

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Diseño de implementación de módulos digitales para un
Controlador Lógico Programable en tableros industriales con
fines didácticos en la Universidad del Valle de Guatemala**

Trabajo de graduación presentado por Diego Samuel Guillén Madrid
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2022

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Diseño de implementación de módulos digitales para un
Controlador Lógico Programable en tableros industriales con
fines didácticos en la Universidad del Valle de Guatemala**

Trabajo de graduación presentado por Diego Samuel Guillén Madrid
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

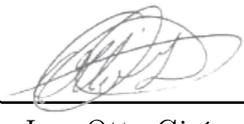
2022

Vo.Bo.:

(f) 
Ing. Kurt Kellner

Tribunal Examinador:

(f) 
Ing. Kurt Kellner

(f) 
Ing. Otto Girón

(f) 
Ing. Pablo Mazariegos

Fecha de aprobación: Guatemala, 21 de junio de 2022.

A través de los siglos el hombre se ha propuesto mejorar sus condiciones de vida, facilitar sus labores cotidianas, mejorar los procesos de producción, ser más competitivo y generar mayor riqueza a través de su trabajo, evitando desgastarse e incluso, tener que hacerlo por sí mismo. En medio de su afán por mejorar sus producciones, conseguir mayores beneficios, y ser mejor cada día, el hombre de la mano de la tecnología, grandes investigaciones y una infinidad de posibilidades ha logrado crear sistemas automáticos, que de una u otra manera han hecho más fácil y a la vez más productiva la vida del hombre. Estos sistemas, producidos a partir de conceptos básicos de las diferentes ciencias, ramas de la industria, e incluso de necesidades tan básicas como el tener que contar, han generado en el hombre la necesidad de tener todo proceso de manera automática, a partir de esta idea, se concibe la automatización, como una serie de sistemas que de manera automática o semiautomática logran realizar cualquier trabajo en menos tiempo y con mayor calidad.

En Guatemala la introducción de los procesos industriales automatizados crece cada vez más y junto con la creciente de estos procesos automatizados, el aumento de demanda de personal calificado para poder, diseñarlos, repararlos y controlarlos. Por esta razón se ha escogido el área de automatización para este trabajo, pues estos tableros de automatización industrial serán la base en el aprendizaje de los estudiantes que serán el futuro en la industria de Guatemala.

Prefacio	III
Lista de figuras	VII
Lista de cuadros	VIII
Resumen	X
Abstract	XII
1. Introducción	1
2. Antecedentes	2
3. Justificación	4
4. Objetivos	5
4.1. Objetivo general	5
4.2. Objetivos específicos	5
5. Alcance	6
6. Marco teórico	7
6.1. PLC	7
6.1.1. Fuente de alimentación	7
6.1.2. CPU	8
6.1.3. Módulos de entradas/salidas	8
6.1.4. Módulo de memorias	8
6.1.5. Tipos de PLC	8
6.2. Tableros de control:	9
6.2.1. Partes de tablero	9
6.2.2. Tipos de tableros eléctricos	10
6.3. Código de colores	11

7. Diseño de cableado	12
7.1. Código de colores y etiquetas	12
7.2. Dimensionamiento de cables	13
7.2.1. Largo de cable	13
7.2.2. Calibre de cable	17
8. Visualización en 3D	19
8.1. Modelado en 3D	19
8.2. Animación de ensamblaje	22
9. Documentación	24
9.1. Listado de componentes	24
9.2. Diagramas unifilares	27
9.3. Manual de instrucciones	30
10. Conclusiones	33
11. Recomendaciones	34
12. Bibliografía	35
13. Anexos	36
13.1. Manual, diagramas y video de instrucciones	36
13.2. Planos de construcción de tablero	37

Lista de figuras

1.	Tableros industriales existentes en la universidad	2
2.	Distribución actual y cableado de módulos digitales con señalización de secciones de cable	14
3.	Distribución propuesta y cableado de módulos digitales con señalización de secciones de cable	15
4.	Cálculo de largo de cables según secciones de cable	16
5.	Creación de cables en programa Autodesk Inventor	19
6.	Plancha metálica con rieles de anclaje de componentes	20
7.	Cableado completo del tablero	20
8.	Creación de agujeros por posición de tornillos	21
9.	Ubicación de agujeros de tornillos para canaleta	21
10.	Diseño 3D de tablero industrial con todos sus componentes.	22
11.	Generación de video de explosión de ensamblaje en programa inventor	22
12.	Generación de video de vista general de plancha metálica	23
13.	Edición de video final en Adobe Premiere	23
14.	Diagrama borneras de distribución 24 V de tablero viejo	28
15.	Diagrama de borneras de distribución 24 V	28
16.	Diagrama borneras de entradas digitales	29
17.	Diagrama unifilar de alimentación de tablero	30
18.	Diagrama unifilar de distribución de 24 V	30
19.	Captura de anclaje de bornera en riel tomada en Autodesk Inventor	31
20.	Captura de anclaje de CPU a su respectivo riel tomada en Autodesk Inventor	31
21.	Captura de explosión del anclaje de los soportes de la pantalla táctil.	31
22.	Porción del manual de instalaciones en el cual se explica el cableado del sistema de los motores trifásicos	32
23.	Captura de edición de manual en el programa Adobe InDesign	32
24.	Diagrama unifilar de alimentación de tablero	37
25.	Diagrama unifilar de distribución de 24 V	38
26.	Diagrama unifilar pantalla táctil	39
27.	Diagrama unifilar de variador de frecuencia	40

28.	Diagrama unifilar de arranque directo y botonera	41
29.	Diagrama unifilar y físico de PLC	42
30.	Diagrama unifilar de módulo de entradas analógicas	43
31.	Diagrama unifilar de módulo de salidas analógicas	44
32.	Diagrama unifilar de módulo de salidas analógicas	45
33.	Diagrama unifilar de módulo de entradas digitales	46
34.	Diagrama unifilar de módulo de entradas digitales	47
35.	Diagrama unifilar de salidas digitales y relés	48
36.	Diagrama unifilar de salidas digitales y relés	49
37.	Diagrama	50
38.	Diagrama	51
39.	Diagrama	52
40.	Diagrama	53
41.	Diagrama	54

Lista de cuadros

1.	Tabla original de IEC de código de colores para cables en tableros de control .	11
2.	Código de color a implementar	13
3.	Cálculo de largo total de cable a comprar con distribución actual	16
4.	Cálculo de largo total de cable a comprar con distribución nueva	16
5.	Tabla comparativa de corriente máxima admisible de calibres 18 y 16 AWG .	18
6.	En esta lista de componentes se provee el modelo de cada parte, la cantidad de unidades de ese dispositivo que se necesita por tablero y la cantidad de esos dispositivos que hay en la bodega de la universidad	25
7.	En esta lista se provee el nombre del fabricante de cada elemento y el nombre de la tienda en Guatemala que puede porveerlo	26
8.	En esta lista se muestra el nombre de cada componente que se necesita para hacer funcionar el módulo digital, junto a esa información se menciona el modelo de cada elemento, la cantidad de elementos que se necesita por tablero y si hay unidades disponibles en la bodega de la universidad	27
9.	En esta lista se muestran todos los módulos digitales que se encuentran en la bodega de la universidad disponible para la instalación, al lado se provee el número de modelo y código serial de cada uno	27

Diseñar e implementar el cableado de los módulos digitales del PLC de cuatro tableros de control es el objetivo principal de este proyecto. Debido a la necesidad de aumentar la capacidad de alumnos que puedan trabajar con equipo de Automatización e Instrumentación Industrial, la Universidad del Valle de Guatemala considera el plan de ensamblaje de cuatro tableros de control industrial nuevos, estos con estructura enfocada al aprendizaje.

Primero se definió el calibre de los cables. Para esto primero se identificó la corriente que iba a pasar por ellos. El fabricante de los relés especifica que utilizan 7mA. Gracias a la planificación del tablero se definió el largo de los cables, aproximadamente 7 pies. Con esta información se utilizó la fórmula VDI [1] para calcular el Índice de Caída de Voltaje y poder definir con las tablas de calibre de cable que 18AWG es una opción segura para el cableado.

Analizando el diseño de los tableros ya existentes, se propuso un nuevo diseño de acomodación de dispositivos y materiales para mejorar la forma en que los alumnos se familiarizan con el tablero, sus componentes y conexiones. Logrando este objetivo, se planteó una versión modificada del estándar de código de color de IEC, el cual tiene más colores para diferenciar los módulos analógicos y digitales del PLC. Posterior a eso se realizaron los dibujos de diagramas unifilares del tablero en AutoCAD Electrical, se utilizaron los diagramas de los tableros ya existentes como base para los diagramas de los nuevos tableros. Estos tableros utilizan figuras distintas para presentar los PLC, la cual no está bajo las normas de IEC, pero es útil para presentar las conexiones de todos los módulos del PLC. Por esta razón se utilizaron también estas figuras en los nuevos planos.

En el programa Autodesk Inventor se creó el modelo 3D del tablero con todos sus componentes, materiales y conexiones. se utilizó este mismo programa para realizar explosiones del ensamble para mostrar el proceso de armado que se debe tomar. Luego esas explosiones se utilizan para crear un manual de instalación. Por último se rendereizaron estas animaciones, se editaron de forma que se reproducen de forma inversa para que se vea cómo se ensambla el armario.

Por último, se realizó una lista de materiales y componentes para el ensamblaje completo del tablero de control. En esta lista se menciona el modelo de cada componente, la cantidad que se necesita de cada componente por cada tablero, la cantidad de unidades que hay

disponibles en la bodega de la universidad, el nombre del fabricante y el proveedor en Guatemala. Se hizo una investigación de las opciones de lugares donde se puede comprar cada componente, opciones dentro de Guatemala y fuera de Guatemala.

The design and wiring of the digital modules of the PLC of 4 control boards is the main objective of this project. Due to the increased demand of students with the need to work with Industrial Automation and Instrumentation equipment, and the University's commitment to quality education in Guatemala with a clear mission to develop agents of change that impact society, through educational experiences and research focused on Science and Technology, the Universidad del Valle de Guatemala started the assembly plan for 4 industrial control panels with a focused learning structure.

The first step in developing the plan was the definition of the wire gauge. For this, the current that would pass through them was identified. The manufacturer of the relays specifies the use of 7mA. Likewise, thanks to the planning of the board, the length of the cables was defined, which was approximately 7 feet. With this information, the VDI formula [1] was used to calculate the Voltage Drop Index and to be able to define with the cable gauge tables that 18AWG is a safe option for wiring.

By analyzing the design of the existing boards, a new design was proposed, with different accommodation of appliances gadgets and materials to improve the way students become familiar with the board, it's components and connections. After achieving this goal, a modified version of the IEC color code standard was proposed, which has more colors to differentiate the analog and digital modules of the PLC. Subsequently, the one-line diagram drawings of the board were made in AutoCAD Electrical, and the diagrams of the existing boards were used as the basis for the diagrams of the new boards. These new boards use different figures to present the PLCs, which is not under the IEC standards, but is useful to present the connections of all the PLC modules. For this reason, these figures were also used in the new plans.

On the other hand, in the Autodesk Inventor program, the 3D model of the board was created with all its components, materials and connections. This same program was used to make explosions of the assembly to show the assembly process that should be taken. Then those explosions are used to create an installation manual. Finally, these animations were made, and edited in a way in which the cabinet looks like it's being assembled

Finally, a list of materials and components was made for the complete assembly of the

control board. In it contains the model and amount of need of each component, the number of units available in the university's warehouse, the name of the manufacturer and the existing supplier in Guatemala. Also, an exhaustive investigation was made of the options of places where each component can be purchased, options within and outside Guatemala.

CAPÍTULO 1

Introducción

Un tablero eléctrico de control es un armazón metálico dentro del cual se instalan varios dispositivos eléctricos. Estos dispositivos en conjunto tienen la capacidad de controlar el flujo de trabajo de un proceso en cualquier industria. Los módulos de salidas y entradas digitales, en los cuales se enfoca este trabajo, son parte de estos tableros.

La Universidad del Valle de Guatemala actualmente cuenta con seis de estos tableros de control y se planea instalar cuatro más. Estos tableros están dirigidos al aprendizaje de sistemas de control en la industria. Por esto, se define el objetivo de este trabajo como, diseñar la instalación del módulo digital de un PLC en un tablero de automatización industrial.

En los siguientes capítulos se describe el proceso de diseño que se llevó a cabo para definir los circuitos que aseguren el correcto transporte y distribución de la energía eléctrica. Asimismo se definió una distribución de componentes tal que permita realizar un cableado estructurado y seguro.

Para garantizar una buena conexión de la instalación, se ha desarrollado un manual que describe el proceso que cada usuario debe seguir para ensamblar el sistema requerido y operarlo de manera eficiente. Para simplificar la comprensión del manual, se creó una visualización 3D que se desarrolló con el programa AutoDesk Inventor. Con este diseño 3D se creó un video de la simulación de la instalación.

CAPÍTULO 2

Antecedentes

En la actualidad, el departamento de electrónica, mecatrónica y biomédica de la Universidad del Valle de Guatemala posee seis tableros de control industrial. Estos tableros con fines didácticos fueron diseñados y ensamblados por la empresa guatemalteca ESINSA en el 2014. Los planos y diagramas unifilares de estos tableros sirvieron como referencia para este trabajo.

Estos tableros contienen dos fuentes de poder, una de ellas es para los componentes que operan con 24 V y la otra es para alimentar los componentes relacionados con el funcionamiento de los motores. El tablero contiene dos módulos digitales, uno de entrada y otro de salida y dos módulos analógicos, uno de entrada y uno de salida. También cuenta con disyuntores y una pantalla táctil.

Un disyuntor, cortacircuitos, contactor y un variador de frecuencia es alimentado mediante una tensión trifásica de 220 V corriente alterna.



