

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Diseño de implementación de módulos analógicos en tableros
didácticos de control industrial en la Universidad del Valle de
Guatemala**

Trabajo de graduación presentado por Elías Josué Sánchez Perdomo
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2021

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Diseño de implementación de módulos analógicos en tableros
didácticos de control industrial en la Universidad del Valle de
Guatemala**

Trabajo de graduación presentado por Elías Josué Sánchez Perdomo
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,


2021

Vo.Bo.:

(f) 
Ing. Kurt Kellner

Tribunal Examinador:

(f) 
Ing. Kurt Kellner

(f) 
Ing. Luis Alvarado

(f) 
MAEB Otto Girón

Fecha de aprobación: Guatemala, 25 de Enero de 2021.

A continuación se presenta el trabajo de graduación para optar al grado académico de licenciado en ingeniería mecatrónica. Este tiene como objetivo el diseño de la implementación del módulo analógico en un tablero de control industrial con fines didácticos. En este se busca un diseño más eficiente en términos de cantidad de canaleta y de cable utilizado, en comparación con la configuración actual de los tableros de control industrial en la Universidad del Valle de Guatemala. Buscando realizar un trabajo más completo, se adjuntó un vídeo de la animación del ensamble del tablero, al igual que un manual de instalación para su futura implementación. El software utilizado para el diseño CAD fue Autodesk Inventor 2019, en el cual se modeló el tablero y se renderizó imágenes. Posteriormente se desarrollaron los diagramas unifilares en Autodesk Electrical. Para tener un proceso de instalación más fácil se incorporó un listado de materiales necesarios para la implementación.

Agradezco a mis padres, hermanas y mi familia en general por el apoyo durante estos años de universidad. Agradezco a Pamela Ramazzini por su compañía y apoyo. Agradezco a mis compañeros por los buenos momentos en clase. Y finalmente agradezco a Dios por la sabiduría y guianza en mi vida.

Prefacio	v
Lista de figuras	x
Lista de cuadros	xi
Resumen	xiii
Abstract	xv
1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
3. Justificación	5
4. Objetivos	7
4.1. Objetivo general	7
4.2. Objetivos específicos	7
5. Alcance	9
6. Marco teórico	11
7. Referencia de diseño	21
8. Diagramas unifilares	25
9. Diseño asistido por computadora	31
9.1. Diseño 3D CAD	31
9.2. Comparación entre configuración actual y propuesta	33
10. Manual de instalación y operación	41
11. Listado de componentes	45

12. Conclusiones	49
13. Recomendaciones	51
14. Bibliografía	53
15. Anexos	55
15.1. Diagramas unifilares del tablero	55

1.	Configuración del tablero construido por ESINSA.	3
2.	Selector de 2 posiciones normalmente abierto.	21
3.	Disyuntor de circuito unipolar.	21
4.	Fusible	22
5.	Pulsador normalmente abierto.	22
6.	Software AutoCAD Electrical 2020.	26
7.	Símbolo personalizado de entrada analógica.	26
8.	Símbolo personalizado de salida analógica.	27
9.	Símbolo personalizado de entrada digital.	27
10.	Símbolo personalizado de salida digital.	28
11.	Símbolo personalizado de del variador de frecuencia.	28
12.	Símbolo personalizado de HMI.	28
13.	Comparación entra la configuración actual, a la izquierda, y la propuesta, a la derecha.	29
14.	Configuración actual del tablero.	32
15.	Función de <i>Cable and Harness</i> de Autodesk Inventor.	33
16.	Ensamble CAD completo del tablero en la configuración propuesta.	34
17.	Canaletas instaladas.	35
18.	Cableado módulo de 24 V.	35
19.	Cableado módulo analógico.	36
20.	Cableado módulo de digital.	36
21.	Cableado módulo HMI y botonería.	37
22.	Cableado módulo del variador de frecuencia.	37
23.	Medición de cable utilizado para el módulo digital en la configuración actual a la derecha, y en la configuración propuesta a la izquierda.	38
24.	Medición de cable utilizado para el módulo analógico en la configuración actual a la derecha, y en la configuración propuesta a la izquierda.	39
25.	Interfaz de trabajo en Visual Studio Code al utilizar AsciiDoc.	42
26.	Imagen generada en Autodesk inventor 2019.	43
27.	Imagen de posición de bornera generada en Autodesk inventor 2019.	43

28. Imagen utilizada en el manual con identificadores de secciones de canaleta. . . 43

1.	Datos relevantes de la ficha técnica del módulo SIEMENS 6ES7331-7KF02-0AB0.	15
2.	Datos relevantes de la ficha técnica del módulo SIEMENS 6ES7332-5HF00-0AB0.	16
3.	Tabla NEC 310.15(B)(2)(a) Factores de ajustes para ductos con más de 3 cables conduciendo corriente.	17
4.	NEC 310.16 Capacidad de corriente (en Amperes) permitida de conductores con aislamiento de 0-2000V, 60° a 90°C (140° a 194°F) cable o en entierro directo, en base a una temperatura ambiental de 30°C (86°F)	17
5.	Identificadores alfanuméricos según norma IEC60446.	19
6.	Código de colores utilizado en el tablero.	22
7.	Código de colores utilizado en el tablero.	23
8.	Comparación en la cantidad de cable utilizado según la configuración del tablero.	38
9.	Diferencias en la cantidad de material utilizado.	38
10.	Primera parte del listado de partes.	46
11.	Segunda parte del listado de partes	47
12.	Tercera parte del listado de partes.	48

En la universidad del Valle de Guatemala, gracias a la construcción del nuevo edificio CIT, se tiene un nuevo y más grande laboratorio para la clase de *Automatización e Instrumentación Industrial*. Por esta razón la construcción de nuevos tableros industriales son necesarios. El siguiente trabajo de graduación tiene como objetivo el diseño de la implementación de un tablero de control industrial, enfocándose en el módulo analógico, esto con fines didácticos para el uso en la Universidad del Valle de Guatemala.

Actualmente la universidad posee tableros de control industrial contruidos por la empresa ESINSA. Estos poseen una configuración diferente a la propuesta, pero las conexiones son las mismas, a excepción de borneras de 24V y 0V que se añadieron. De igual forma se cuenta con los diagramas unifilares provistos por la empresa, los cuales se utilizaron como referencia para poder realizarlos en Autodesk Electrical.

