus DP y los espacios de memoria que se ocupan para la transferencia de información se pueden establecer hasta el momento de realizar el programa. Con este código se desea hacer más simple la operación de las guardiolas y mejorar la calidad del café, ya que este proceso nos ayudara a eliminar el error humano del control de temperatura y de secado del café, haciendo que la persona encargada del proceso solo se enfoque en observar que todo esté funcionando correctamente y en ver qué tipo de trabajo se desea realizar.

5. Componentes a usar. Se necesitan los siguientes elementos para llevar a cabo la implementación:

- Se necesita un panel de 1.50m de ancho, 2.00m de alto y 50cm de profundidad mayor que el centro de control de motores 1, ya que este debe de incluir al PLC, los variadores de frecuencia y demás componentes.
- 5 variadores de frecuencia que serán los encargados de controlar la velocidad de cada motor, de los cuales dos variadores tienen que ser de 11kW, dos variadores de 7.5kW y el último tiene que ser de 0.37kW.
- 7 guarda motores para la protección de los motores y la fuente de voltaje DC. Uno de 20A, uno de 5A, uno de 3.5A, dos de 22A y dos de 27A.
- 6 contactores de 24VDC para la activación y desactivación de los motores. Uno de 2.2kW, uno de 0.37kW, dos de 7.5kW y dos de 11kW.
- 1 fuente de voltaje DC de 24V @ 20amp.
- 1 PLC Siemens de la familia S7-300, los cuales son ideales para realizar automatización de procesos de alto rendimiento, en especial que tienen diferentes tipos de comunicación con otros dispositivos en especial la comunicación vía PROFIBUS DP. Para este caso se recomienda utilizar el S7 315-2 PN/DP de 384kB.
- 4 módulos de expansión con su respectivo rack para un PLC s7-300. El primero es un módulo de 4 entradas analógicas específicamente para conectar RTD de 4 hilos, el segundo es un módulo de 8 entradas analógicas específicamente para conectar los

sensores de humedad que son de 2 hilos, el tercero es un módulo de 16 entradas digitales para el control de los sistemas de seguridad y los botones para el funcionamiento de los motores y el último es un módulo de 8 salidas digitales para el accionamiento de los contactores de los motores.

- 5 tarjetas de comunicación PROFIBUS DP para los variadores de frecuencia, ya que con estas tarjetas será posible comunicar el PLC con cada variador.
- 2 RTD PT100 0068P21N00A040T26E5 Rosemount, para monitorear la temperatura en cada ducto de aire que ingresa a cada guardiola antes de la bifurcación del tubo. Señal entre 4 – 20mA y transmisor de 4 hilos, con alimentación de 24VDC.
- 2 sensores de humedad HMW61U de Vaisala, para monitorear cuando una partida de café está completamente seca. Señal entre 4 – 20mA y transmisor de dos hilos, con alimentación de 24VDC.
- 1 módulo de comunicación GSM/GPRS para el PLC S7-300, el cual incluye un módulo de comunicación RS232 para comunicarse con el PLC y un módem para poder realizar transferencias de datos vía GSM.

Los elementos mencionados anteriormente son los esenciales para llevar a cabo una implementación del proyecto. Pero también hay que considerar los siguientes elementos, que aunque no se tengan un dato exacto, se tiene que realizar una aproximación muy buena para la implementación del proyecto. Los cuales son:

- Cable AWG calibre 10,12 y 14 de cobre con un recubrimiento plástico, que será necesario para la interconexión de los componentes.
- Cable PROFIBUS DP para la conexión entre el PLC y los variadores de frecuencia, con terminales DB9 y M12.
- Cable serial con terminales DB9 para la comunicación entre el módulo GSM/GPRS y el PLC.
- Cable para conectar los sensores a los módulos analógicos del PLC.
- Un cable adaptador para conectar una PC portátil al PLC.
- STEP7 para programar el PLC desde una PC portátil.
- Canaletas para el almacenamiento y transporte de cables.
- Panel para colocar el PLC y los demás elementos electrónicos.
- Racks para fijar dentro del panel y que son los que soportarán los elementos a instalar.