Figura 1: Tableros industriales existentes en la universidad

En cuanto a los diagramas unifilares se ha utilizado la norma IEC. Dentro de ellos se

encuentra especificada información de los dispositivos y de algunos conductores como el calibre y el color. Para comprender el código de referencias de señales es necesario conocer las reglas de la norma.

La empresa LittelFuse ha hecho un manual de seguridad industrial que resulta útil para la planificación de esta instalación [2]. En este manual mencionan todas las entidades que regulan las normas de seguridad industrial enfocadas en electricidad.

CAPÍTULO 3

Justificación

La Universidad del Valle de Guatemala ha estado en constante crecimiento durante los últimos años, teniendo cada vez más opciones de carreras nuevas y más estudiantes dentro del campus. Por esta y más razones está en proceso de construcción el edificio CIT, el cual tendrá un laboratorio de automatización donde se necesitaran los tableros de control de los que ya existen en la universidad. Al haber más tableros, se podrá trabajar de una forma más personalizada y se mejorará la experiencia del aprendizaje. Con tableros más intuitivos y amigables para los primeros usuarios, se tendrá una mejor experiencia de aprendizaje.

4.1. Objetivo general

Diseñar la implementación de módulos digitales para un Controlador Lógico Programable en tableros industriales con fines didácticos en la Universidad del Valle de Guatemala.

4.2. Objetivos específicos

- Diseñar la implementación del cableado de los módulos de entradas y salidas digitales.
- Implementar un código de colores de identificación de cables basado en normas estandarizadas para una mejor experiencia de aprendizaje.
- Realizar una lista de materiales y componentes para el ensamblaje completo del tablero de control.
- Crear diagramas unifilares de todas las conexiones dentro del tablero de control.
- Hacer un modelo 3D del tablero y video de ensamblaje del tablero y sus componentes.
- Hacer un manual de instrucciones para ensamblar el tablero

Con la información obtenida se planea guiar a una siguiente generación de estudiantes a una instalación adecuada de los tableros de control. Así generando más oportunidad de aprendizaje a muchos estudiantes guatemaltecos. Los nuevos estudiantes tendrán la oportunidad de poder trabajar con tableros fáciles de entender gracias a los códigos de colores y tendrán la confianza de trabajar con un equipo seguro, gracias a los lineamientos de seguridad industrial con los cuales se diseñó este tablero. Se creó también un manual de instrucciones de ensamble y un video de ensamble, los cuales tiene el objetivo de enseñar de forma clara el proceso de instalación de los componentes del tablero.

Con este trabajo se pretende planificar la instalación de los módulos de salidas y entradas digitales del PLC de los nuevos tableros de automatización. Por esta razón a pesar que se muestran a grandes rasgos la instalación de todos los componentes del tablero, los cálculos realizados se enfocan principalmente en todo lo relacionado a los módulos digitales.

Este proyecto consistió en el correcto cableado de tableros de automatización con un fin didáctico. Debido a la creación de un nuevo código de colores se investigó el código de colores de normas como IEC60446:2007[3]. Se necesita saber qué conexiones necesitan los módulos digitales, y los relés que se utilizan. Como también se debe contemplar qué conexiones usan los botones de la puerta frontal.

6.1. PLC

Un PLC (controlador lógico programable) también conocido como autómata programable, es básicamente una computadora industrial la cual procesa todos los datos de una máquina como pueden ser sensores, botones, temporizadores y cualquier señal de entrada. Para posteriormente controlar los actuadores como pistones, motores, válvulas, etc. y así poder controlar cualquier proceso industrial de manera automática. Para que un PLC pueda procesar y controlar cualquier sistema se necesita que esté previamente programado para la tarea que va a realizar[4]. Con el fin de poder programarlo se necesita un software que es específico dependiendo la marca y cada programa cuenta con diversos lenguajes de programación en los cual escribimos instrucción por instrucción lo que se va a procesar y controlar. Se puede dividir en diferentes partes, las cuales pueden estar integradas o por módulos:

6.1.1. Fuente de alimentación

Su función es suministrar la energía eléctrica a la CPU y demás tarjetas del PLC. La fuente de alimentación proporciona las tensiones necesarias para el funcionamiento de los distintos circuitos del sistema.

La alimentación a la CPU puede ser de continua a 24 Vcc, tensión muy frecuente en cuadros de distribución, o en alterna a 110/220 Vca. En cualquier caso, es la propia CPU la

que alimenta las interfaces conectadas a través del bus interno. La alimentación a los circuitos I/O puede hacerse, según tipos, en alterna a 48/110/220 Vca o en continua a 12/24/48 Vcc. La fuente de alimentación del autómata puede incorporar una batería tampón, que se utiliza para el mantenimiento de algunas posiciones internas y del programa del usuario en memoria RAM, cuando falla la alimentación o se apaga el autómata.

6.1.2. CPU

La unidad de procesamiento central esta se encarga de interpretar cada una de las instrucciones que tiene programado el PLC.

6.1.3. Módulos de entradas/salidas

Son una de las características prescindibles de un PLC porque a través de los módulos de entrada y salida es posible hacer una conexión física entre el CPU y el sistema a controlar. A través del módulo de entrada se le manda una retroalimentación al PLC para que este pueda procesar los datos. Luego tenemos el módulo de salida, una vez que el PLC recibe la retroalimentación y procesa los datos con base en su programa, manda una respuesta a los actuadores para controlar al proceso.

6.1.4. Módulo de memorias

En los módulos de memoria es donde se guarda el programa del PLC. Los tipos de memorias son los siguientes:

- RAM
- ROM
- PROM
- EAROM
- NVRAM

6.1.5. Tipos de PLC

Nano: Estos tipos de PLC generalmente integran la fuente de alimentación, la CPU y las entradas y salidas, la diferencia entre el tipo compacto es que maneja un conjunto reducido de entradas y salidas. el tipo nano permite manejar entradas y salidas digitales y algunos módulos especiales.

Compacto: Este tipo de PLC tienen incorporada la fuente de alimentación, su CPU y los módulos de entrada y salida en un solo módulo principal y permiten manejar desde unas pocas entradas y salidas hasta varios cientos, pero no pueden expandir sus modelos, su tamaño es superior a los de tipo Nano y soportan una gran variedad de módulos especiales, tales como: entradas y salidas analógicas, módulos, contadores rápidos, módulos de comunicaciones, interfaces de operador, expansiones de entrada y salida.

Modular: Este tipo tiene la ventaja de que pueden ser configurados conforme a las necesidades, ya que cada módulo está por separado y se puede armar el PLC según las necesidades requeridas en el sistema.

6.2. Tableros de control:

Los tableros eléctricos [5] prácticamente son armazones metálicos que se utilizan para proteger a todos los componentes de mando y de control de cualquier sistema eléctrico, ya sea desde un circuito básico de un hogar hasta los componentes de uno más complejo como el de una máquina industrial. A pesar de que los tamaños y formas pueden variar según la aplicación que se les dé, existen partes esenciales que podemos encontrar en cualquier tablero eléctrico.

6.2.1. Partes de tablero

Gabinete: Es la parte exterior que se encarga de proteger a todos los componentes de un circuito de control, principalmente los podemos encontrar de metal, aunque en algunas ocasiones y depende de su aplicación los encontramos de plástico [6].

Rieles metálicos: Estos rieles sirven como base para poder montar todos los componentes que se van a utilizar para el control del sistema.

Barras colectoras: Estas barras son de un material conductor y se utilizan para suministrar la corriente eléctrica a los componentes del tablero, por lo regular se utilizan cuando se necesita de una gran cantidad de energía.

Canaletas: Estos son unos canales de plástico en donde se colocan los cables para llevarlos de un lugar del tablero hacia otro.

Borneras de conexiones: También se les conocen como clemas y son prácticamente son conectores eléctricos que aprisionan el cable a través de un tornillo, estas borneras se utilizan principalmente cuando los cables van a salir del tablero hacia un componente externo como puede ser un motor o cualquier actuador.

Prensa cables: También se les conoce como conectores de glándula y estos van empotrados en el gabinete eléctrico para poder transportar los cables de una manera segura desde el exterior al interior o viceversa.

Componentes eléctricos y electrónicos: Los componentes pueden variar según el tipo de sistema que se necesite, puede desde uno básico con fusibles y protecciones hasta uno más complejo con PLC, contactores, guarda-motores, temporizadores, etcétera.

6.2.2. Tipos de tableros eléctricos

Se puede encontrar y clasificar diferentes tipos de tableros, ya sea por su aplicación o su por contenido de estos.

Tablero de distribución (TD) Estos se encargan de distribuir la corriente eléctrica hacia diferentes puntos del sistema. Dentro de este tipo podemos encontrar tres diferentes:

Distribución principal: son los que se conectan directamente a la línea de alimentación y tienen un interruptor maestro o principal capaz de cortar todo suministro de energía. Distribución secundaria: Son derivaciones del tablero principal y se encargan de controlar pequeñas partes del sistema.

Centro de control de motores (CCM): Este tablero se caracteriza por tener como componentes principales contactores, relés y todo tipo de componente que se utiliza para controlar a los motores eléctricos.

Alumbrado y centros de carga: Sirven para distribuir pequeñas cargas eléctricas como puede ser a contactos y alumbrado.

De control de potencia: La característica principal de este tipo es que controla una gran cantidad de corriente eléctrica que van desde los 1,000 A hasta los 6,000 A y voltajes hasta de 600 V en corriente alterna.

De protección, control y medición (PCyM): Este tipo esta compuesto por diferentes tableros autosoportados donde cada uno de ellos está diseñado para cumplir una función específica como puede ser de control, de protección, control y medición.

Auto-soportado: Tiene la capacidad de sostener su propio peso y normalmente se coloca sobre un pedestal, ya sea fijado o anclado.

Empotrado: Este tipo de tablero se caracteriza porque va colocado dentro de las paredes y/o estructuras.

Adosado: Están diseñados para ser colocados junto a las paredes o cualquier tipo de estructura.

6.3. Código de colores

Sabiendo que la creación del nuevo código de colores se basa en los estándares establecidos por la IEC, se utiliza en el documento IEC60446:2007 [7] que especifica las normas de la utilización de colores en los tableros de control. En este documento se encuentra la siguiente tabla.

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

Cuadro 1: Tabla original de IEC de código de colores para cables en tableros de control

Para diseñar el cableado del tablero se tiene que definir el calibre del cable, el largo del cable y el color del cable. El largo del cable se obtiene al analizar la ubicación de los dispositivos dentro del tablero. Para calcular el calibre del cable se utiliza el largo del cable y la corriente que conduce. Por último, se escogen los colores del cable primero basándose en el código de colores regido por el código NEC y luego agregando colores para identificar las conexiones de los diferentes módulos del PLC. Este nuevo código colores permitirá tener a los alumnos una mejor experiencia de aprendizaje. A continuación se explica con detalle la metodología de selección del cableado de los módulos digitales del PLC.

7.1. Código de colores y etiquetas

Los tableros de automatización contienen muchos conductores eléctricos que deben cumplir normas de seguridad y de etiquetado. Por esto se escogió, como base, la norma IEC-60446: *Principios básicos de seguridad para interfaces humano-máquina e identificación de conductores*. En esta norma se especifican los colores de todos los cables a utilizar en el tablero, excepto los de señales digitales y analógicas. Por esta razón se realizó un nuevo código de colores basado en la norma antes mencionada y agregando modificaciones para los cables de señal.

La Figura 2 se muestra una tabla con el código de colores modificado que se implementó. Esta tabla se recomienda imprimir y laminar para poder pegarla en pared del tablero.

Función	Etiqueta	Color
Tierra protectora	PE	Verde
Línea trifásica 1	L1	Negro
Línea trifásica 2	L2	Rojo
Línea trifásica 3	L3	Blanco
Neutro	N	Azul Claro
Alimentación 24V	24V	Café
Alimentación 0V	0V	Gris
Comunicación variador de frecuencias	VFD(01-30)	Morado
Entradas analógicas	PLC-AI-(00-15)	Naranja
Salidas analógicas	PLC-AO-(00-15)	Naranja
Entradas digitales	PLC-DI-(00-15)	Amarillo
Salidas digitales	PLC-DO-(00-15)	Amarillo

Cuadro 2: Código de color a implementar

7.2. Dimensionamiento de cables

7.2.1. Largo de cable

Con base en la experiencia que se tuvo en la clase de automatización industrial, se propuso una nueva disposición de los componentes dentro del tablero. A continuación se muestran los cálculos del largo de cables necesarios para el diseño original y el nuevo diseño propuesto.

Para calcular la medida de los cables de la distribución actual de los componentes se tomó el diagrama de medidas en milímetros de los dibujos antiguos 2 y con estos se realizaron simples operaciones para obtener las medidas de cada sección.