Para el diseño del mismo se utilizó el software Autodesk Electrical, en donde se generaron los diagramas unifilares respectivos. Para su futura implementación física se redactó el manual de instalación del módulo y una lista de componentes ya disponibles en la universidad. De igual se generaron animaciones de ensamble para una mejor visualización del mismo. Posteriormente se incluyó un manual de operación para los usuarios, de esta forma se puede facilitar el aprendizaje en la clase de *Automatización e Instrumentación Industrial*.

Ya que el módulo analógico fue el énfasis en el trabajo, el enfoque del manual realizado fue el mismo. El módulo analógico utilizado como entrada en los diagramas unifilares y CAD del tablero industrial fue el SIEMENS 6ES7331-7KF02-0AB0. Para la salida fue considerado el módulo SIEMENS 6ES7332-5HF00-0AB0.

At the University of Valle de Guatemala, thanks to the construction of the new CIT building, there is a new and larger laboratory for the textit Industrial Automation and Instrumentation class. For this reason the construction of new industrial boards are necessary. The present work aims the desing of the implementation of an industrial control board with didactic purposes, focusing on the analog module, for the use at the Universidad del Valle de Guatemala.

Currently the university has industrial control boards built by the ESINSA company. These have a different configuration than the one proposed, but the connections are the same, except for the 24V and 0V terminals that were added. Likewise, we have the one-line diagrams provided by the company, which were used as a reference to be able to perform them in Autodesk Electrical.

For its future physical implementation, a module installation manual and a list of components already available at the university were drawn up. Likewise, assembly animations were generated for a better visualization of the board. Subsequently, an operation manual was included for users, so, in this way, learning in the *Automation and Industrial Instrumentation* class can be facilitated.

The analog module used as input in the one-line and CAD diagrams of the industrial board was the SIEMENS 6ES7331-7KF02-0AB0. For the output, the SIEMENS 6ES7332-5HF00-0AB0 module was considered.

CAPÍTULO 1

Introducción

En el presente trabajo se define una configuración alterna para un tablero de control industrial con fines didácticos, utilizado en la Universidad del Valle de Guatemala. Estos son utilizados en la clase de *Automatización e Instrumentación Industrial*. La automatización, del tipo fijo específicamente, se utiliza de gran manera en la industria para la fabricación continua de un mismo producto en grandes cantidades. Por esta razón, y ya que es una rama vital en la industria, se implementa laboratorios para el uso de los tableros en clase.

Gracias a la construcción del nuevo edificio en la Universidad del Valle, uno nuevo laboratorio para *Automatización e Instrumentación Industrial* con mayor capacidad estará disponible, por lo que la implementación de de nuevos tableros será requerido. Con ello se vio la oportunidad de diseñar una nueva configuración más eficiente en términos de cantidad de canaletas y cables consumidos. Por ello se elaboraron diagramas unifilares y se realizó un modelo CAD, para poder redactar un manual de instalación para su futura implementación. De la misma forma se buscó tener un listado de materiales necesarios para la instalación del mismo, al igual que un vídeo mostrando el ensamble, este último generado a través del software CAD Autodesk Inventor.

En los siguientes se presenta tanto la historia de la automatización hasta tiempos modernos, como las normas de cableado utilizadas en la propuesta de instalación. Al igual se presentan la conclusiones y recomendaciones finales del trabajo.

En la Universidad del Valle de Guatemala se encuentran 6 tableros de control industrial diseñados y construidos por la empresa ESINSA. Estos, igual que los realizados en este proyecto, cuentan con un CPU SIEMENS 6ES7315-2EH14-0AB0, módulos analógicos, digitales y de alta potencia con variador de frecuencias. De igual forma se cuenta con los diagramas unifilares de los tableros, estos fueron usados como referencia para el trabajo.

La configuración actual de los tableros se puede observar en la Figura (1)

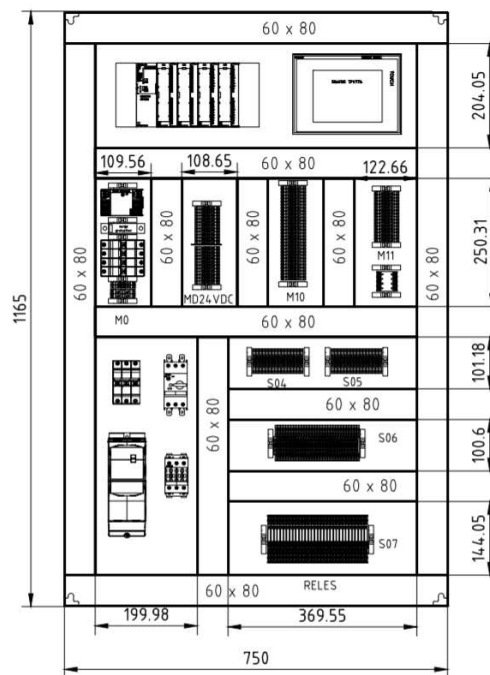


Figura 1: Configuración del tablero construido por ESINSA.

Estos poseen los módulos SIEMENS, tanto el CPU, entradas, salidas y HMI en la parte superior, lo cual se ha mantenido en el modelo de configuración propuesto. Posteriormente, en la segunda fila se tiene el convertidor AC DC, al igual que las borneras de 24V y 0V, entradas del variador de frecuencia y borneras de la botonería. Finalmente en las secciones inferiores se tiene las entradas y salidas analógicas, al igual que las digitales. En la sección inferior izquierda del tablero se tiene el variador de frecuencias y contactores.

Estos componentes mostrados en la Figura (1) se encuentran dentro de un cajón de metal con puerta y seguros.

CAPÍTULO 3

Justificación

Ante el aumento de capacidad del departamento de electrónica, mecatrónica y biomédica por la construcción del nuevo edificio de la Universidad del Valle de Guatemala, llamado CIT (Centro de Innovación y Tecnología), habrá más demanda de equipo en los laboratorios, por lo que los seis tableros de control industrial actuales no serán suficientes. Por medio de este trabajo graduación, junto a otros compañeros, se diseñó la implementación de tableros de control industrial, para luego de una futura implementación, se logre tener el equipo necesario para el laboratorio. Con una mayor cantidad de tableros más personas podrán trabajar en el laboratorio al mismo tiempo, y los grupos de trabajo en los mismos podrán ser más reducidos. Esto se traduce en una mejor experiencia y aprendizaje en la clase de *Instrumentación y Automatización Industrial I y II*.

4.1. Objetivo general

Diseñar la implementación del módulo analógico en tableros didácticos de control industrial para uso en la Universidad del Valle de Guatemala.