Adicionalmente se tiene que contar con herramientas con las cuales se puede realizar un excelente trabajo, como lo son:

- Un multímetro el cual pueda medir continuidad, resistencias, corriente AC/DC y voltajes AC/DC.

- Desarmadores de cruz y de punta plana de diferentes tamaños, con punta magnetizada y aislamiento eléctrico en el mango.
- Guantes con aislamiento eléctrico.
- Cinchas plásticas pequeñas y medianas.
- Cinta de aislar.
- Tijeras.
- Vestimenta adecuada, botas punta de acero con aislamiento eléctrico, pantalón de lona y una camisa gruesa.

Todos estos elementos son necesarios para realizar una implementación, tanto como para el proceso como para la seguridad de la persona. En la Tabla 9 se muestran los elementos que se deben de comprar, esta tabla solo nos muestra el código del fabricante, el fabricante y una descripción de cada elemento.

Tabla 8. Equipo nuevo a comprar para la implementación.

Código	Fabricante	Descripción
6ES73152EH140AB0	Siemens	CPU 315-2 PN/DP, 384kB
ATV71HU75M3	Schneider Electric	Variador de frecuencia, 10HP, 230V, ATV71
ATV71HD11M3X	Schneider Electric	Variador de frecuencia, 15HP, 230V, ATV71
ATV71H037M3	Schneider Electric	Variador de frecuencia, 0.5HP, 230V, ATV71
VW3A3307	Schneider Electric	Tarjeta opcional PROFIBUS DP ATV71
6ES73317SF000AB0	Siemens	Módulo de entrada S7300 8AI T/C 4AI 20P
6ES73317KF020AB0	Siemens	Módulo de entrada S7300 8AI 9/12/14BITS 20P
6ES73211BH020AA0	Siemens	Módulo de entrada S7300 16DI 24VDC 20PIN
6ES73221BF010AA0	Siemens	Módulo de salidas S7300 8DO 24VDC 2A 20PN
6EP13363BA008AA0	Siemens	SITOP MODULAR PLUS 20, AC: 120/230 V, DC: 24V/20 ^a
3RT10261BB40	Siemens	Contactador 40AMP 3POLE 24VDC 400VAC 11KW
6ES78105CC110YA5	Siemens	STEP7 PROFESSIONAL 2010, FL, GE/EN/FR/IT/SP
6ES79720CB200XA0	Siemens	Módulo PC Adaptador USB S7300W2K/XP 5M
6NH97203AA00	Siemens	SINAUT MD720-3 GSM/GPRS MODEM
6ES73401AH020AE0	Siemens	Módulo COMM RS232C S7300 CP340
HMW61U	Vaisala	Transmisor de humedad y temperatura
0068P21N00A040T26E5	Rosemount	RTD W/6I NCH THERMO WELL PLATINO

Código	Fabricante	Descripción
1036A	Belden	18AWG conductor triple de cobre trenzado, 100% blindado con malla y chaqueta de PVC
0976PMC512	Belden	D-SUB / M12 conector PROFIBUS. 9 polos 35°
0975254104/2M	Belden	Cable con doble terminación, M12 conector hembra, 5 polos, B-CODING a SUD-D conector macho, 9 polos con switch para resistor terminal
0975254101/1M	Belden	Cable con doble terminación, M12 conector macho con M12 conector hembra, 5 polos, B-CODING
0979PTX101	Belden	Resistor terminal para PROFIBUS, M12 conector macho, 4 polos, B-CODING

6. **Análisis financiero.** Con la información obtenida durante la realización de este trabajo, ahora se procederá a evaluar si la automatización es viable para la finca Bella Vista, tomando solo el área de secado por medio de las guardiolas.

Para poder realizar este análisis financiero se obtuvieron los siguientes datos del encargado de la finca Luis Pedro Zelaya y de la Organización Internacional del Café:

Precio de corte por una libra de café maduro Q 0.35

Precio del beneficiado de café despulpado por quintal Q 300.00

Salario aproximado del operador de las guardiolas por mes Q 2,500.00

Salarios administrativos aproximados por mes Q 55,000.00

Gasto de luz y mantenimiento de las guardiolas aproximado por mes Q 5,000.00

Gasto en combustibles aproximado por mes Q 15,000.00

Precio de venta por libra de café pergamino seco \$ 1.2955 (International Coffee Organization, 2013).