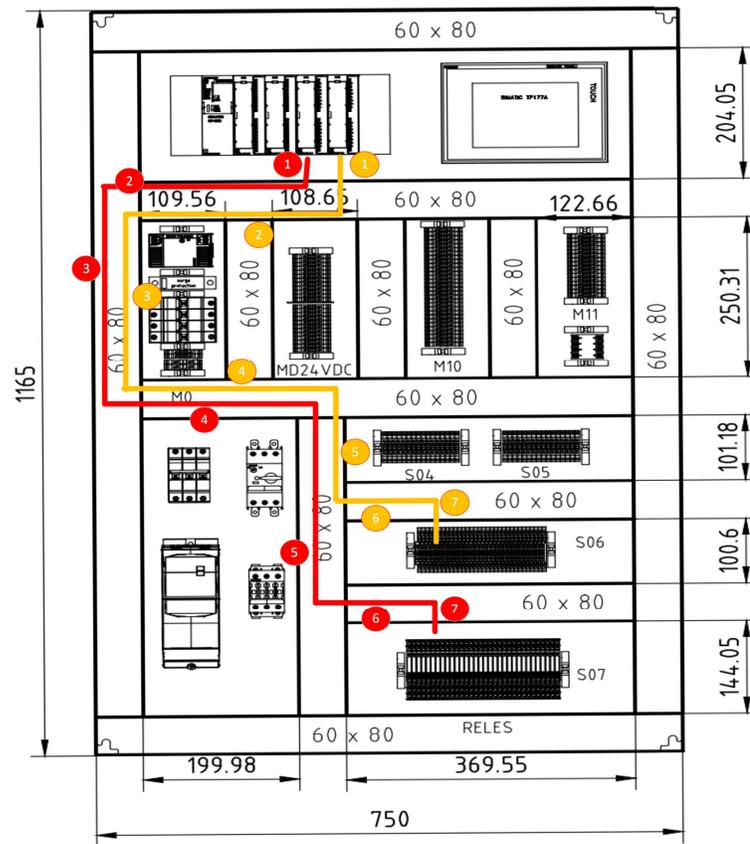


Figura 2: Distribución actual y cableado de módulos digitales con señalización de secciones de cable

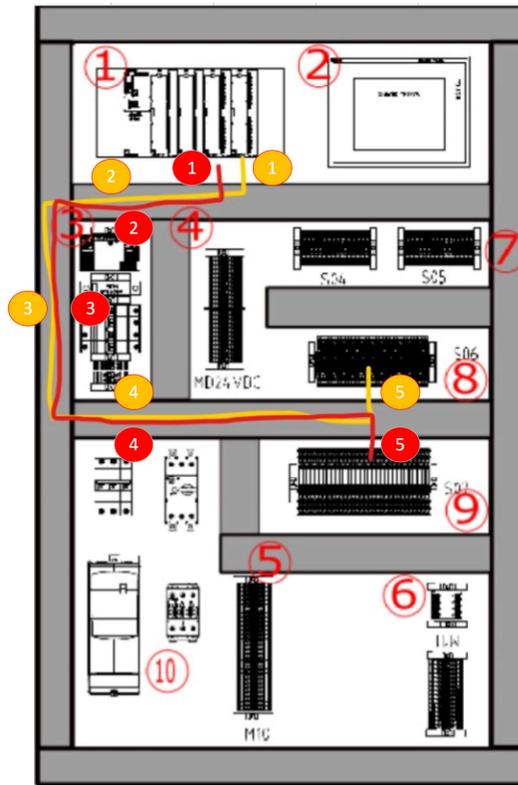


Figura 3: Distribución propuesta y cableado de módulos digitales con señalización de secciones de cable

En Microsoft Excel se hizo una tabla con las medidas de cada sección del cable y el resultado de la suma de todas las secciones.

Distribución actual			
Entrada digital		Salida digital	
Sección	Largo (mm)	Sección	Largo (mm)
1	80	1	80
2	377	2	377
3	410	3	410
4	359	4	359
5	261	5	361
6	185	6	185
7	80		80
Total	1752	Total	1852

Distribución propuesta			
Entrada digital		Salida digital	
Sección	Largo (mm)	Sección	Largo (mm)
1	80	1	80
2	377	2	377
3	410	3	410
4	544	4	544
5	80	5	80
Total	1491	Total	1491

Figura 4: Cálculo de largo de cables según secciones de cable

Por último, se calculó el largo total de cable que se debe comprar según la distribución de dispositivos que se elegirá. Para la nueva distribución se debería de comprar 95 metros de cable amarillo.

Descripción	Longitud unitaria (mm)	Cantidad	Longitud parcial (mm)
Bornera a DI	11752	32	56064
Relé a DO	1852	32	59264
		Total	115328
		Total metros	115

Cuadro 3: Cálculo de largo total de cable a comprar con distribución actual

Descripción	Longitud unitaria (mm)	Cantidad	Longitud parcial (mm)
Bornera a DI	1491	32	47712
Relé a DO	1491	32	47712
		Total	95424
		Total metros	95

Cuadro 4: Cálculo de largo total de cable a comprar con distribución nueva

Para el diseño original se necesita un total de 115m y para el diseño propuesto se utilizarían 95m de cable. Esta nueva organización de los componentes necesitaría un 17% menos de cable para los módulos digitales.

7.2.2. Calibre de cable

Una vez realizados los diagramas de dimensiones físicas del tablero y el modelo 3D, se calculó el largo de los cables que se instalarán de una forma exacta. Luego se calculó el calibre del cable según la corriente que transmitirán, el largo de los cables y la caída de voltaje que se considera que habrá. Estos cálculos se realizaron para los cables de calibre 18AWG y 16AWG para determinar cuál es el adecuado.

Las salidas digitales son conectadas a unos relés, los cuales representan la carga más fuerte soportada por los cables de los módulos digitales. La corriente que consumen estos relés es de 7mA según la página del fabricante [8]. Puesto que los cables que se venden en Guatemala tiene notación en sistema inglés, se trabajarán las distancias en pies. El largo de los cables aproximadamente es de 5 pies, la señal es de 24 V y según el NEC[9], en el artículo 210.19, la caída máxima de voltaje no debe exceder el 3% .

Para calcular el amperaje máximo se utiliza la ecuación de la caída de voltaje que se obtuvo del NEC [9], siglas en inglés de *Código Nacional Eléctrico*, esta ecuación relaciona el largo del cable, la corriente y la impedancia efectiva R. En la página 689 del NEC se encuentra la tabla de propiedades de conductores que indica que los conductores de cobre recubiertos 18 AWG y 16 AWG presentan una impedancia efectiva de $R = 8.08 \text{ ohm/kFT}$ y $R = 5.08 \text{ ohm/kFT}$ Respectivamente.

$$I_{18} = \frac{VOLTDROP}{(R) * (L)} = \frac{0.72V}{(8.08ohm/kFT) * (0.005kFT)} = 17.8A$$
$$I_{16} = \frac{VOLTDROP}{(R) * (L)} = \frac{0.72V}{(5.08ohm/kFT) * (0.005kFT)} = 28.3A$$

Se utilizan los valores de largo y amperaje de la sección anterior $L = 5 \text{ FT}$ y el 3% de los 24V que es 0.72V esto da como resultado una corriente de 17.82 A para 18 AWG y 28.34 A para 16 AWG.

También se toma en cuenta la ampacidad para seleccionar el calibre del cable. En la tabla 400.5(A)(1) del NEC se especifica 7A como la ampacidad del 18 AWG y 10A para el calibre 16 AWG. Debido a que se instalarán 32 cables, se utiliza el factor de corrección de 0.4 encontrado en la tabla 400.5(A)(3) también se consideró el factor de corrección por temperatura del ambiente, este es de 1.0 y se encuentra en la tabla 310.15(B)(2)(a). eso da un amperaje máximo de 2.8 A para 18AWG y 4 A para 16AWG.

$$I_{18} = (7A) * (0.4) = 2.8A$$

$$I_{16} = (10A) * (0.4) = 4A$$

Ambos métodos, caída de voltaje y ampacidad del cable, dan resultados de corriente mayor a 7 mA. El precio de los cables también se toma en consideración, en la página Amazon los cables 18 AWG y 16 AWG de la marca GS Power cuestan \$0.08/FT y \$0.12/FT respectivamente. Se elige el calibre 18 AWG, por costar 33% menos que el calibre 16AWG.

Calibre	Por caída de voltaje (A)	Por ampacidad (A)
18 AWG	17.8	2.8
16 AWG	28.3	4

Cuadro 5: Tabla comparativa de corriente máxima admisible de calibres 18 y 16 AWG

Visualización en 3D

8.1. Modelado en 3D

Para planificar la instalación correcta de los componentes se diseñó un modelo 3D del tablero y sus partes. De esta forma se pudo visualizar la realización de agujeros, el tamaño de los cables requeridos, la distribución de componentes y otros detalles más.

Se utilizó el software Autodesk Inventor para crear el modelo físico del tablero. En este modelo se incluyeron todas las piezas mecánicas requeridas como los rieles, canaletas, tornillos, bisagras, etc. También se incluyó todos los cables que conectan todos los dispositivos. En la siguiente imagen se puede observar el proceso de cableado en el software.

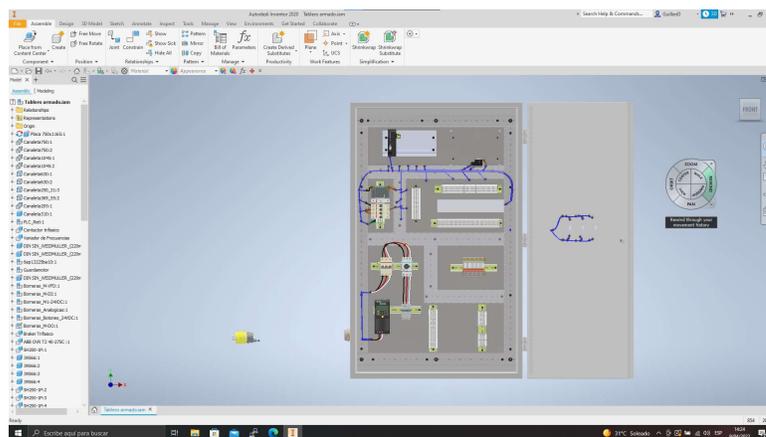


Figura 5: Creación de cables en programa Autodesk Inventor

Por la complejidad del diseño, el plan para realizarlo fue utilizando etapas de detalle. En la primera etapa se generaron el cajón de la carcasa sin puerta y se colocaron los componentes usando prismas con las medidas básicas de cada uno de ellos. Luego se generó la plancha metálica y los rieles en los cuales se anclan los dispositivos.

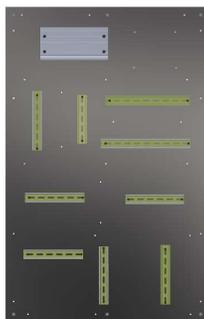


Figura 6: Plancha metálica con rieles de anclaje de componentes

En la segunda etapa, se incluyeron los modelos de los componentes principales. La mayoría de los componentes se obtuvieron en la librería de la página GrabCad [10]. El software Inventor tiene la versatilidad de poder incluir cableado en sus diseños y permite elegir color, calibre y posición de los cables.

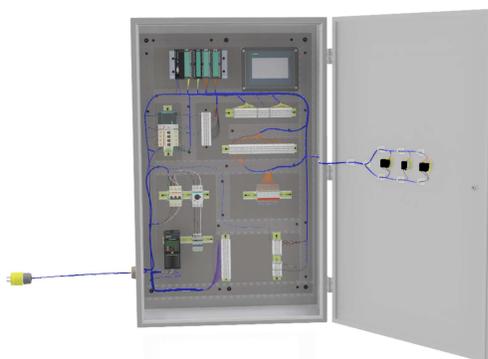


Figura 7: Cableado completo del tablero

En la tercera etapa, se agregaron más componentes de detalle como los cinchos plásticos para ordenar los cables, se implementó un modelo de la carcasa más real con puerta, bisagra y los botones. En esta etapa se añadió también los tornillos que sujetan los rieles en los que se sujetan todos los dispositivos del tablero y los tornillos que sujetan las canaletas.

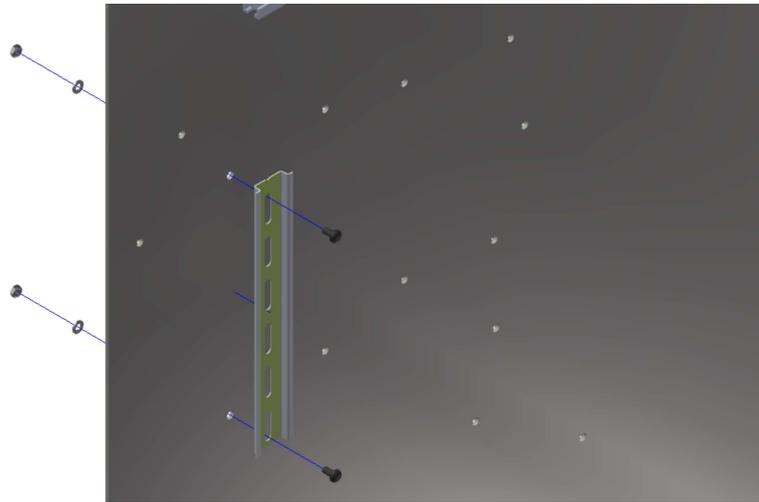


Figura 8: Creación de agujeros por posición de tornillos

Se posicionaron los tornillos respecto a los orificios de los rieles Din, luego se hicieron los agujeros correspondientes a los tornillos en la placa metálica. Gracias a este proceso digital se pudieron realizar planos exactos de la posición de los agujeros como se muestra en la siguiente figura.

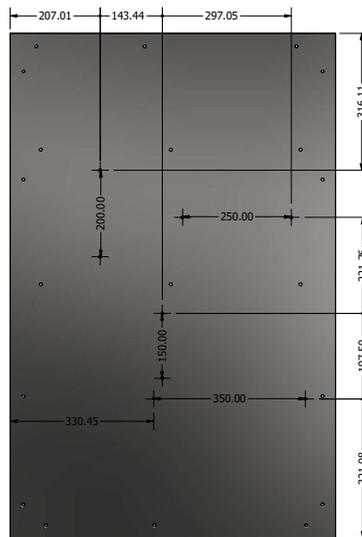


Figura 9: Ubicación de agujeros de tornillos para canaleta

Más adelante se identificaron piezas que faltaban en el diseño 3D, como el conector de la fuente de alimentación de la pantalla táctil. A pesar de que no se encontró ningún esquema con las medidas del componente, se creó un aproximado a partir de fotos existentes en el manual de la pantalla. La parte del conector macho que se incrusta, se generó a partir de la cavidad del conector hembra de la pantalla.