4.2. Objetivos específicos

- Diseñar el cableado del módulo analógico utilizando las entradas 6ES7331-7KF02-0AB0 y salidas 6ES7332-5HF00-0AB0.
- Realizar un diseño más eficiente en términos de canaletas y cable consumido por tablero.
- Generar diagramas unifilares utilizando el software Autodesk Electrical y diseño CAD del tablero en el software Autodesk Inventor.
- Generar visualización y renderización de imágenes del CAD del tablero industrial utilizando el software Autodesk Inventor.
- Generar vídeo de ensamble del módulo analógico y manual de instalación del mismo.
- Obtener listado de materiales necesarios para la instalación del tablero industrial.

Este trabajo de graduación tiene como alcance diseñar una nueva configuración para el tablero de control industrial con fines didácticos de la Universidad del Valle de Guatemala. Para lograr esto se realizaron los diagramas unifilares en el software de Autodesk Electrical. De esta misma forma se realizó el modelo CAD en Autodesk inventor, en el cual de la misma forma, se renderizaron imágenes y vídeos para su utilización en el manual de instalación, redactado para la futura implementación del tablero. Cabe recalcar que se tomó en cuenta un código de colores para poder diferenciar las conexiones de cada módulo. Esto será de ayuda para los laboratorios de la clase de *Automatización e Instrumentación Industrial* para los alumnos, ya que tendrán una guía para la identificación de las borneras según el color del cableado.

La realización de este trabajo se vio restringida por las limitaciones de movilidad causadas por la pandemia mundial del COVID-19, ya que no se tuvo contacto directo con los componentes para su evaluación física y la realización un modelado más exacto en el diseño CAD del tablero. De igual forma, es importante mencionar que en la Universidad del Valle se cuenta con ciertos componentes para los tableros, aunque es necesario la realización de compras para la instalación completa futura del mismo.

6.1 Automatización industrial

La automatización ha sido de gran importancia para el desarrollo de nuestra tecnología y para la producción en masa, rápida y eficiente. Según G. Lorenzo [1] los Ktesibios fueron los pioneros en la creación de sistemas automáticos en el 300 AC. El mecanismo consistía en un regulador de flotador el cual tenía como objetivo controlar la entrada de agua a un reloj de agua, mediante una válvula, a partir de esa época se han desarrollado diversos mecanismos y sistemas para poder realizar las tareas repetitivas y de precisión, hasta llegar a la automatización moderna. Según la investigación realizada por P. Ponsa [2] la definición de La Real Academia de las Ciencias Físicas y Exactas la *automática* es el conjunto de métodos y procedimientos para la sustitución del operario en tareas físicas y mentales previamente programadas. Posteriormente G. Lorenzo [1] define el concepto de la *automatización* con tres rasgos básicos: El primero indica que el control automáticos de la fabricación de un producto se realiza en un número de etapas sucesivas. Luego menciona como segundo rasgo es que el control automático se puede aplicar a cualquier rama de la ciencia o su aplicación en la industria. Como tercer y último rasgo es la combinación de los dos anteriores, siendo este la posibilidad de el empleo de dispositivos electrónicos o mecánicos para sustituir el trabajo humano.

Con estas definiciones se obtiene que la *automatización* es la aplicación de la *automática* en el control de los procesos industriales. Estos procesos son todas las tareas que realiza la maquina y el operario para llegar al producto final, segun dice Álava [3]. Estos a su vez se pueden dividir en diferentes tipos. Se le conoce a procesos discretos a los que contemplan la salida del procesos en forma de unidades o una cantidad delimitada de piezas. Los procesos continuos son lo que poseen una salida del mismo de manera continua, como la extracción de petróleo. Por último, los procesos batch son los que poseen salidas en forma de lotes, o cantidades limitadas e identificables.

De esta forma se puede tener una idea más clara de lo que realiza la automatización industrial, aún así existe una subdivisión de la misma según G. Lorenzo [1]:

- **Automatización fija:** Esta consisten en la fabricación continua de un mismo producto en grandes cantidades. Las restricciones que presentan los equipos de fabricación van a poder condicionar la secuencia de la producción. Por esta razón, este tipo de automatización presenta las siguientes características:
 - Esta constituida por una secuencia sencilla de operaciones.
 - Requiere una gran inversión debido a la gran demanda de los equipos especializados.
 - Tiene elevados ritmos de producción.
 - Es difícil su adaptación a las variaciones de la demanda.

- **Automatización programable:** Según Lourido [4] Realiza la fabricación de productos pero en pequeñas cantidades y aun costo bajo, permitiendo esto a su vez la programación para realizar diferentes tareas. Como consecuencia esta da una gran flexibilidad que a su vez da lugar a una gran cantidad de información que puede ser computable. Esta se puede aplicar en sistemas de fabricación en donde el equipo de producción esta diseñado para poder realizar cambios en la secuencia de las operaciones según los diferentes producto. Posee las siguientes características Según Rivera [5]:
 - Posee una existencia de un periodo previo a la fabricación de los distintos lotes.
 - Para poder realizar los lotes de productos distintos, se introducen los cambios en el programa y en la configuración física de la máquina o de los elementos/actuadores.
 - Es necesaria realizar una gran inversión en equipos de aplicación general, como en máquinas de control numérico.
 - El ejemplo más claro de este tipo de automatización son los Controladores Lógicos Programables (PLC).

- **Automatización flexible:** Esta surge con el objetivo de complementar algunas de la deficiencias de la automatización programable. Tiene la capacidad de producir cambios en los programas y en las relaciones que existen entre los elementos del sistema de producción. El mejor ejemplo de automatización flexible son las máquinas de control numérico.

- **Automatización integrada:** Esta es la combinación de distintos tipos de automatización integrada en un sistema productivo. Esta presenta las siguientes características:
 - Se logra reducir el tamaño de los lotes.
 - Existe una mayor diversificación del producto.
 - Posee una producción más rápida, con implementación en procesos de producción discretos y continuos.

6.2 Tablero industrial

Un tablero industrial se compone de diferentes elementos, según E. Valadez [6] básicamente este es una terminal, en donde por medio de interruptores, las diversas señales que se

generan en un proceso industrial son recibidas por las terminales de entrada de un Controlador Lógico Programable (PLC). Este a su vez procesa la información y por medio de las salidas hace funcionar a los actuadores para llevar a cabo la tarea deseada.

Según L. Tumbaco [7] un PLC o Autómata Programable posee las herramientas necesarias para poder controlar dispositivos externos, recibir señales de sensores y lograr tomar las decisiones conforme a un programa previamente realizado por el usuario para que elabore para el control de un sistema o proceso. Esto lo logra por medio de sus capacidades tanto de hardware como de software.