Las guardiolas operan alrededor de 20 días por mes durante los meses de octubre a mayo.

El costo de la implementación de la automatización de las guardiolas es \$30,000.00 aproximadamente, este valor se obtuvo de las páginas de los vendedores de los equipos a utilizar. El precio de los equipos puede variar en el tiempo y es por esta razón que se da un aproximado del costo de la automatización.

Con los gastos que la finca realiza mensualmente no se obtuvieron datos reales, ya que por confiabilidad y seguridad de la finca Bella Vista Luis Pedro solo dio datos muy aproximados.

La capacidad que tienen las guardiolas para secar café es de 120 quintales de café pergamino seco. Este peso es variable durante el proceso de beneficiado y secado, ya que en cada etapa el café pierde peso por pulpa y humedad. La relación que hay entre café maduro y café despulpado es $1qq \text{ café maduro} = 0.6qq \text{ café despulpado}$; y la relación entre café pergamino seco y café maduro es $1qq \text{ café pergamino seco} = 4.5qq \text{ café maduro}$. Estas relaciones son necesarias si realmente se desea obtener cálculos precisos.

Según el Banco de Guatemala para el mes de marzo del 2013 el precio del dólar en promedio fue de Q 7.81/\$ (Banco de Guatemala, 2014). Con este dato sabemos que el costo de la implementación de este trabajo en quetzales es Q 234,300.00 y que el precio de venta de la libra de café pergamino seco es Q 10.1179.

Con estos datos comenzaremos a calcular los gastos por día, mes y año.

Las guardiolas tienen una capacidad diaria para secar 120qq café pergamino seco, este dato no nos sirve para calcular el costo del corte de café y su beneficiado. Al momento de convertir de café pergamino seco a café maduro y de café maduro a café despulpado, obtenemos las siguientes cantidades:

$$120qq \text{ café pergamino seco} \times \frac{4.5qq \text{ café maduro}}{1qq \text{ café pergamino seco}} = 540qq \text{ café maduro}$$

$$540qq \text{ café maduro} \times \frac{0.6qq \text{ café despulpado}}{1qq \text{ café maduro}} = 324qq \text{ café despulpado}$$

Sabemos que un quintal es igual a cien libras ($1qq = 100lb$), el costo por libra de corte de café maduro es Q 0.35/lb, haciendo la conversión a Q/qq obtenemos $\frac{Q 0.35}{1lb} \times \frac{100lb}{1qq} = Q 35.00/qq$.

El costo diario por cortar café maduro es:

$$\frac{Q 35.00}{1qq} \times 540qq \text{ café maduro} = Q 18,900.00$$

El costo diario por beneficiar café despulpado es:

$$\frac{Q 300.00}{1qq} \times 324qq \text{ café despulpado} = Q 97,200.00$$

El ingreso diario que las guardiolas generan es:

$$120qq \text{ café pergamino seco} \times \frac{Q 10.1179}{1lb \text{ café pergamino seco}} \times \frac{100lb}{1qq} = Q 121,414.80$$

Obtenidos los gastos diarios y el ingreso diario, se calcula estos mismos rubros para un mes, el cual su operación es de 20 días aproximadamente.

El costo de cortar café maduro mensual es:

$$\frac{Q\ 18,900.00}{1\text{ día}} \times 20\text{ días} = Q\ 378,000.00$$

El costo de beneficiar café despulpado mensual es:

$$\frac{Q\ 97,200.00}{1\text{ día}} \times 20\text{ días} = Q\ 1,944,000.00$$

El ingreso mensual por la venta de café pergamino seco es:

$$\frac{Q\ 121,414.80}{1\text{ día}} \times 20\text{ días} = Q\ 2,428,285.20$$

Con estos datos, se obtiene un flujo de efectivo para un mes de la finca. A continuación se muestra en la Tabla 9:

Tabla 9. Gastos mensuales de Finca Bella Vista

Ingresos Mensuales	Total Quetzales
Venta de café pergamino seco	2,428,285.20
TOTAL INGRESOS	2,428,285.20
Egresos Mensuales	Total Quetzales
Costo corte de café maduro	378,000.00
Costo de beneficiado de café	1,944,000.00
Costo del operador de las guardiolas	2,500.00
Sueldos administrativos	55,000.00
Luz y mantenimiento	5,000.00
Combustibles	15,000.00
TOTAL EGRESOS	2,399,500.00

Como se menciona anteriormente las guardiolas solo operan 8 meses al año, de esta forma los ingresos que se obtienen por el secado de café, los gastos de corte de café maduro, el beneficiado de café, el gasto en combustibles, la luz y el mantenimiento y el salario del operador de las guardiolas solo se calcula por 8 meses, mientras que los sueldos administrativos son por el año completo. Con esto se tiene que calcular los ingresos y egresos que se tienen por un año. Este dato será necesario para poder determinar si la inversión que se tiene que hacer por la implementación de la automatización es viable.

En estos momentos procederemos a calcular los ingresos y egresos anuales que tiene la finca Bella Vista.

Ingresos por año

$$Q\ 2,428,285.20 \times 8 = Q\ 19,426,281.60$$

Egresos por año

$$(Q\ 378,000.00 + Q\ 1,944,000.00 + Q\ 2,500.00 + Q\ 5,000.00 + Q\ 15,000.00) \times 8 + Q\ 55,000.00 \times 12 \\ = Q\ 19,416,000.00$$

El costo de la inversión de la automatización es de $\$ 30,000.00 \times Q\ 7.81/\$ = Q\ 234,300.00$

Según el Banco de Guatemala la tasa para un préstamo es del 6.06% (Banco de Guatemala, 2013). Suponiendo que la finca está en el régimen tributario del 31%, obtenemos la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR) de la siguiente forma:

$$TMAR \text{ basada en la tasa que el Banco de Guatemala determina: } TMAR = \frac{6.06\%}{1-31\%} = 8.78\%$$

Obtenemos un flujo de efectivo anual proyectado por los siguientes cinco años, con un incremento anual del 3% en los ingresos y gastos, como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10. Flujo de Efectivo Anual proyectado a 5 años.

AÑO	INVERSIÓN INICIAL	INGRESOS DE LA FINCA	GASTOS DE LA FINCA	TOTAL
0	(Q 234,300.00)			(Q 234,300.00)
1		Q 19,426,281.60	(Q 19,416,000.00)	Q 10,281.60
2		Q 20,009,070.05	(Q 19,998,480.00)	Q 10,590.05
3		Q 20,609,342.15	(Q 20,598,434.40)	Q 10,907.75
4		Q 21,227,622.41	(Q 21,216,387.43)	Q 11,234.98
5		Q 21,864,451.09	(Q 21,852,879.05)	Q 11,572.03

Para determinar si es viable la implementación de la automatización, se calcula el valor presente neto de la tabla 10 utilizando la fórmula de VNA en el programa Microsoft Excel 2013 en español, de la siguiente forma:

$$VNA(8.78\%, (234,300.00), 10,281.60, 10,590.05, 10,907.75, 11,234.98, 11,572.03) = (Q\ 176,321.00)$$

Con este resultado podemos ver que la inversión que se necesita hacer por la implementación de la automatización no es viable, ya que el valor presente neto es negativo. Se necesita hacer que las guardiolas produzcan más o esperar a que el precio del café se incremente en un futuro.

VIII. CONCLUSIONES

1. El proceso de secado de café es uno de los procesos críticos del beneficiado de café, ya que este es el proceso final que determina la calidad del grano, haciendo que este sea muy húmedo, este reseco o sea el secado óptimo.
2. El salón no cuenta con una buena instalación eléctrica, ya que las fases están desbalanceadas y pueden provocar que al momento de instalar todo el equipo eléctrico de control, éste se vea afectado y se pueda arruinar, provocando un gasto mayor para la finca.
3. La implementación de la automatización de las secadoras de café no es viable en estos momentos, ya que en el análisis financiero que se realizó se ve cómo el precio actual de café no satisface para poder hacer esta implementación.