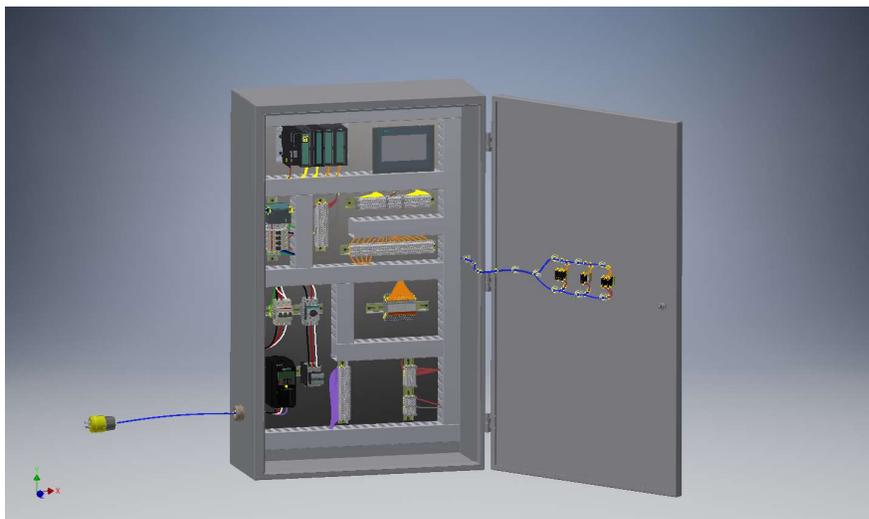


Figura 10: Diseño 3D de tablero industrial con todos sus componentes.

8.2. Animación de ensamblaje

Con el objetivo de explicar con mayor claridad a los técnicos, cómo deben instalar los componentes en el tablero, se optó por crear un video de ensamblaje. En este video se puede ver en que forma y en que lugar se colocan los componentes. Para esto se utilizó primero el software Autodesk Inventor en el cual se generó un archivo de tipo .ipn el cual permite hacer explosiones de ensamblajes. Luego en este mismo programa se hicieron varios videos cortos en los cuales muestra la instalación de componentes

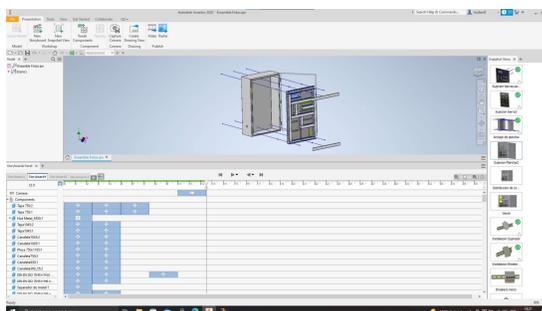


Figura 11: Generación de video de explosión de ensamblaje en programa inventor

Los videos cortos de instalación son simplemente videos de explosión de ensamblajes

reproducidos a la inversa. Otros vídeos cortos, también generados en Inventor muestran las conexiones de los cables y el camino que toman estos cables dentro de las canaletas.

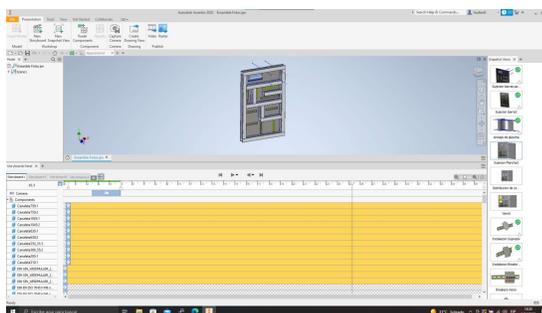


Figura 12: Generación de video de vista general de plancha metálica

Después de generar todos los vídeos de ensamblajes y de visualización de cables, se procedió a unirlos en el programa de edición de video Adobe Premiere. Se puede visualizar el video en el siguiente link: <https://drive.google.com/drive/folders/1VUUoxnrNvQJtIedS-hkHyOubWFecWjw1?usp=sharing>

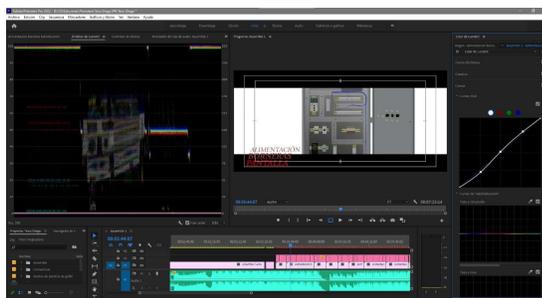


Figura 13: Edición de video final en Adobe Premiere

9.1. Listado de componentes

Parte	Modelo	C. por tablero	Disp en UVG
CPU (SIEMENS)	315 -2DP	1	5
Analog Inputs	331-7KF02-0AB0	1	3
Analog Outputs	332-5HF00-0AB0	1	3
Digital Inputs	6ES7321-1BH02-0AA0	1	3
Digital Inputs	6ES7321-1BL00-0AA0	1	1
Digital Outputs	6ES7322-1BH01-0AA0	1	4
Simatica Panel Touch	TP 177A	1	4
Convertidor AC-DC	6EP1332-5BA10	1	12
Supresor	(Protec C 40/275)	1	0
Interruptor termo-magnético	S 201-K6A-C4	1	0
Interruptor termo-magnético	S 201-K6A-C2	2	0
Interruptor termo-magnético	S 201-K6A-C1	1	0
Borneras	UKJ6	170	0
Borneras tierra física	NSYTRV42PE	4	0
Interruptor termomagnético trifásico	S203-C40	1	0
Interruptor termomagnético trifásico	3RV1021-1CA10	1	0
Variador de frecuencia VFC	6SE6440-2UC13-7	1	6
Contacto 3 fases	3RT1024-1B	1	0
Timer	AT8M	1	0
Base de Relé	RIF-0-BPT/21-2900958	16	0
Relé	REL-MR-24DC/21-2961105	16	0

Parte	Modelo	C. por tablero	Disp en UVG
3 position selector NO neuter	-	1	0
Emergency stop switch	-	1	0
Push button NC	-	1	0
Push button NO	-	1	0
Profibus DP	-	2 m	0
Resistencia terminal profibus	6ES7972 - 0BB60 - 0XA0	3	0
Módulo PROFIBUS	6SE6400-1PB00-0AA0	1	
Panel de operador	6SE6400-0AP00-0AA1	1	
Espiga eléctrica	-	1	0
Espiga eléctrica de 30A (Trifásica)	-	1	0
Perfil de riel de fijación	TH3575T	3 metros	0
Perfil de riel de fijación	6ES7390-1AF30-0AA0	0.5 metros	0
Canaletas	CD 60X80 - 3240199	6.5 m	0
Separador para bornera	UKJW25-10FG	10	0
Terminales 18 WG	AW10008	476	0
Terminales 16 AWG	Ad15008	28	0
Terminales 14 AWG	AW25008	6	0
Separador de módulos	UD1GY	30	0

Cuadro 6: En esta lista de componentes se provee el modelo de cada parte, la cantidad de unidades de ese dispositivo que se necesita por tablero y la cantidad de esos dispositivos que hay en la bodega de la universidad

Parte	Fabricante	Proveedor
CPU (SIEMENS)	Siemens	ESINSA
Analog Inputs	Siemens	ESINSA
Analog Outputs	Siemens	ESINSA
Digital Inputs	Siemens	ESINSA
Digital Inputs	Siemens	ESINSA
Digital Outputs	Siemens	ESINSA
Simatica Touch Panel	Siemens	Egensa
Convertidor AC-DC	Siemens	ESINSA, Egensa
Supresor	Iskra	Fastron Electronics
Interruptor termo-magnético	ABB	ESINSA, Ab Control
Interruptor termo-magnético	ABB	ESINSA, Ab Control
Interruptor termo-magnético	ABB	ESINSA, Ab Control
Borneras	FerrulesDirect	FerrulesDirect
Borneras tierra física	FerrulesDirect	FerrulesDirect
Interruptor termomagnético trifásico	ABB	FerrulesDirect
Interruptor termomagnético trifásico	Siemens	Egensa
Variador de frecuencia VFC	Siemens	Egensa
Contactador 3 fases	Siemens	Egensa
Base de Rele	Phoenix Contact	Esinsa
Relé	Phoenix Contact	Esinsa
3 position selector NO neuter 0	Phoenix Contact	Egensa/ABB/Ferrules
Push button emergency stop switch	Phoenix Contact	Egensa/ABB/Ferrules
Push button NC	Phoenix Contact	Egensa/ABB/Ferrules
Push button NO	Phoenix Contact	Egensa/ABB/Ferrules
Profibus DP	Phoenix Contact	Schneider Electric
Resistencia terminal para cerrar profibus	Siemens	Egensa
Módulo PROFIBUS	Siemens	Egensa
Panel de operador	Siemens	Egensa
Espiga eléctrica	-	Novex
Espiga eléctrica de 30A (Trifásica)		Novex
Perfil de riel de fijación	Siemens	FerrulesDirect
Canaletas	-	Novex
Separador para bornera	FerrulesDirect	FerrulesDirect
Terminales 18 WG	Ferrules Direct	FerrulesDirect
Terminales 16 AWG	Ferrules Direct	FerrulesDirect
Terminales 14 AWG	Ferrules Direct	FerrulesDirect
Separador de módulos	Ferrules direct	Ferrules direct

Cuadro 7: En esta lista se provee el nombre del fabricante de cada elemento y el nombre de la tienda en Guatemala que puede porveerlo

No.	Parte	Modelo	Cantidad por tablero	Disponibilidad
1	Digital Inputs	6ES7321-1BH02-0AA0	1	si
2	Digital Outputs	6ES7321-1BH02-0AA0	1	si
3	Borneras	-	16	no
4	Terminales 18AWG	-	64	no
5	Cable amarillo	-	104m	no
6	Perfil de riel de fijación	-	2	no
7	Separador	-	3	no
8	Bornera para relé	-	32	no
9	Relé PHOENIX CONTACT	-	32	no

Cuadro 8: En esta lista se muestra el nombre de cada componente que se necesita para hacer funcionar el módulo digital, junto a esa información se menciona el modelo de cada elemento, la cantidad de elementos que se necesita por tablero y si hay unidades disponibles en la bodega de la universidad

No.	Dispositivo	Modelo	Código
1	MÓDULO DE ENTRADA DIGITAL	6ES7321-1BH02-0AA0	C-BNUR3465
2	MÓDULO DE ENTRADA DIGITAL	6ES7321-1BH02-0AA0	C-BNUR5733
3	MÓDULO DE ENTRADA DIGITAL	6ES7321-1BH02-0AA0	C-BNUR5732
4	MÓDULO DE ENTRADA DIGITAL	6ES7321-1BL00-0AA0	C-ANVP3987
5	MÓDULO DE SALIDA DIGITAL	6ES7321-1BH02-0AA0	C-BNVT1959
6	MÓDULO DE SALIDA DIGITAL	6ES7321-1BH02-0AA0	C-BNVT2033
7	MÓDULO DE SALIDA DIGITAL	6ES7321-1BH02-0AA0	C-BNVT2029
8	MÓDULO DE SALIDA DIGITAL	6ES7321-1BH02-0AA0	C-BNVT2028
9	MÓDULO DE SALIDA DIGITAL	6ES7332-5HF00-0ABO	C-ANWA4441

Cuadro 9: En esta lista se muestran todos los módulos digitales que se encuentran en la bodega de la universidad disponible para la instalación, al lado se provee el número de modelo y código serial de cada uno

9.2. Diagramas unifilares

La empresa que instaló los tableros antiguos realizó diagramas unifilares de estos tableros. En estos diagramas se encuentran las conexiones de los componentes de los tableros y vista frontal de algunos de los componentes. En este diagrama 14 se muestra las conexiones de distribución de la alimentación de 24 V. El transformador es controlado por un interruptor termomagnético máster. Un supresor está conectado de forma paralela con el transformador también. A la salida del transformador se distribuye la señal a 3 secciones diferentes del tablero, PLC, HMI y alimentación general de 24 V. Cada una de estas secciones es habilitada por interruptores termomagnéticos. Se pueden encontrar todos los formatos del diagrama completo de los tableros viejos en la sección 13.1 de los anexos

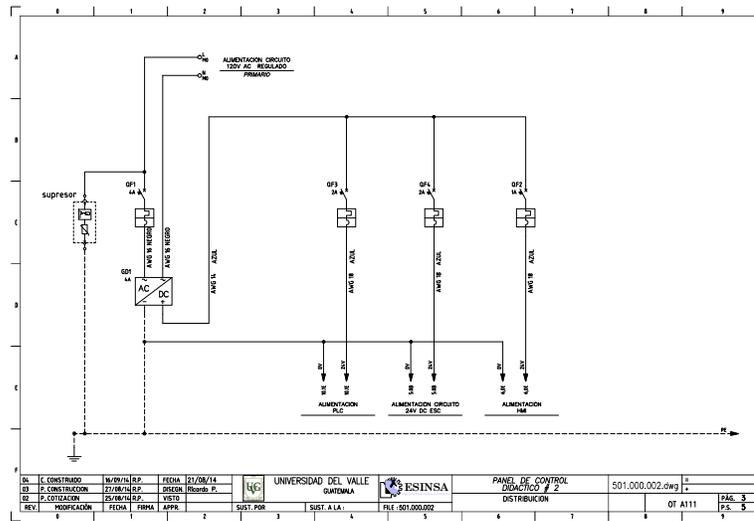


Figura 14: Diagrama borneras de distribución 24 V de tablero viejo

Basado en estos diagramas se realizó, en el programa AutoCAD Electrical, los diagramas de los nuevos tableros. En estos nuevos diagramas se muestran las pequeñas variaciones de cableado como por ejemplo las borneras extra de 24 V y 0 V junto a las borneras de señales analógicas que se muestran en la siguiente Figura 15