Un PLC se compone a su vez de varios elementos. Según indica L. Tumbaco [7] este cuenta con un CPU, con la memoria, el cual posee conexiones con el bloque de entradas, bloque de salidas, fuente de alimentación y las interfases. Este último es el encargado para la interconexión entre el CPU y la consola de programación, al igual que con los dispositivos periféricos. Al bloque de entradas llegan los dispositivos de entrada o captadores, por otra parte, al bloque de salidas se anexan los dispositivos de salida o los actuadores. A continuación se explica detalladamente el funcionamiento de cada uno según L. Tumbaco [7]:

- **CPU:** Se encarga de realizar las operaciones de tiempo, siendo estos trabajos con retardo o temporizado, de secuencia, de combinación, de auto mantenimiento y de retención.
- **Interfaces de entrada y salida:** Destinados en establecer la comunicación entre la CPU y el proceso. Esto cumpliendo funciones tales como el filtrado, adaptación y amplificación de las señales de la salida, generadas por el programa.
- **Memoria:** Permite el almacenamiento de datos del programa (RAM), el sistema operativo (ROM), programa de usuario (RAM no volátil), configuración de PLC (ROM o RAM no volátil), rutinas de arranque (ROM) y por último las rutinas de chequeo (ROM).
- **Programador:** Es el encargado de trasladar el programa previamente elaborado por el usuario al PLC, con el fin de controlar los procesos designados.

A su vez, existen varios tipos de PLC, según L. Tumbaco [7] se subdivide en 2 grupos:

- **Compactos:** Estos están compuestos por un solo bloque donde se encuentra tanto la CPU como la fuente de alimentación, la sección de entradas, salidas y por último el puerto de comunicación. Normalmente este tipo de PLC se utiliza cuando el proceso no es muy complejo o la cantidad de entradas o salidas es bastante pequeña.
- **Modular:** Existen dos tipos de estructura, la americana y la europea. En la primera se separan los módulos de entrada y salida del resto del PLC. La segunda cuenta con módulos que realizan funciones específicas, siendo módulos separados el CPU, la fuente de alimentación y así sucesivamente.

Los tableros a su vez se componen de rieles de fijación, estos son los encargados de sostener y mantener en su lugar, de una manera segura, los componentes del tablero. En estos se realizan las conexiones de los módulos con el exterior.

6.3 Entrada y salida analógica

Según G. Valls [8] la definición de una señal consiste en aquella cantidad física que varía con el tiempo, espacio o cualquier otras variables independientes. Por otro lado, un sistema, en este contexto G. Valls [8] lo define como todo dispositivo que transforma una señal en otra. Con ello se define un sistema eléctrico como el conjunto de dispositivos electrónicos interconectados y alimentados entre sí, con una o varias fuentes de voltaje, esto con el fin de realizar una función determinada. Con estos conceptos finalmente G. Valls [8] menciona que las señales eléctricas son las tensiones o corrientes, variables en el tiempo, que están presentes en un sistema eléctrico y transportan información. Estas a su vez, se dividen en dos grupos, como menciona [9]:

- **Señales analógicas:** Una señal se puede expresar mediante una función matemática del tipo $v = f(t)$, en la cual t se refiere al tiempo y v es una tensión eléctrica. En estos casos, cuando $f(t)$ es uniforme y derivable se puede decir que $f(t)$ es analógica. Estas poseen tres propiedades básicas, siendo estas la periodicidad, unicidad y oscilación.
- **Señales digitales:** Para poder obtenerlas es necesario primero realizar un muestreo de una señal analógica. Se debe de realizar un muestro en tiempo y una cuantificación en amplitud. Con este proceso se obtienen valores discretos de una señal.

Ahora que ya están definidas los tipos de señales electrónicas, se pueden describir los módulos utilizados en el PLC para la lectura y procesamiento de las mismas. Como se mencionó anteriormente, el PLC cuenta con módulos de entrada y salida. Ya que el énfasis de esta investigación son los módulos analógicos, a continuación se listan los utilizados. Los modelos de entrada analógica a utilizar serán los 6ES7331-7KF02-0AB0 y 6ES7315-2EH14-0AB0. Este primero posee 8 entradas analógicas con una resolución de 9/12/14 bits. De igual manera acepta la lectura de voltaje, corriente, termocopla y de resistencia. Los detalles de su ficha técnica del módulo 6ES7331-7KF02-0AB0 se pueden observar en el Cuadro 1, de igual manera se puede observar en el Cuadro 2 de la información técnica del módulo 6ES7332-5HF00-0AB0.

Voltaje de alimentación	
Voltaje de alimentación DC	24 V
Protección contra polaridad inversa	Sí
Corriente de entrada	
Desde el voltaje de la carga (sin carga) max.	30 mA
Desde el bus posterior de 5 V DC max	50 mA
Entradas analógicas	
Número de entradas analógicas	8
Para la medición de resistencia	4
Rangos para la medición de voltaje	
1 V a 5 V con resistencia de entrada de 100 Ω	Sí
-1 V a 1 V con resistencia de entrada de 10 M Ω	Sí
-10 V a 10 V con resistencia de entrada de 100 k Ω	Sí
-2.5 V a 2.5 V con resistencia de entrada de 100 k Ω	Sí
-250 mV a 250 mV con resistencia de entrada de 10 M Ω	Sí
-5 V a 5 V con resistencia de entrada de 100 k Ω	Sí
-500 mV a 500 mV con resistencia de entrada de 10 M Ω	Sí
-80 mV a 80 mV con resistencia de entrada de 10 M Ω	Sí
Rangos para la medición de corriente	
0 a 20 mA con resistencia de entrada de 25 Ω	Sí
-10 mA a 10 mA con resistencia de entrada de 25 Ω	Sí
-20 mA a 20 mA con resistencia de entrada de 25 Ω	Sí
-3.2 mA a 3.2 mA con resistencia de entrada de 25 Ω	Sí
4 mA a 20 mA con resistencia de entrada de 25 Ω	Sí
Tipos de termocoplas compatibles	
Tipo B	Sí
Tipo C	Sí
Tipo E con resistencia de 10 M Ω	Sí
Tipo J con resistencia de 10 M Ω	Sí
Tipo K con resistencia de 10 M Ω	Sí
Tipo L con resistencia de 10 M Ω	Sí
Tipo N con resistencia de 10 M Ω	Sí
Tipos de termómetros resistivos compatibles	
Ni 100 con resistencia de 10 M Ω	Sí
Pt 100 con resistencia de 10 M Ω	Sí
Rangos para la medición de resistencia	
De 0 a 150 Ω con una resistencia de entrada de 10 M Ω	Sí
De 0 a 300 Ω con una resistencia de entrada de 10 M Ω	Sí
De 0 a 600 Ω con una resistencia de entrada de 10 M Ω	Sí

Cuadro 1: Datos relevantes de la ficha técnica del módulo SIEMENS 6ES7331-7KF02-0AB0.