IX. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda arreglar la instalación actual del salón, ya que no es la adecuada para realizar una implementación de equipo de automatización. Se debe de instalar una línea de tierra para lograr un balance con las fases, o se puede crear una línea independiente a la potencia para colocar todo el equipo de automatización. Si no se hace caso de esta recomendación, este diseño no se hace responsable por daños al equipo a utilizar.
2. Se recomienda sustituir la bobina que alimenta el ventilador del cascabilero con cascabillo por un motor trifásico, ya que es más fácil el control de un motor trifásico por medio de un variador de frecuencia y un PLC que una bobina, aprovechando que la finca cuenta en la bodega con un motor trifásico que está almacenado y sin un uso en especial.
3. Se recomienda utilizar el PLC S7 315-2 PN/DP con una memoria de 384kB, para la implementación del diseño en el salón, ya que con este PLC se puede lograr una comunicación vía Profibus DP y se le puede adaptar un módulo de comunicación GSM/GPRS que es necesaria para el monitoreo a distancia.
4. Se recomienda utilizar variadores de frecuencia Altivar 71, ya que esta familia de variadores se le puede adaptar una tarjeta de comunicación PROFIBUS DP y lograr una mejor comunicación entre los variadores y el S7 315-2 PN/DP.
5. Es necesario utilizar contactores que se activen con 24V DC para lograr una comunicación directa con el PLC.
6. Se recomienda comprar canaletas para el cableado de sensores hacia el PLC que se encontrará dentro de en un panel.
7. Se recomienda utilizar SINAUT MD720-3 GSM/GPRS módem y el módulo COMM RS232 S7300 CP340 para lograr una red GSM entre el PLC y varios teléfonos celulares, ya que Siemens provee este módulo como una solución fácil y rápida de programar.
8. Se recomienda utilizar RTD 0068P21N00A040T26E5, por la capacidad que tiene de comunicarse en 4 – 20mA y la precisión que tiene para medir temperatura.

9. Se recomienda utilizar un sensor de humedad HMW61U ya que puede lograr una comunicación 4 – 20mA con el PLC y que por sus dimensiones y características lo hacen ideal para montar en una pared y monitorear la humedad del ambiente.

10. Se necesita comprar un nuevo panel de 1.50m de ancho por 2.00m de alto y 50cm de profundidad, ya que el panel que actualmente está instalado es muy pequeño para incluir el equipo necesario para la automatización.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Abc Electronics. (Abril de 2013). *¿Qué es un PLC?* Obtenido de <http://www.abcinnova.com/articulos-e-informacion/18-ique-es-un-plc-y-que-beneficios-tiene.html>
- Ac, M. (8 de marzo de 2013). (E. Velásquez, Entrevistador)
- ANACAFE. (Abril de 2013). *Despulpado*. Obtenido de http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=BeneficiadoHumedo_Despulpado#Despulpado
- Anacafé. (01 de Abril de 2013). *El beneficiado húmedo: clave para obtener café de calidad*. Obtenido de http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=El_beneficiado_humedo_cafe
- Anacafé. (11 de marzo de 2013). *El secamiento del café*. Obtenido de http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=BeneficiadoHumedo_Secamiento#Secamiento_al_sol_en_pacios
- ANACAFE. (Abril de 2013). *Uso eficiente del agua en el beneficiado húmedo del café*. Obtenido de http://www.anacafe.org/glifos/index.php/Uso_eficiente_agua_BeneficioHumedo
- Banco de Guatemala. (Abril de 2013). *Comportamiento de las principales variables de la política*. Obtenido de <http://www.banguat.gob.gt/inc/ver.asp?id=vmc/vmc06&e=564>
- Banco de Guatemala. (Abril de 2014). *Tipo de cambio*. Obtenido de <http://www.banguat.gob.gt/cambio/>
- Electronica Industrial.cl. (Abril de 2013). *Variadores de frecuencia de 1HP ~ 500HP*. Obtenido de <http://www.electronicaindustrial.cl/menuvariador.html>
- Google. (12 de marzo de 2013). *Google Maps*. Obtenido de <https://maps.google.com/>
- International Coffe Organization. (Abril de 2013). *International Coffe Organization*. Obtenido de <http://www.ico.org/prices/p2.htm>
- Kouro, S. (01 de 06 de 2001). *Automatización Industrial: Sensores de Huemdad*. Obtenido de Universidad Técnica Federico Santa María: <http://www.ingeborda.com.ar/biblioteca/Biblioteca%20Internet/Articulos%20Tecnicos%20de%20Consulta/Instalaciones%20Electricas%20Industriales/Sensores%20de%20Humedad.pdf>
- National Instruments. (Abril de 2013). *Guía para Realizar Medidas de Temperatura con RTDs*. Obtenido de <http://www.ni.com/white-paper/7115/es>