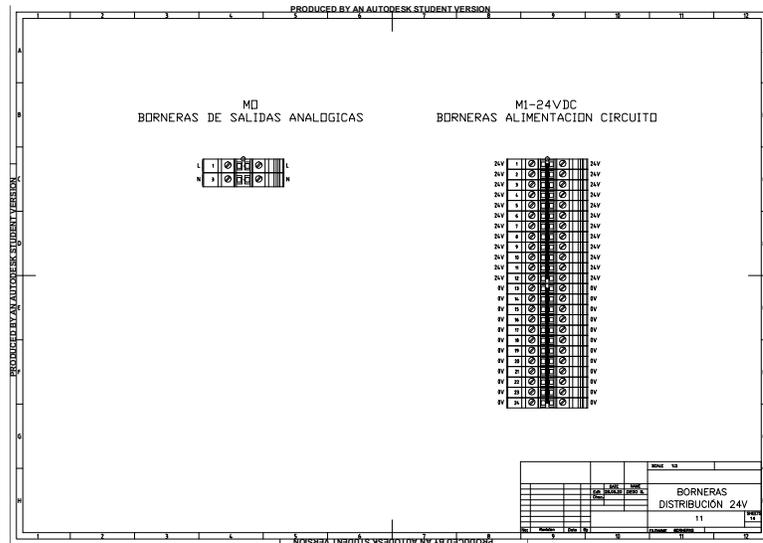


Figura 15: Diagrama de borneras de distribución 24 V

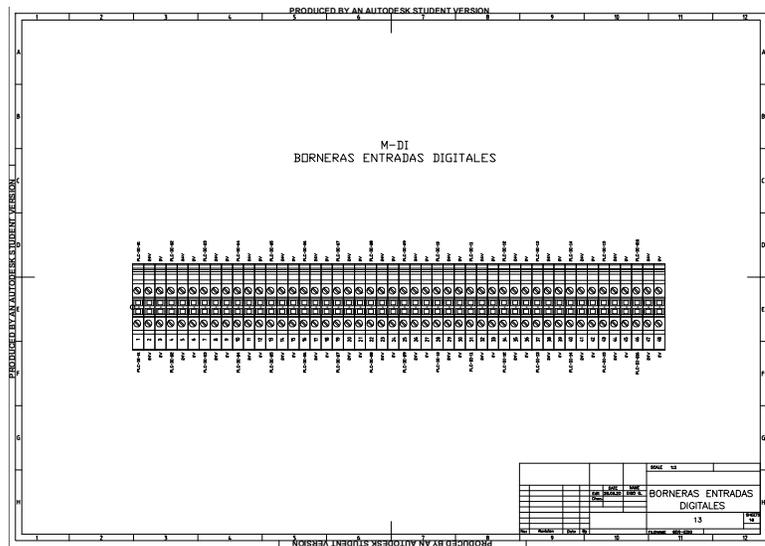


Figura 16: Diagrama borneras de entradas digitales

También se muestra cómo se modificó el orden de las conexiones en el grupo de borneras digitales M-DI 16. En este nuevo diseño se encuentran intercaladas las señales de 24V Y 0V con las borneras conectadas a las entradas digitales. Esta modificación se implementó porque, normalmente, los interruptores conectados a las señales digitales necesitan alimentación de 24V y esta alimentación se encontraba muy alejada de las entradas digitales, lo que causaba desorden de cables. Ahora todas las conexiones de estos interruptores están juntas.

Un elemento importante para entender los diagramas es la continuación de cables entre diagramas. Cada cable que muestra continuidad en dos diagramas diferentes termina con una flecha con un código de 3 dígitos, el primer dígito indica el número de formato en el que continúa y los últimos dos dígitos hacen referencia a la ubicación dentro de ese diagrama. Por ejemplo, en el diagrama de alimentación principal (Figura 17) se muestra que el cable de 24V destinado a la distribución de 24 V en el tablero tiene como terminación una flecha con el código 2.1C. Esto significa que la continuación de este cable se encuentra en el formato 2 (Figura 18) en la sección 1C

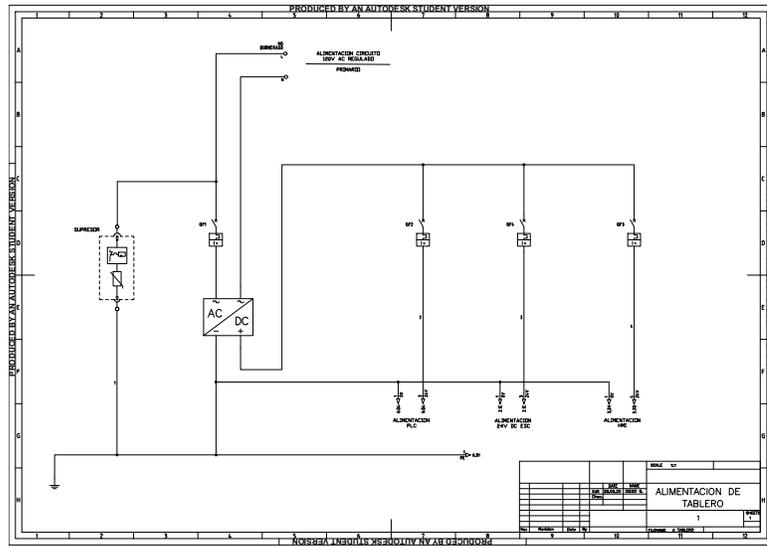


Figura 17: Diagrama unifilar de alimentación de tablero

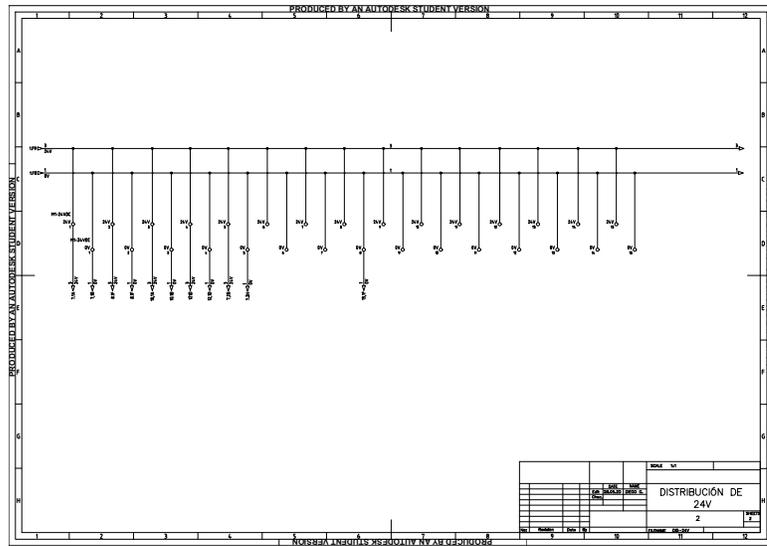


Figura 18: Diagrama unifilar de distribución de 24 V

9.3. Manual de instrucciones

En Autodesk Inventor se hicieron capturas de instalaciones de componentes a los tableros como se muestran en las figuras 19 y 20. Estas capturas se utilizaron para hacer las explicaciones en el manual.

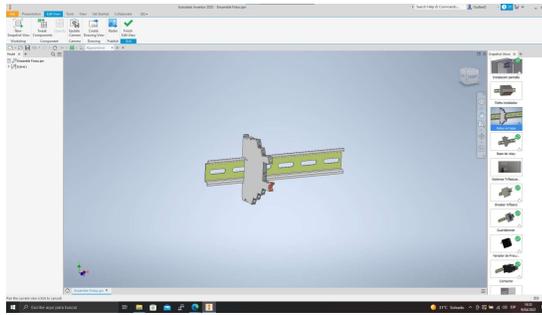


Figura 19: Captura de anclaje de bornera en riel tomada en Autodesk Inventor

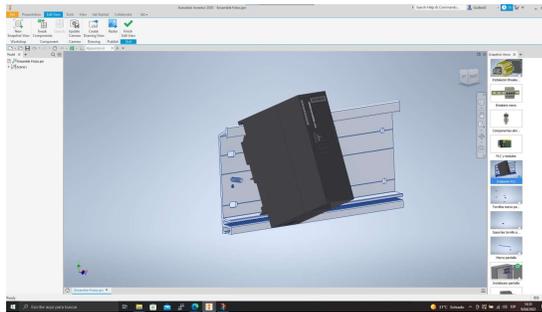


Figura 20: Captura de anclaje de CPU a su respectivo riel tomada en Autodesk Inventor

En el manual también se incluyen capturas de explosiones de ciertas partes del tablero. Estas explosiones como la de la Figura 21 facilitan la explicación de los pasos de ensamblaje del tablero

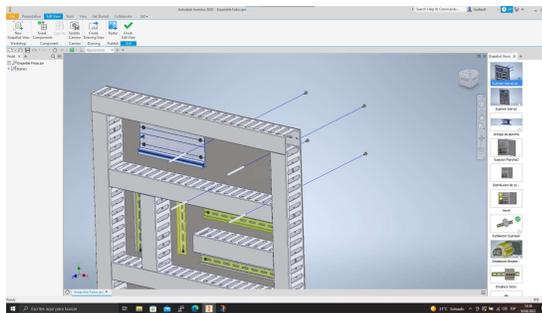


Figura 21: Captura de explosión del anclaje de los soportes de la pantalla táctil.

Se trato de especificar de forma detallada, la distribución de los componentes dentro del tablero. para esto se utilizaron flechas con colores y numeración.

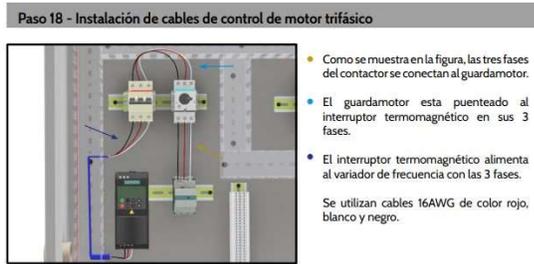


Figura 22: Porción del manual de instalaciones en el cual se explica el cableado del sistema de los motores trifásicos

Luego para la creación del manual se utilizo el software *Adobe InDesign*. En este software se crea la plantilla de los tipos de páginas que se crearan. Se crearon dos tipos de plantillas principales, la primera es para las páginas de comienzo de capítulo donde se marcan los márgenes para la posición del texto de capítulo y la imagen. La otra plantilla tiene los márgenes para los textos e imágenes. En las dos plantillas principales se crean las variables de número de página y marcador de página, que es el que indica a que capítulo pertenece esa página.

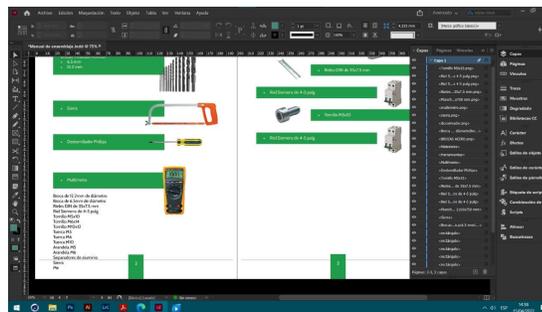


Figura 23: Captura de edición de manual en el programa Adobe InDesign

CAPÍTULO 10

Conclusiones

- Se diseñó el cableado de las señales digitales del PLC, proponiendo un reordenamiento de los componentes dentro del tablero en el cual se utilizan 95m en lugar de 115m lo cual es 17 % de cable.
- Se escogió el calibre 18 AWG, que cuesta \$0.08/FT, para la instalación porque cumple con la ampacidad y es 33 % más barato que el 16 AWG, que cuesta \$0.12/FT.
- Se determinó que la ampacidad de los cables 18 AWG, a instalar, es de 2.8 A, lo cual es suficiente ya que la corriente en los cables será no mayor a 7 mA.
- Se definió que el color amarillo es adecuado para utilizar en los cables de señal digital, anaranjado para las señales analógicas y que los demás colores mencionados en las normas IEC son favorables para obtener un tablero apto para la enseñanza.
- Es evidente que el nuevo arreglo de los componentes dentro del tablero es beneficioso para la la experiencia educativa de los alumnos ya que los componentes están agrupados para entender su función de forma más clara.

CAPÍTULO 11

Recomendaciones

- Fijar el sistema en la pared para evitar accidentes relacionados al movimiento periódico del sistema para trabajar con él.
- Si se decide montar el sistema en un lugar fijo, instalar el panel táctil en la parte externa de la puerta del armario y así poder interactuar con el sistema con el armario cerrado.
- Realizar un manual de usuario especificando funciones del software.
- Imprimir y laminar la tabla de códigos de colores del Cuadro 2 y pegarla en la puerta de los tableros nuevos.
- Montar una línea de producción que pueda ser conectada al sistema propuesto y así obtener un sistema parecido a los que se encuentran dentro de la industria.
- Verificar que al momento de la instalación de los cables, estos tengan el largo y color correcto que no se encuentren dañados, y el calibre sea el adecuado para cada una de las aplicaciones.

Bibliografía

- [1] J. D. W. Dankoff, “Wire Sizing and Voltage Drop in Low Voltage Power Systems”, *Home Power*, vol. 14, pág. 2, 1990.
- [2] *Electrical Safety Hazards Handbook*, Littelfuse, 2005.
- [3] *Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification - identification of conductors by colors or alphanumerics*, IEC60446:2007, Rev. 4, IEC, 2007.
- [4] W. Bolton, “Programmable Logic Controllers”, en *Programmable Logic Controllers*, Newnes, 2006, págs. 3-6.
- [5] C. Cardozo, “Diseño y construcción de un tablero de control aplicable a una estación de combustible”, *Universidad Pontificia Bolivariana*, 2011.
- [6] mecafenix, *Tipos de tableros eléctricos*, abr. de 2020. dirección: <https://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/tableros-electricos/>.
- [7] C. tecnico aen/ctn200, “Principios fundamentales y de seguridad para la interfaz hombre-máquina, el mercado y identificación”, *AENOR*, vol. 4, pág. 15, 2008.
- [8] P. Contact. (2020). Single relay - REL-MR- 24DC/21, dirección: <https://www.phoenixcontact.com/en-pc/products/single-relay-rel-mr-24dc-21-2961105#drawings> (visitado 30-09-2021).
- [9] F. Hartwell y J. McPartland, *McGraw-Hill's National Electrical Code (NEC) 2017 Handbook, 29th Edition*. McGraw-Hill Education, 2017, ISBN: 9781259584435. dirección: <https://books.google.com/books?id=0qp1DgAAQBAJ>.
- [10] GrabCad. (2020). 3D Models Library, dirección: <https://grabcad.com/library> (visitado 30-09-2021).