Voltaje de alimentación	
Voltaje de alimentación DC	24 V
Protección contra polaridad inversa	Sí
Corriente de entrada	
Desde el voltaje de la carga (sin carga) max.	340 mA
Desde el bus posterior de 5 V DC max	100 mA
Salidas analógicas	
Número de entradas analógicas	8
Salida de voltaje con protección contra corto circuito	Sí
Salida de voltaje, corriente máxima de corto circuito	25 mA
Salida de corriente , voltaje sin carga máximo	18 V
Rangos de salida de voltaje	
0 V a 10 V	Sí
1 V a 5 V	Sí
-10 V a 10 V	Sí
Rangos de salida de corriente	
0 a 20 mA	Sí
-20 mA a 20 mA	Sí
4 mA a 20 mA	Sí
Impedancia de la carga	
Con salida de voltaje min.	1 k Ω
Con salida de voltaje, carga capacitiva max.	1 F
Con salida de corriente max.	500 Ω
Con salida de corriente, carga inductiva max.	10 mH
Generación analógicos para la salida	
Resolución con sobre rango, incluyendo el signo max.	12 bit; ± 10 V, ± 20 mA,
	4 mA a 20 mA
	1 V to 5 V: 11 bit + signo
	0 V to 10 V,
	0 mA a 20 mA: 12 bit
Tiempo de conversión (por canal)	0.8 ms
Tiempo de estabilización	
Para carga resistiva	0.2 ms
Para carga capacitiva	3.3 ms
Para carga inductiva	0.5 ms; 0.5 ms (1 mH); 3.3 ms (10 mH)

Cuadro 2: Datos relevantes de la ficha técnica del módulo SIEMENS 6ES7332-5HF00-0AB0.

Número de cables	Porcentajes de corriente
4-6	80
7-9	70
10-20	50
21-30	45
31-40	40
41 y más	35

Cuadro 3: Tabla NEC 310.15(B)(2)(a) Factores de ajustes para ductos con más de 3 cables conduciendo corriente.

Calibre de conductor AWG	Rango de temperatura del conductor		
	60° C	75° C	90° C
18	-	-	14
16	-	-	18
14	20*	20*	25*
12	25*	25*	30*
10	30	35*	40*
8	40	50	55
6	55	65	75
4	70	85	95
3	85	100	110
2	95	115	130
1	110	130	150

Cuadro 4: NEC 310.16 Capacidad de corriente (en Amperes) permitida de conductores con aislamiento de 0-2000V, 60° a 90°C (140° a 194°F) cable o en entierro directo, en base a una temperatura ambiental de 30°C (86°F)

Para organizar estos elementos en tablero industrial es necesario el uso de rieles. Estos se ensamblan por medio de tornillos a la parte interna del tablero, en ellos se pueden instalar el autómatá programable y sus módulos al igual que las terminales. Para que este tenga una apariencia ordenada son usadas las canaletas, de esta forma los cables no son visibles.

6.4 Calibre de cableado

Al realizar una instalación eléctrica es necesario determinar el calibre del cableado basándose en la corriente que pasará a través de ellos y en las condiciones de operación. Por esta razón se requieren normas, de las cuales la norma NEC 310.15 y 310.16. En ellas se detalla los parámetros a tomar en cuenta al determinar el calibre, como la temperatura de operación y la cantidad de cables en el mismo ducto. En el Cuadro 3 se muestran los porcentajes de corriente que pueden pasar por el cable cuando se encuentra en una canaleta o un ducto con demás cables. Es importante recalcar que es necesario tomar en cuenta los valores de la tabla de la NEC 310.16 que se puede ver el Cuadro 4

6.5 Norma de cableado y etiquetado

Luego de conocer el elemento encargado de realizar el procesamiento de las señales, es importante recordar que para las conexiones son importantes el uso de normas para que estos cumplan con los requerimientos de seguridad necesarios. Específicamente la norma que se enfoca en la identificación de conductores por colores y código alfanumérico es la IEC60446. Según la norma IEC60446 [10], esta regula las reglas en el uso del color o identificaciones para evitar la ambigüedad y asegurar la operación segura de los mismos. Estas regulaciones está destinada al uso de cables, núcleos, equipo eléctrico e instalaciones.

Los colores permitidos para los cables son:

- Negro
- Café
- Rojo
- Naranja
- Amarillo
- Verde
- Azul
- Violeta
- Gris
- Blanco
- Rosado
- Turquesa

Los colores se deben de utilizar en las terminales o en toda la longitud del cable preferiblemente, ya sea por aislantes o marcadores de colores, excepto en condiciones donde se encuentran los conductores solamente. donde la identificación de color debe de ser en las terminales y puntos de conexión.

Para conductores que poseen fases de AC se recomienda los siguientes colores:

- Negro
- Café
- Gris

De igual forma la combinación de colores es permitida toda vez no se confunda con los demás y no combine el amarillo y el verde.

En la parte de identificación alfanumérica la norma IEC60446 [10] dicta que la identificación debe de ser clara, legible y duradera. Asimismo estos deben de poseer un fuerte contraste con el color del aislante y debe de estar en numerales arábigos. Para evitar confusiones, los numerales 6 y 9 deben de estar subrayados. Los identificadores para cada conductor se observan en el Cuadro 5.

Identificadores alfanuméricos	
Conductor	Identificador
Neutral	N
Protección	PE
PEN	PEN
PEL	PEL
PEM	PEM
Unión protectora	PB
Unión protectora aterrizado	PBE
Unión protectora no aterrizado	PBU
Aterrizado	FE
Unión funcional	FB

Cuadro 5: Identificadores alfanuméricos según norma IEC60446.

6.6 Diagramas eléctricos

Los diagramas eléctricos son usados para poder representar, según J. Orrego [11], las conexiones de los circuitos eléctricos, para ello se utilizan símbolos normalizados que especifican claramente lo que se está representando. Según J. Orrego [11] existen tres formas de realizar los esquemas:

- **Funcional:** Se utilizan para representar todos los elementos del circuito en líneas verticales, las cuales están comprendidas entre dos líneas paralelas horizontales que representan a los conductores de la línea de alimentación.
- **Esquema multifilar:** En él se representan todos los conductores del circuito, los cuales se realizan siguiendo aproximadamente el trazado de el montaje a la hora de su implementación.
- **Esquema unifilar:** Estos se representan en una sola línea todos los elementos en forma unitaria, de igual manera se indican por trazos oblicuos el número de elementos o conductores totales que habrá en cada tramo.