National Instruments. (01 de abril de 2013). *NI Developer Zone*. Obtenido de Medir temperatura con un RTD o termistor: <http://www.ni.com/white-paper/3643/es>

National Instruments. (Abril de 2013). *RTD, Thermistor, Thermocouple Comparison Chart*. Obtenido de <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/C50FA55B3B2F85D9862572D00083350E>

Rosemount. (January de 2012). *Product Data Sheet 00813-0100-2654, Rev GE*. Obtenido de Volume 1 Temperature Sensor and Accesories (English): <http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Rosemount%20Documents/00813-0100-2654.pdf>

Tecnovex. (01 de abril de 2013). *Temperatura y humedad*. Obtenido de <http://www.tecnovex.com/temperatura-y-humedad>

Vaisala. (2005). *HMW61/71 Humidity and Temperature Transmitter for Industrial/HVAC Applications*. Obtenido de http://www.thermx.com/Vaisala_Humidity/Vaisala%20HMW61_71.pdf

XI. ANEXOS

A. ENTREVISTA

La entrevista a continuación es una transcripción de la original que se llevó cabo en una hoja de papel bond blanca. Fue realizada por Elder Velásquez el 8 de marzo de 2013.

Entrevistador: Elder Velásquez

Fecha de la entrevista: 08/03/2013

Nombre del entrevistado: Marlon Ac

¿Cuál es la temporada en la cual el beneficio funciona?

De octubre a mayo

En promedio, ¿cuántos quintales de café son secados por día?

120qq por día, es la capacidad instalada

¿Cuál es la capacidad de una guardiola en quintales para secar café?

60qq de café pergamino seco

¿Cuál es la temperatura ideal para secar el café en una secadora?

De 50°C a 55°C

¿Cuáles son las formas de secar café en la finca?

Patios, invernadero y secadoras

¿Cuánto tiempo se lleva el proceso de secado de café, cuando se seca por medio de una secadora?

De 24 a 26 horas

B. GLOSARIO

1. **Café pergamino seco:** etapa en la cual el grano de café alcanza una humedad entre el 12% y 15%, el cual tiene una capa protectora conocida como cascarilla.
2. **Cascabillo:** conocida como cascarilla, es la capa que protege al grano de pergamino seco y la cual es removida en el proceso de trillado.
3. **Cascabillero:** máquina que succiona el cascabillo de una tolva y lo introduce al quemador.
4. **Beneficio de café:** procesos por el cual pasa el grano de café desde el momento después del corte hasta llegar a tener un grano de café pergamino.
5. **Partida de café:** es el lote que se está beneficiando en este momento.
6. **Mucilago:** sustancia viscosa que se encuentra en medio de la cáscara de café y el grano.
7. **Temperatura:** propiedad de la materia que está relacionada con la sensación de calor o frío que se siente en contacto con ella.
8. **Variador de frecuencia:** es un dispositivo que regula la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna por medio de la frecuencia con la cual se le suministra al motor.
9. **Café lavado:** etapa que viene después de la fermentación en la cual se desprende el mucilago del grano de café por medio de un lavado con agua.
10. **RPM (rpm):** revoluciones por minuto.
11. **Trifásico:** alimentación eléctrica en la cual se ven involucradas 3 fases de corriente alterna.
12. **PLC:** controlador lógico programable (en inglés programmable logic controller).
13. **RTD:** es un sensor que mide la temperatura mediante la variación de una resistencia interna.
14. **Humedad:** es la cantidad de vapor de agua presente en el aire.
15. **PROFIBUS:** estándar de comunicaciones para bus de campo. Deriva de las palabras process field bus.