13.1. Manual, diagramas y video de instrucciones

<https://drive.google.com/drive/folders/1VUUoxnrNvQJtIedS-hkHy0ubWFecWjw1?usp=sharing>

13.2. Planos de construcción de tablero

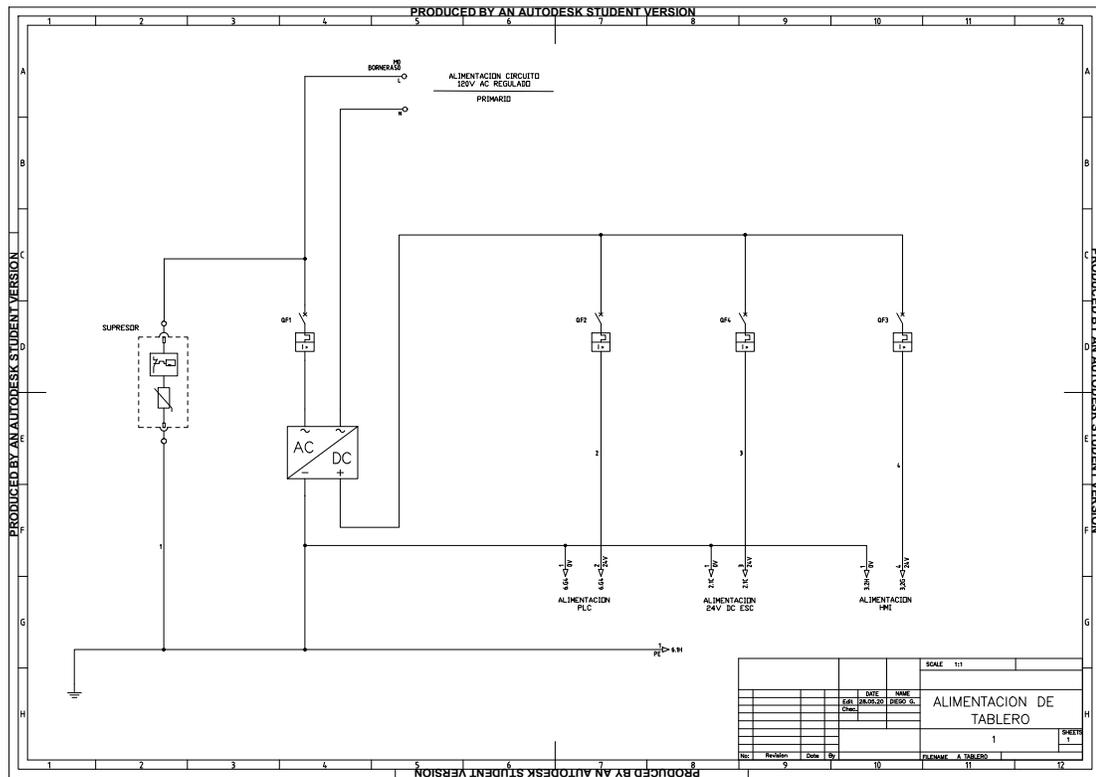


Figura 24: Diagrama unifilar de alimentación de tablero

En este formato 24 se ve que la fuente de poder es controlada por un interruptor electro-magnético. Un supresor está conectado paralelamente con la fuente de poder. En la salida de esta fuente se encuentran 3 circuitos diferentes controlados por interruptores termomagnéticos.

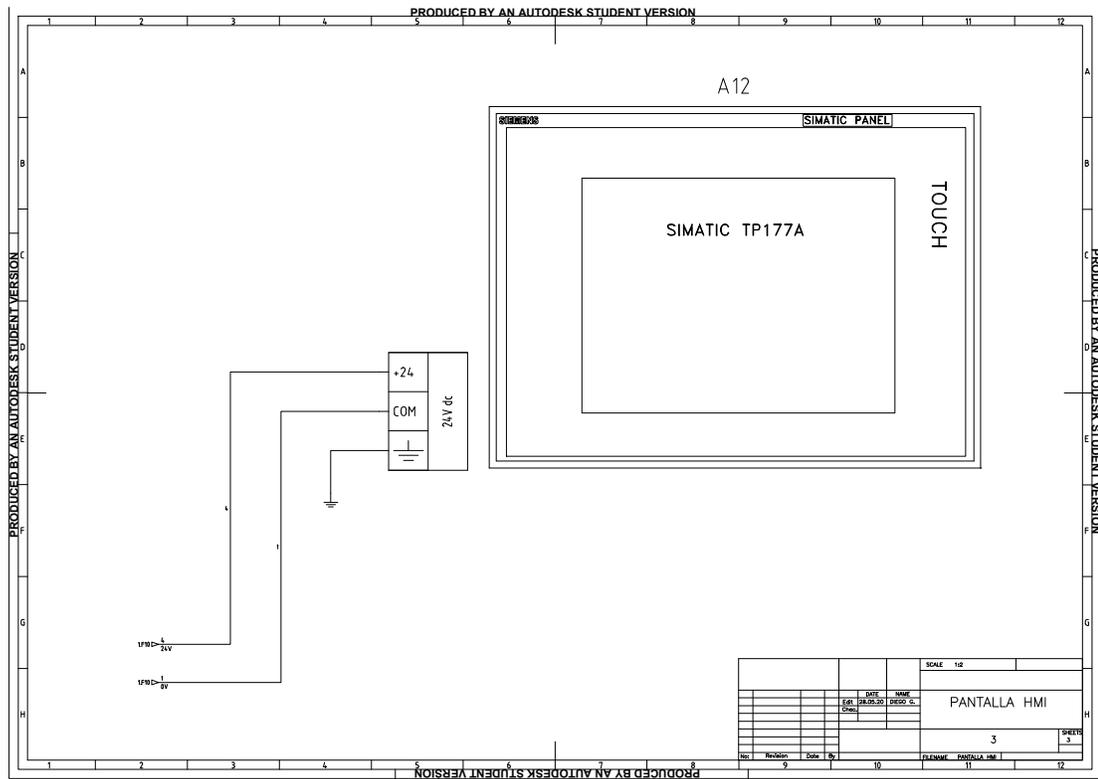


Figura 26: Diagrama unifilar pantalla táctil

En este formato 26 se encuentra de forma muy sencilla la alimentación de la pantalla táctil.

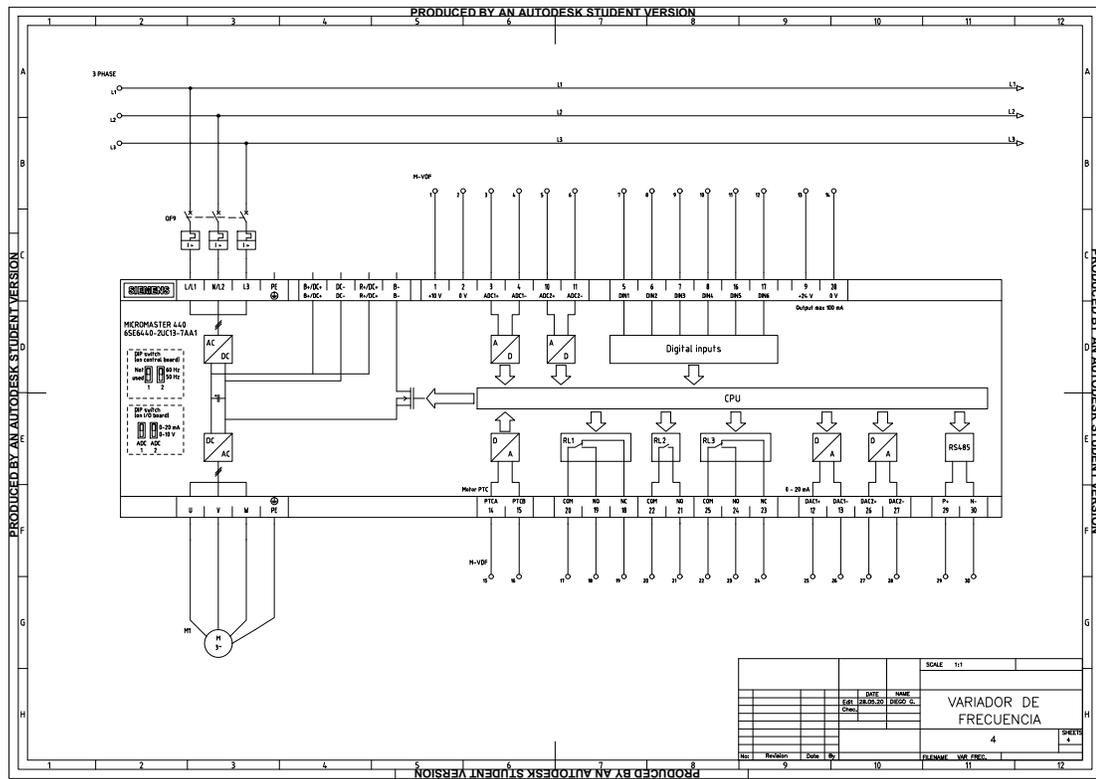


Figura 27: Diagrama unifilar de variador de frecuencia

En este formato 27 se muestra que el variador de frecuencia es alimentado por una señal trifásica, que pasa primero por un interruptor termomagnético trifásico. Se muestra también cómo las entradas de información del variador están conectadas a la sección de borneras M-VDF, la cual, más adelante, es conectada por los alumnos a las salidas del PLC. Se muestra también cómo se debe conectar el motor trifásico.

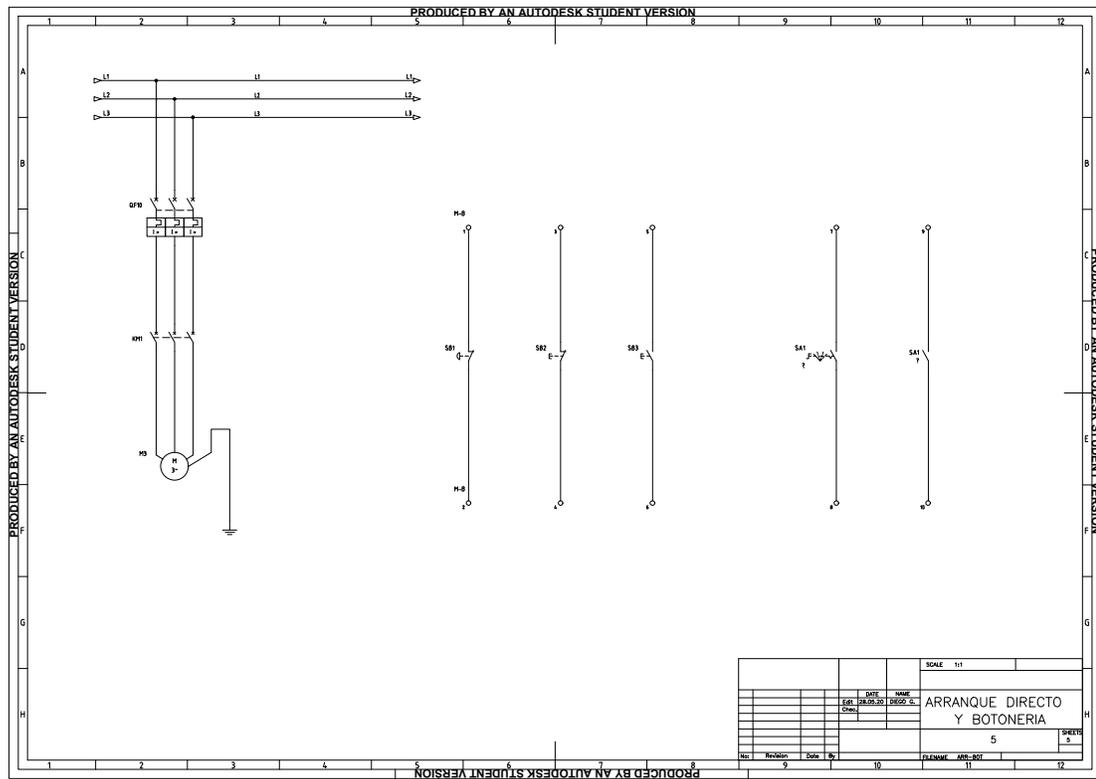


Figura 28: Diagrama unifilar de arranque directo y botonera

En este formato 28 se muestra otra opción de conexión del motor trifásico. En esta opción se utiliza un disyuntor trifásico y un interruptor termomagnético trifásico. En la otra parte del formato se muestran las conexiones de los botones de la puerta, son conectados a sus borneras. Estas borneras conectan los botones con las entradas digitales del PLC.