Este último es el utilizado en la realización de los diagramas o esquemas del tablero industrial didáctico en este trabajo.

Referencia de diseño

Para el diseño de los diagramas unifilares fue necesario basarse en una norma. La norma utilizada, IEC 60617, tiene como objetivo estandarizar varios aspectos a la hora de realizar diagramas eléctricos. Esta dividida en varias partes:

En AutoCAD Electrical 2019 se utilizó específicamente la norma IEC-60617-2, la cual se refiere a la parte 2. Elementos como pulsadores, selectores, disyuntores, contactores, fusibles, relés, motores, entre otros, poseen símbolos representados bajo la norma. Cabe resaltar que los componentes del PLC específicamente, como se mencionó anteriormente, fueron representados mediante símbolos personalizados. Estos fueron obtenidos directamente de los diagramas realizados por la empresa ESINSA, de los cuales fueron tomados de referencia. A continuación, en las figuras (2), (3), (4), (5) se muestran algunos símbolos de los componentes bajo la norma IEC-60617 utilizados en los diagramas unifilares:

De igual manera de utilizó un código de color para poder diferenciar un modulo de otro con mayor facilidad, y ya que el fin del tablero es didáctico, ayuda al usuario a identificar cada parte del tablero.

La norma IEC 60617 lista los colores utilizados para denotar cada cable, de los cuales se escogieron de forma arbitraria los colores específicos a utilizar para cada módulo, de los cuales se listan en el cuadro (6):

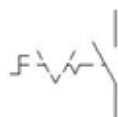


Figura 2: Selector de 2 posiciones normalmente abierto.



Figura 3: Disyuntor de circuito unipolar.



Figura 4: Fusible

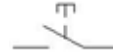


Figura 5: Pulsador normalmente abierto.

Conexión	Color
Neutro	Azul
Tierra	Verde y amarillo
24 VDC	Café
0 V	Gris
Variador de frecuencia	Violeta
Analógica	naranja
Digital	Amarillo
Línea trifásica	Blanco
	Negro
	Rojo

Cuadro 6: Código de colores utilizado en el tablero.

Con estos elementos definidos en el diseño del tablero industrial, se pudo diseñar tanto los diagramas unifilares, como el modelo CAD presentados en los siguientes capítulos.

Cabe recalcar que para poder determinar el calibre de los cables de cada una de las conexiones, se utilizó la norma NEC 310.16, la cual indica la ampacidad del cableado y los factores de corrección según la temperatura de conexión a la que se encuentran, en el Cuadro (4) se pueden observar los valores de las ampacidad, en este caso se utilizó la columna de 90°C de operación. Ya que se estima que la temperatura de operación se encontrará entre 25° y 30°C, no se requiere ajustar la ampacidad. En cambio, ya que en las canaletas irán varios cables al mismo tiempo, es necesario aplicar el factor de corrección de la tabla 310.15(B)(2)(a), mostrada en el Cuadro 3. Esta dicta que se debe de utilizar el valor de ampacidad del cable por 0.4 para determinar el calibre del cable.

La forma en calcular el calibre se demuestra en la siguiente ecuación:

$$I = I_n * Ft * Fc \quad (1)$$

I se refiere a la corriente máxima admitida por el módulo, Ft a el factor de corrección debido a la temperatura, siendo este 1 en nuestro caso, y finalmente Fc se refiere a el factor por la cantidad de cables que se encuentran en la canaleta, siendo este 0.4.

Con estos valores se obtiene finalmente la Cuadro (7). En esta se muestra que para los módulos de entrada y salida analógica se utiliza calibre 18 AWG. Este calibre posee una ampacidad calculada de 5.6 A, representada en el Cuadro (7) como *Ampacidad C*, lo cual brinda un gran margen de seguridad. De igual forma se decidió usar este calibre para estos casos ya que es de los que se utilizan con mayor frecuencia comercialmente, por lo que se pueden encontrar en los colores deseados a nivel local.

En el caso del variador de frecuencia se decidió utilizar cableado calibre 14 AWG, el cual

Conexión	Corriente Max	Calibre	Ampacidad cable	Ampacidad C
Entrada digital	0.01 A	18 AWG	14 A	5.6 A
Salida digital	0.08 A	18 AWG	14 A	5.6 A
Entrada analógica	0.2 A	18 AWG	14 A	5.6 A
Salida analógica	0.34 A	18 AWG	14 A	5.6 A
Variador de frecuencia	4.6 A	14 AWG	25 A	10 A

Cuadro 7: Código de colores utilizado en el tablero.

implica una ampacidad calculada de 10 A, dejando un factor de seguridad de al menos 2. Cabe recalcar que este calibre se debe utilizar en la parte que administra la potencia en el variador de frecuencia, no siendo esta necesaria en la parte de control.

Diagramas unifilares

Estos se realizaron basándose en los diseñados por la empresa ESINSA, de los cuales se obtuvieron las figuras especializadas de los módulos y componentes SIEMENS. Esto con el fin de tener una mejor representación para los diagramas. El fin de estos es mostrar las conexiones que existen entre los componentes.

El software utilizado para diseñar los diagramas unifilares fue AutoCAD Electrical 2020, utilizando la licencia estudiantil facilitada por la Universidad. Este al ser un software especializado en el diseño de diagramas eléctricos facilitó de gran manera el proceso de diseño, ya que posee herramientas, como la función para poner múltiples buses. En la Figura (6) se puede observar la interfaz del sistema.

En este software también fue posible asociar diseños de objetos personalizados a componentes, como fue en el caso de los componentes SIEMENS, siendo estos el CPU 315 -2DP, los módulos analógicos 331-7KF02-0AB0 y 332-5HF00-0AB0, y finalmente los componentes digitales 6ES7321-1BH02-0AA0 y 6ES7322-1BH01-0AA0. En las Figuras (7) para la entrada analógica, (8) para la salida analógica, (9) para la entrada digital, (10) para la salida digital, (11) para variador de frecuencia y (12) para la HMI, se pueden observar algunos de los símbolos personalizados utilizados

Los tablero que se encuentran actualmente en la Universidad del Valle, poseen la configuración propuesta por la empresa ESINSA. Estos poseen los módulos en la configuración que se puede observar en la Figura (1).