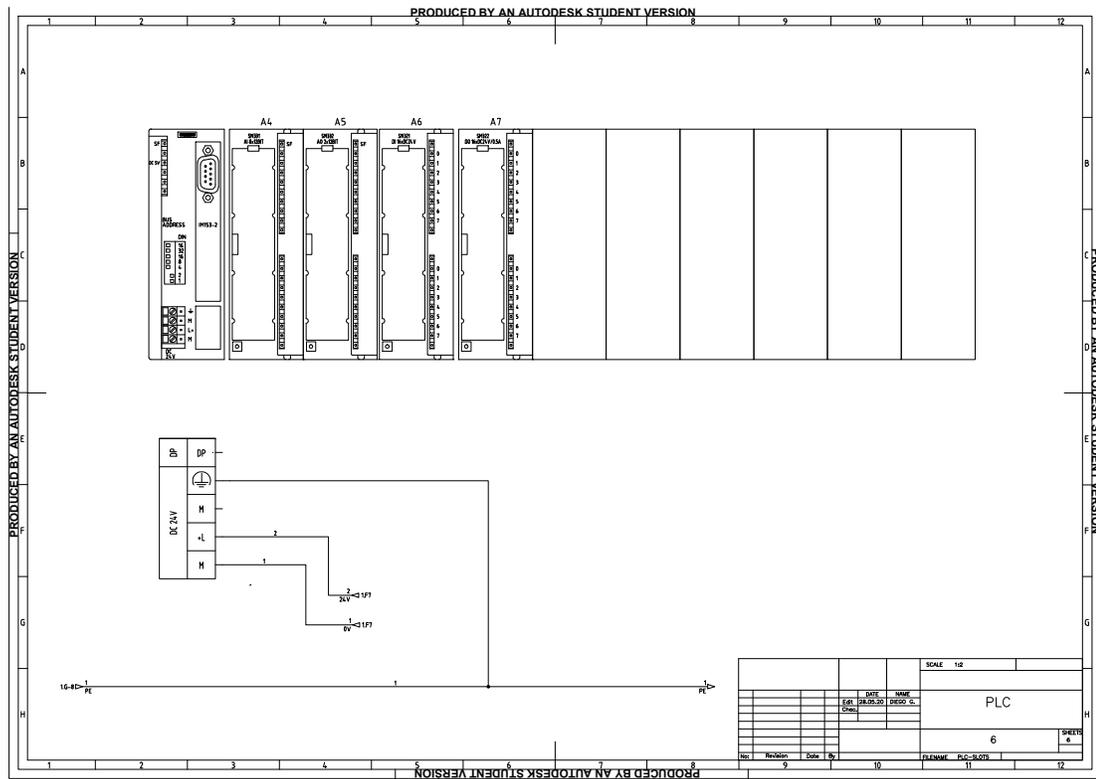


Figura 29: Diagrama unifilar y físico de PLC

En este formato 29 Características a redactar: 1. Alimentación del CPU del plc 2. por otra parte, vista frontal de componentes físicos del PLC y sus módulos

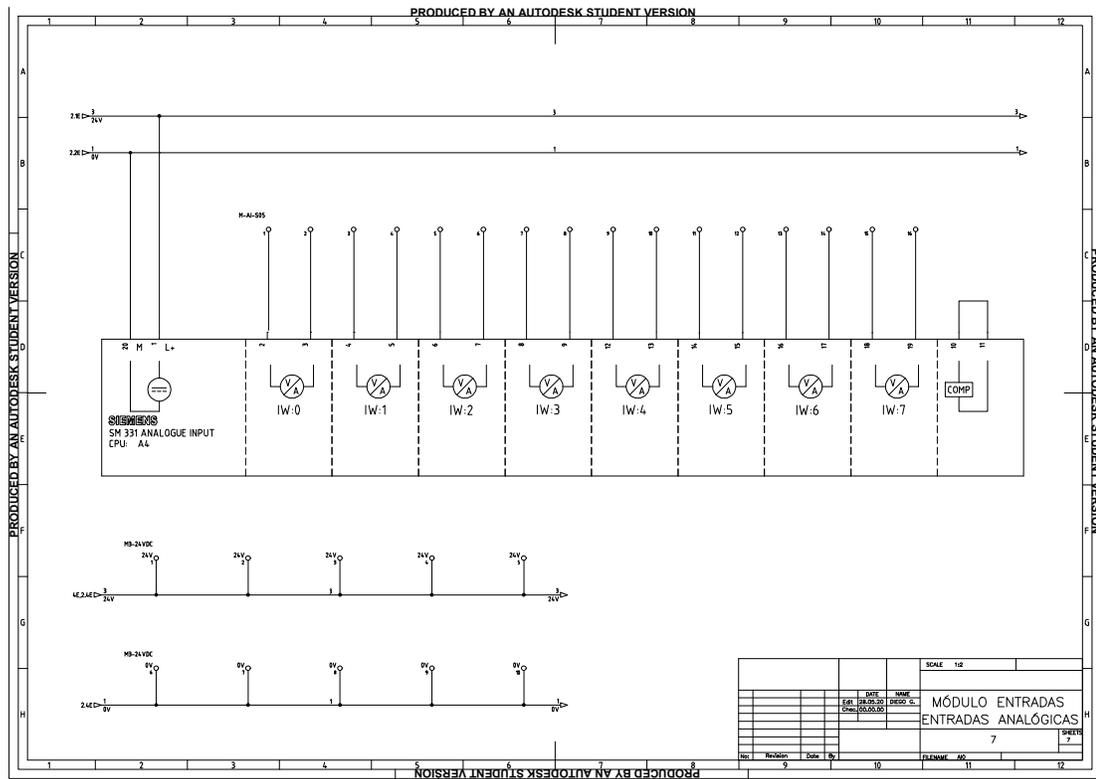


Figura 30: Diagrama unifilar de módulo de entradas analógicas

En este formato 30 Características a redactar: 1. Alimentación del módulo de entradas analógicas 2. Conexión de entradas analógicas con la bornera M-AI-S05 3. Conexión de borneras con señal de 0V

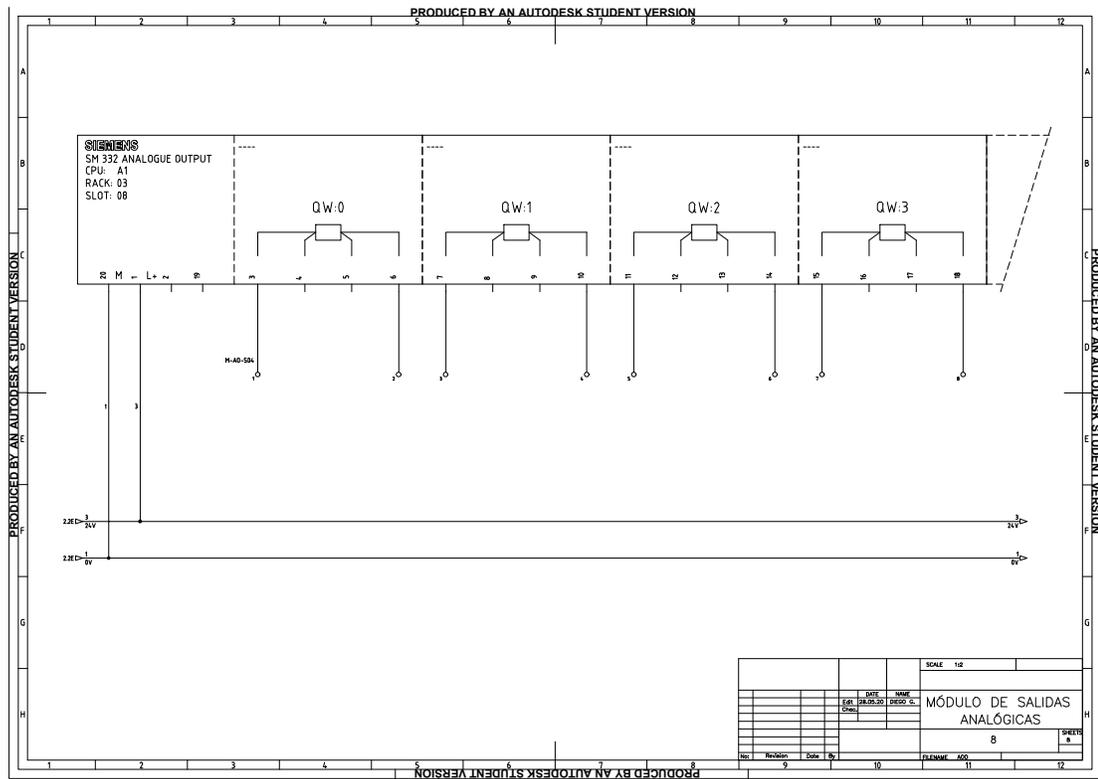


Figura 31: Diagrama unifilar de módulo de salidas analógicas

En este formato 31 Características a redactar: 1. Alimentación de módulo de salidas analógicas En este formato se puede observar la conexión a borneras de salidas analógicas, este grupo de borneras es llamado M-AO-S04

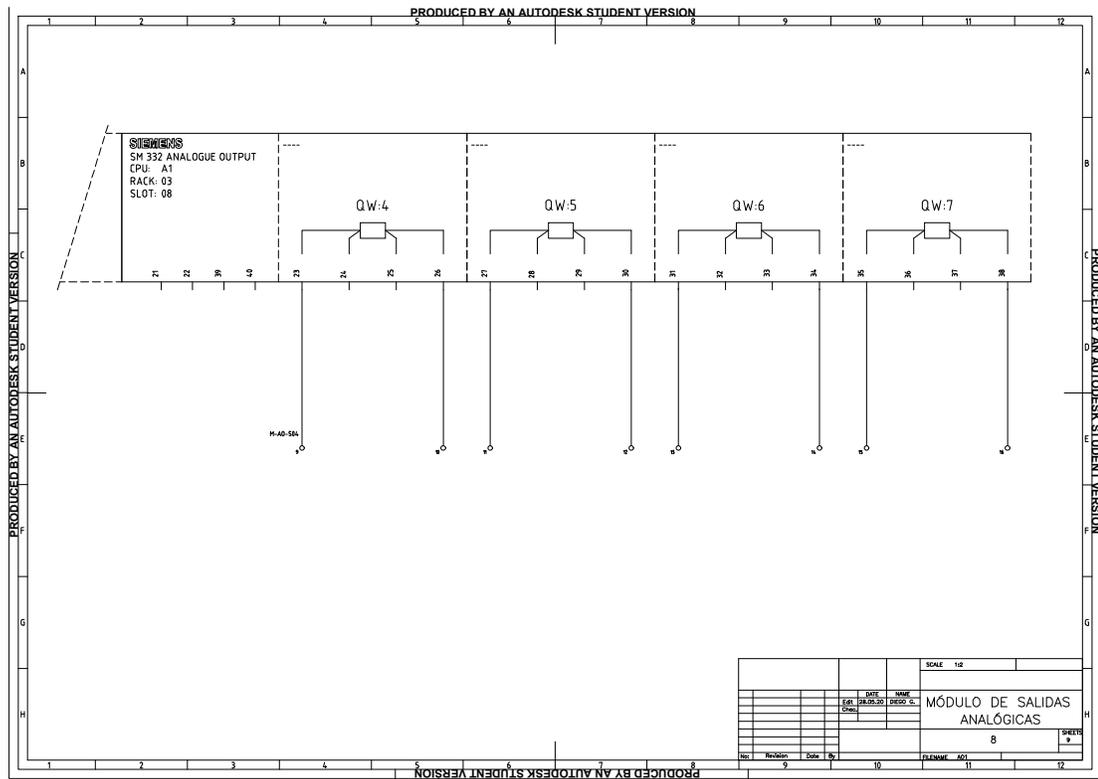


Figura 32: Diagrama unifilar de módulo de salidas analógicas

Este formato 32 es la continuación del formato anterior, muestra la conexión del módulo de salidas analógicas 31 .

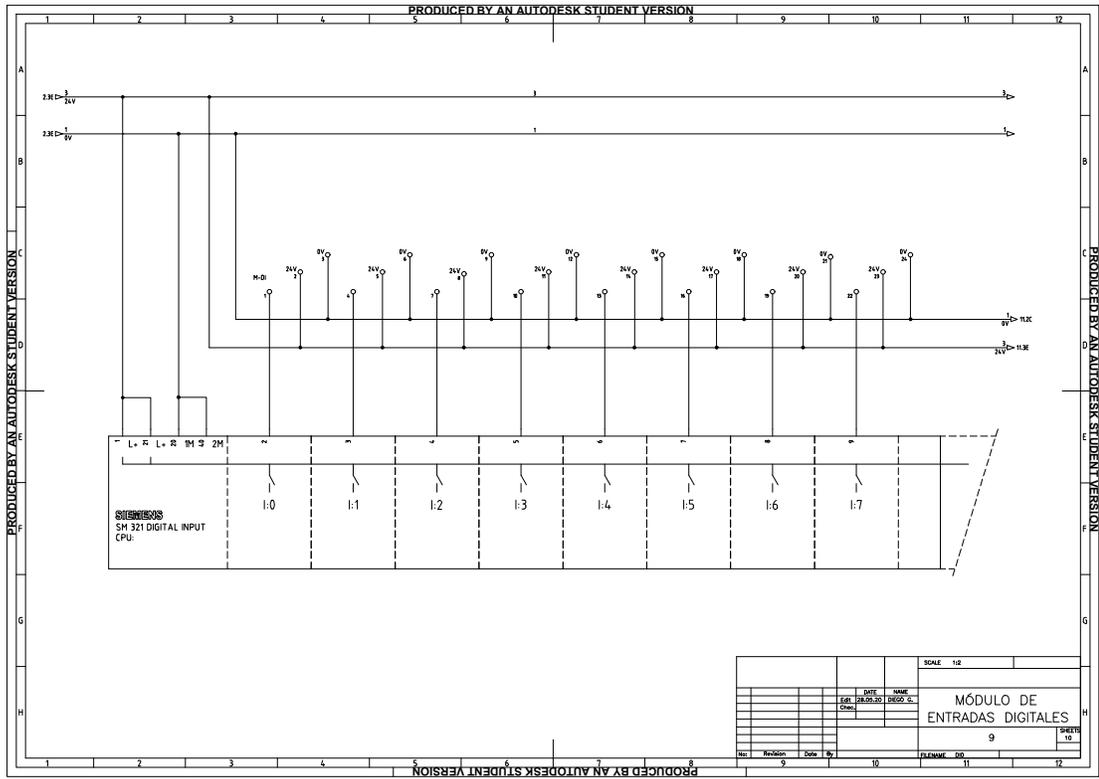


Figura 33: Diagrama unifilar de módulo de entradas digitales

En este formato 33 se puede identificar el módulo de entradas digitales con sus conexiones de alimentación y también su conexión al grupo de borneras designado a entradas digitales. También se puede observar que el grupo de borneras también tienen conexión a alimentación.