Uno de los objetivos del trabajo de graduación era obtener un diseño con un uso de canaletas y cable consumido mas eficiente, se decidió cambiar a la configuración de la Figura (16). Los cambios principales se encuentran tanto en la posición de los módulos digital y analógico, como en la parte de potencia. Las entradas del módulo digital se trasladaron a la parte superior, junto con las entradas analógicas. De igual forma se continuó con la

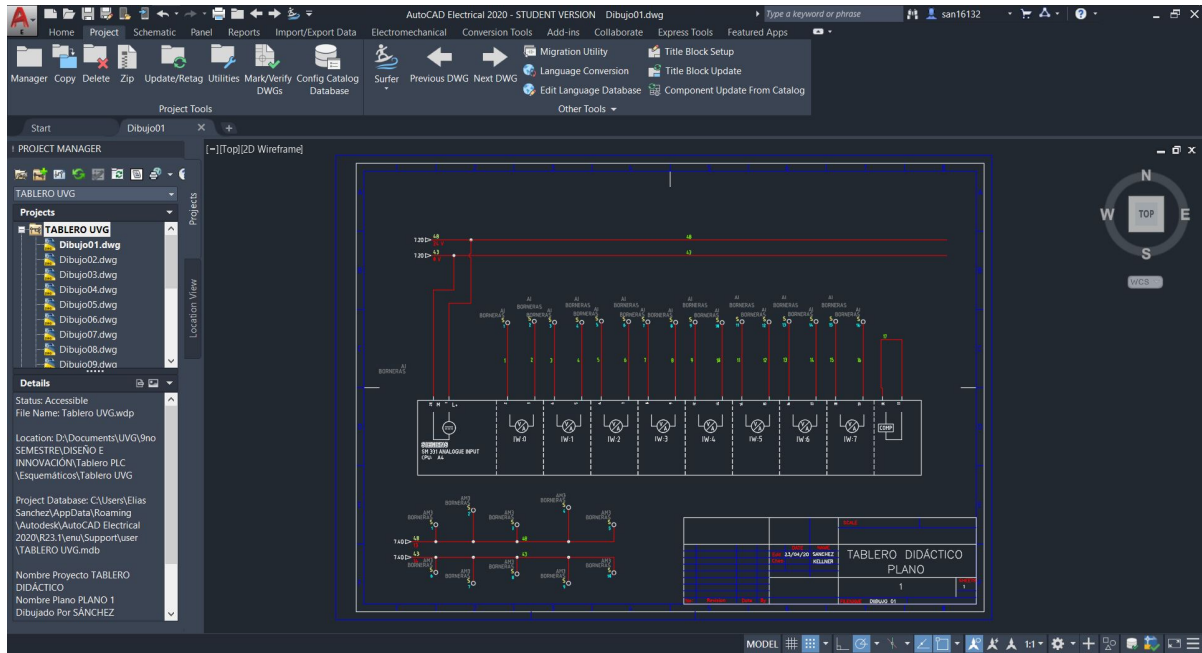


Figura 6: Software AutoCAD Electrical 2020.

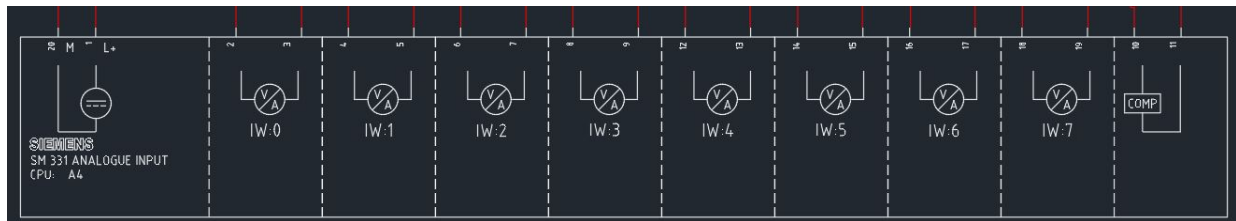


Figura 7: Símbolo personalizado de entrada analógica.

implementación de borneras de 24 y 0 V directamente en las borneras de entrada digital, siguiendo un orden de:

- Entrada digital
- Bornera 24 V
- Bornera 0 V

Al conectar componentes que requiere alimentación se requiere una conexión a las borneras de 24VDC y 0V. La configuración propuesta permite que estas conexiones se realicen de manera más eficiente y ordenado, utilizando menos cable en el proceso.

Adicionalmente, se propuso la implementación de una sección de 24 y 0 V en la parte central, entre la entrada y salida analógica. Se añadieron borneras extras con el fin de implementar, al igual que en el módulo digital, borneras para alimentación de componentes. Se implementaron 5 borneras de 24 V, separadas por un espaciador, para colocar finalmente 5 con 0 V.

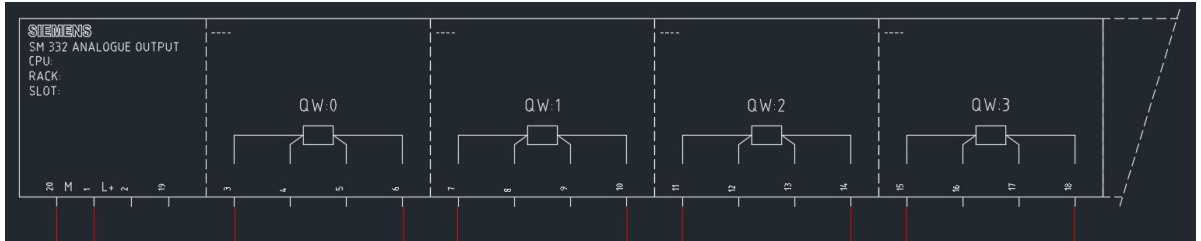


Figura 8: Símbolo personalizado de salida analógica.

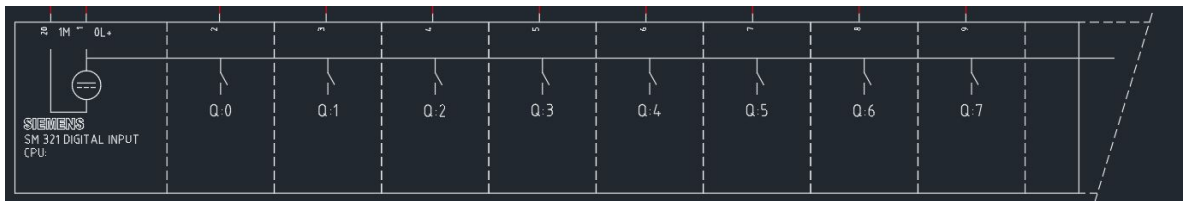


Figura 9: Símbolo personalizado de entrada digital.