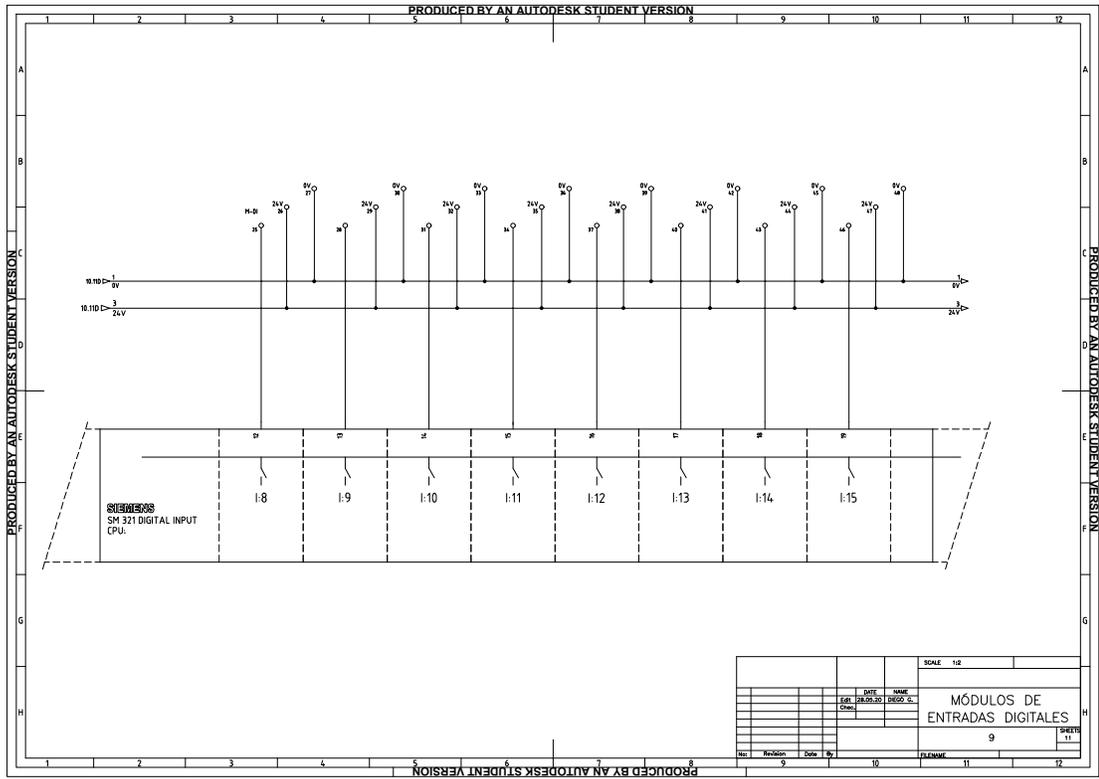


Figura 34: Diagrama unifilar de módulo de entradas digitales

Este formato 34 es la continuación del formato anterior de entradas digitales 33

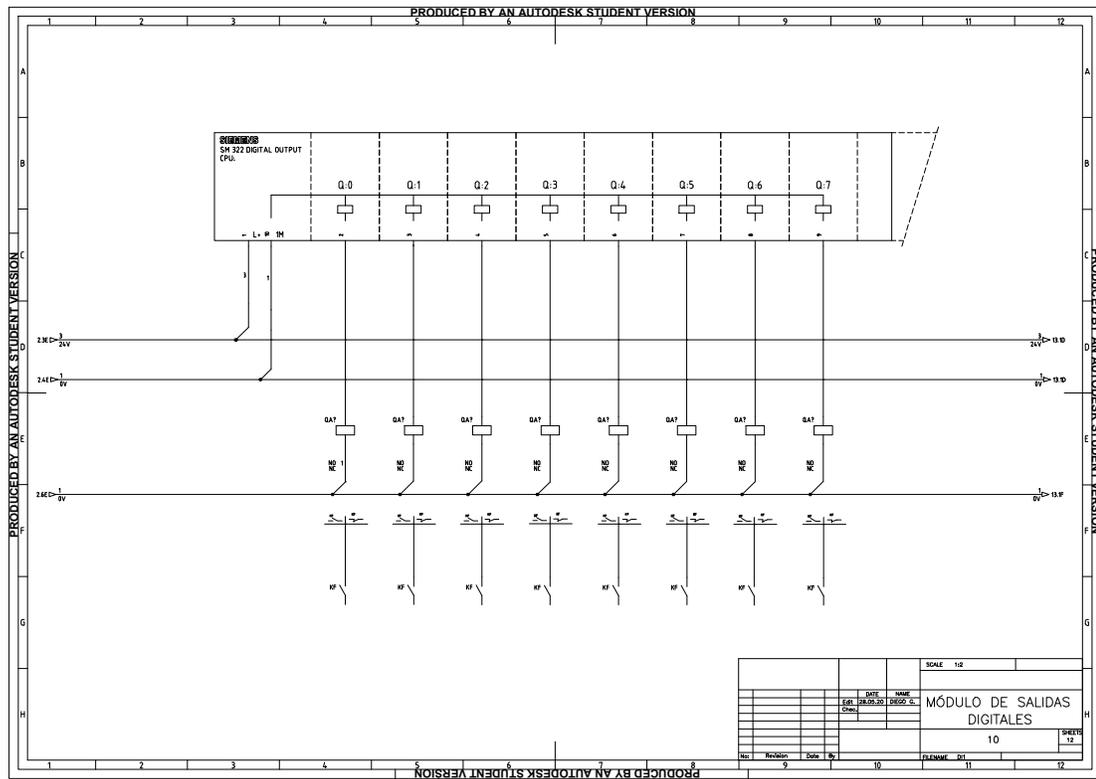


Figura 35: Diagrama unifilar de salidas digitales y relés

En este formato podemos ver las conexiones de alimentación del módulo de salidas digitales y las conexiones de los relés.

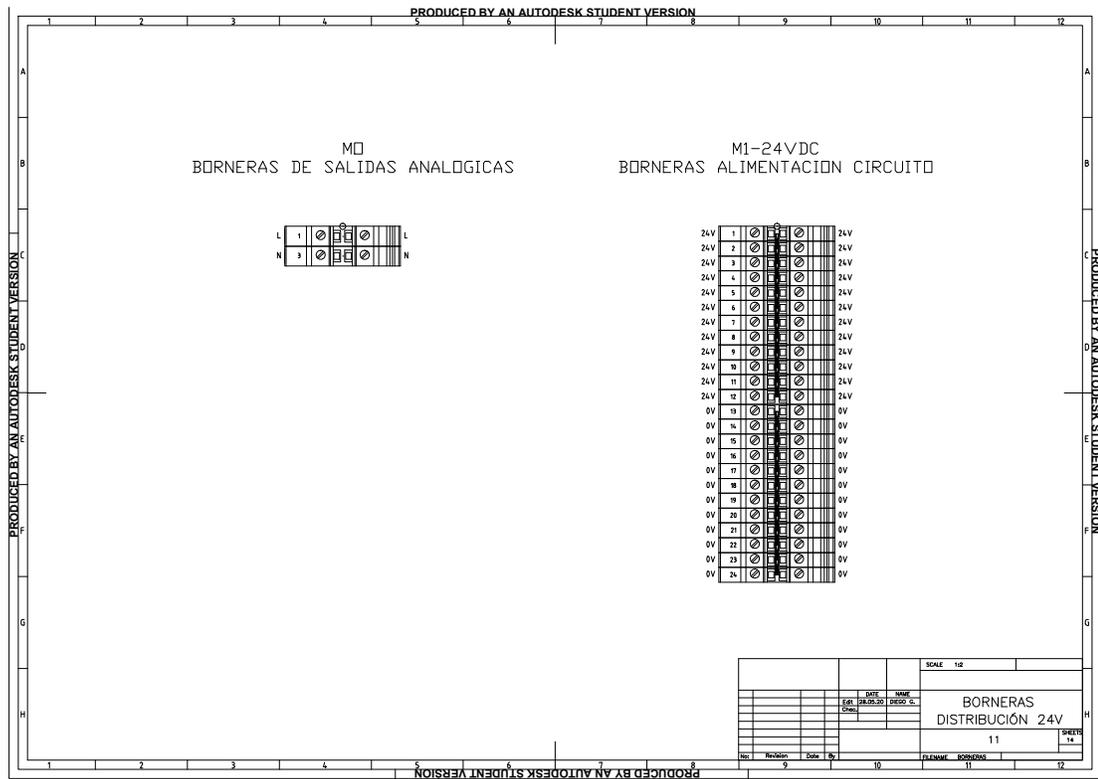


Figura 37: Diagrama

Este formato contiene un dibujo del modelo físico de los grupos de borneras de alimentación de circuitos.

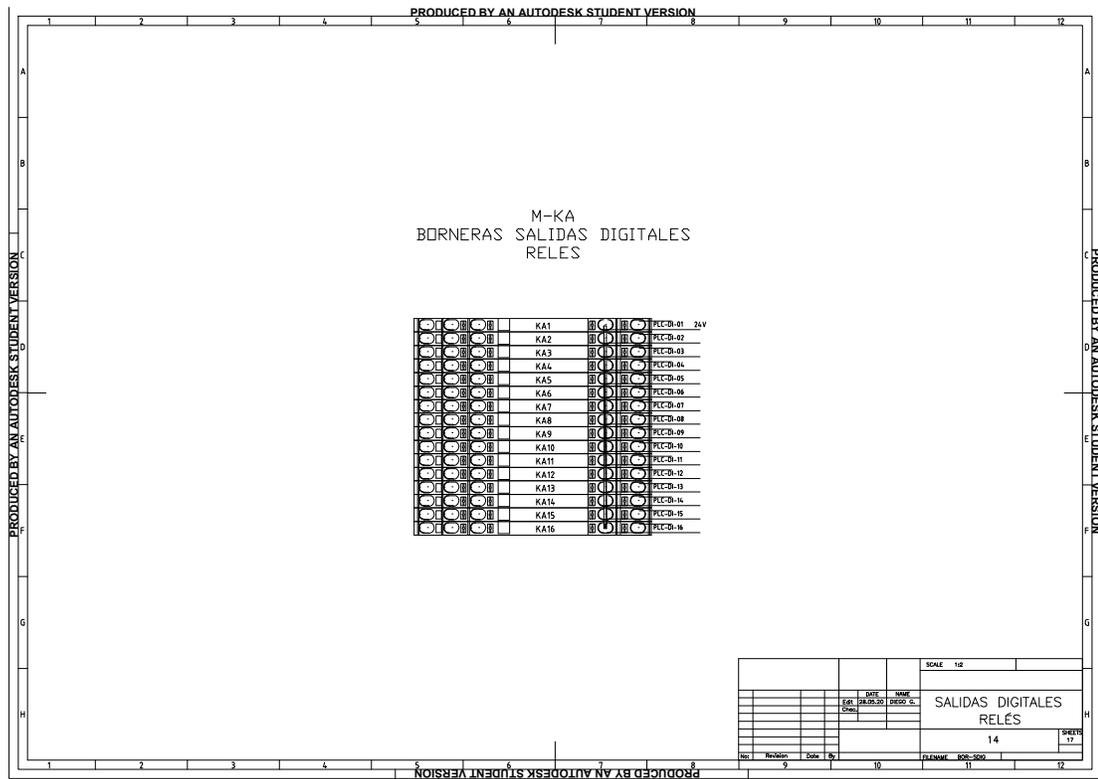


Figura 40: Diagrama

Este formato contiene un dibujo del modelo físico de los grupos reles como salidas digitales

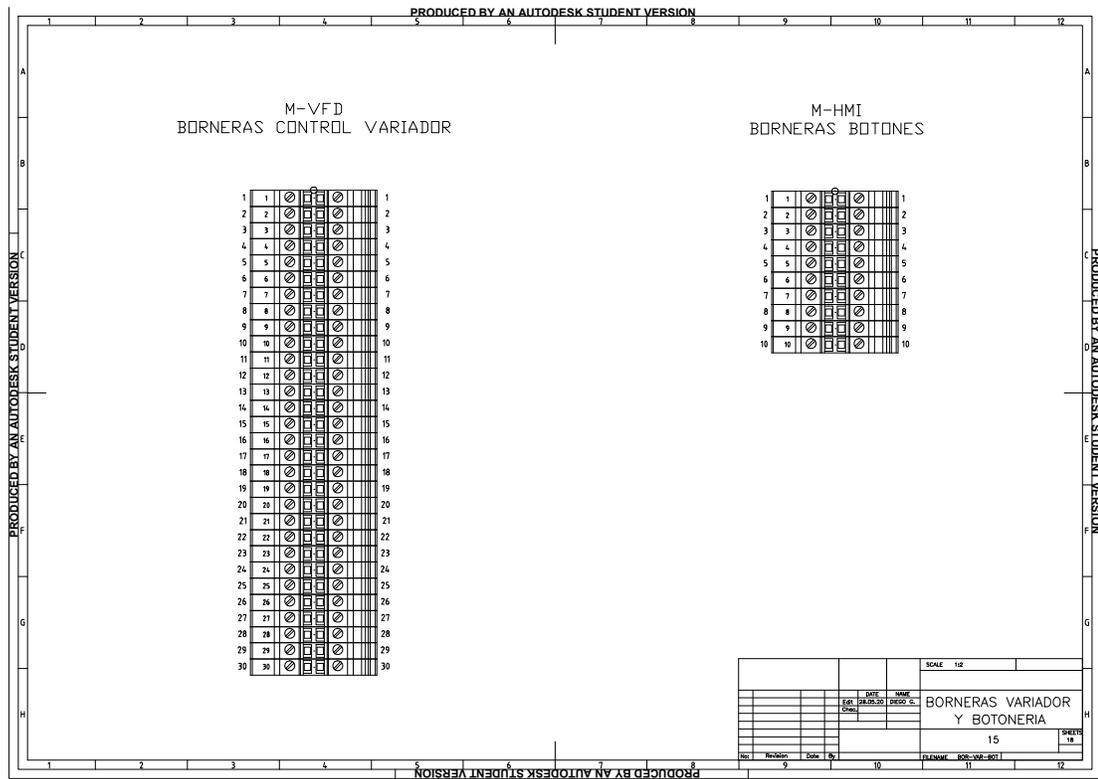


Figura 41: Diagrama

Este formato contiene un dibujo del modelo físico de los grupos de borneras de control de variador y botones