De igual forma la posición de las borneras de 24 y 0 V generales se colocaron en la misma sección. Esto por la finalidad de ahorro de cable en la implementación del tablero, ya que esta es una de la secciones de mayor uso del mismo, y al colocarlo lo más cerca posible de la fuente de 24 V, se obtiene un ahorro.

Anteriormente la sección de salida digital, los cuales se componen de relés, se encontraba en la parte inferior del tablero, lo que provocaba dificultad a la hora de realizar conexiones. Para realizar las conexiones en ellos, es necesario introducir el cable en la entrada correspondiente, sin la necesidad de aflojar o apretar un tornillo. Esto lleva a que se tenga que presionar firmemente el cable, y al encontrarse la sección en la parte inferior del tablero, conllevaba un esfuerzo extra innecesario. Por esta razón las salidas digitales se trasladó directamente debajo de las entradas digitales. Esto conlleva una mejora en la ergonomía del tablero y a facilitar su uso.

Las conexiones del variador de frecuencia, se trasladaron lo más cercano posible al mismo. De esta manera se obtiene un ahorro de cable considerable, y al mismo tiempo se obtiene un mejor orden.

Finalmente se propuso el cambio de posición de las borneras que conectan entradas digitales con los botones y switches instalados en la parte frontal del tablero. Esto se trasladó a la parte inferior derecha del tablero. Este cambio no repercutió en un cambio importante en el uso de cable, ya que la cercanía con el componente final seguía existiendo. De igual forma se mantuvieron las borneras de 24 y 0 V.

La comparación de ambas configuraciones se puede observar en la Figura (13).

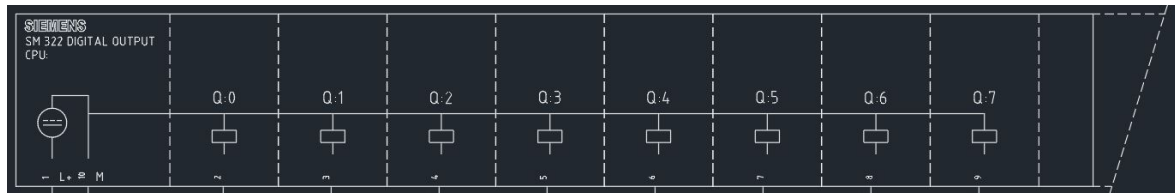


Figura 10: Símbolo personalizado de salida digital.

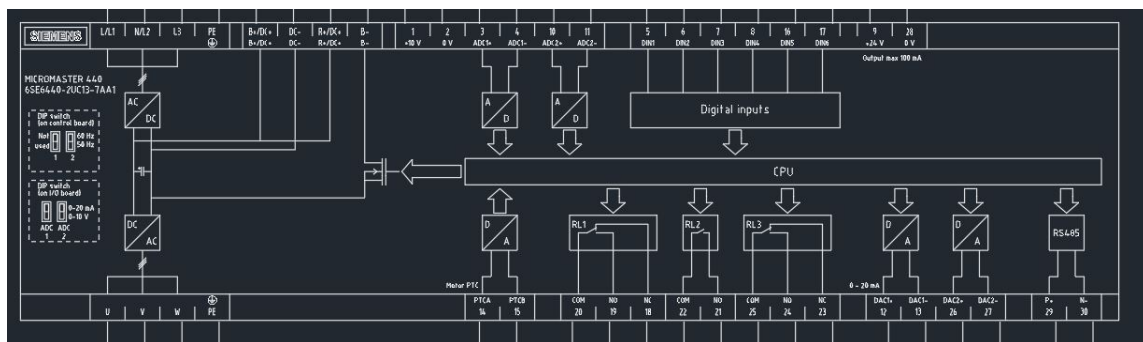


Figura 11: Símbolo personalizado de del variador de frecuencia.



Figura 12: Símbolo personalizado de HMI.



Figura 13: Comparación entre la configuración actual, a la izquierda, y la propuesta, a la derecha.

9.1. Diseño 3D CAD

Para tener una mejor visualización del mismo, al igual que facilitar la comprensión del manual de instalación, al tener imágenes precisas del sistema a construir.

Los modelos, obtenidos directamente de la página web del fabricante, fueron esenciales para diseñar el modelo CAD del tablero. Las medidas fueron tomadas directamente de los tableros que se encuentra actualmente en la Universidad. Esto es importante ya que se busca que los nuevos tableros tengan las mismas dimensiones a los originales. En la Figura (14) se puede observar la configuración actual del tablero.

El diseño propuesto se realizó en Autodesk Inventor 2019 ya que posee la utilidad de poder relacionar variables y relaciones entre componentes a través de los software de Autodesk. Esto resultó ser muy útil en el diseño del cableado.

La implementación de los cables fue muy importante ya que estos brindan el resultado final a la hora de construir un tablero. Estos se realizaron mediante la función de *Cable and Harness* de Autodesk Inventor. Para poder utilizar esta función es necesario localizar los pines en los cuales se realizarán las conexiones. Luego se utiliza la función cable, esto con el fin de obtener un resultado final más ordenado y fácil de entender. Esta función nos permite tener varios cables juntos logrando el objetivo anterior.

La Figura (15) se puede observar uno de los pasos para poder lograr la conexión. Esto consiste en que luego de designar los pines de conexión, se establece cuáles de estos se encontraran interconectados. Posterior a este paso, Se trata de ordenar los cables de tal manera que todos estos que den dentro de la canaleta colocada en el diseño. Es necesario realizarlo para darle el aspecto más realista posible al resultado final. Cabe recalcar que el



Figura 14: Configuración actual del tablero.

espacio utilizado en las canaletas no será necesariamente el mismo utilizado en el diseño asistido por computadora ya que la función de cable no ocupa un volumen proporcional a los cables utilizados.

La Figura (16) muestra la configuración propuesta para el tablero industrial. Esta imagen no cuenta con el cableado para que se pueda visualizar con mayor facilidad la posición de cada elemento.

Por otra parte, la Figura (17) muestra la posición de los rieles respecto a las canaletas. Estos poseen letras para poder identificarlos, según su tamaño y ubicación, en el manual de instalación.

La Figura (18) muestra el tablero industrial sin las tapas de las canaletas para poder visualizar de mejor manera la ruta a seguir de los cables. Esta imagen, de igual manera, se utilizó en el manual de instalación.

En la Figura (19) se muestra la ruta de los cables, desde el módulo analógico hasta la borneras. En esta imagen se realizó un acercamiento para poder observar los elementos con mayor facilidad. De la misma manera, en la figura (20) se muestra la ruta a seguir para el

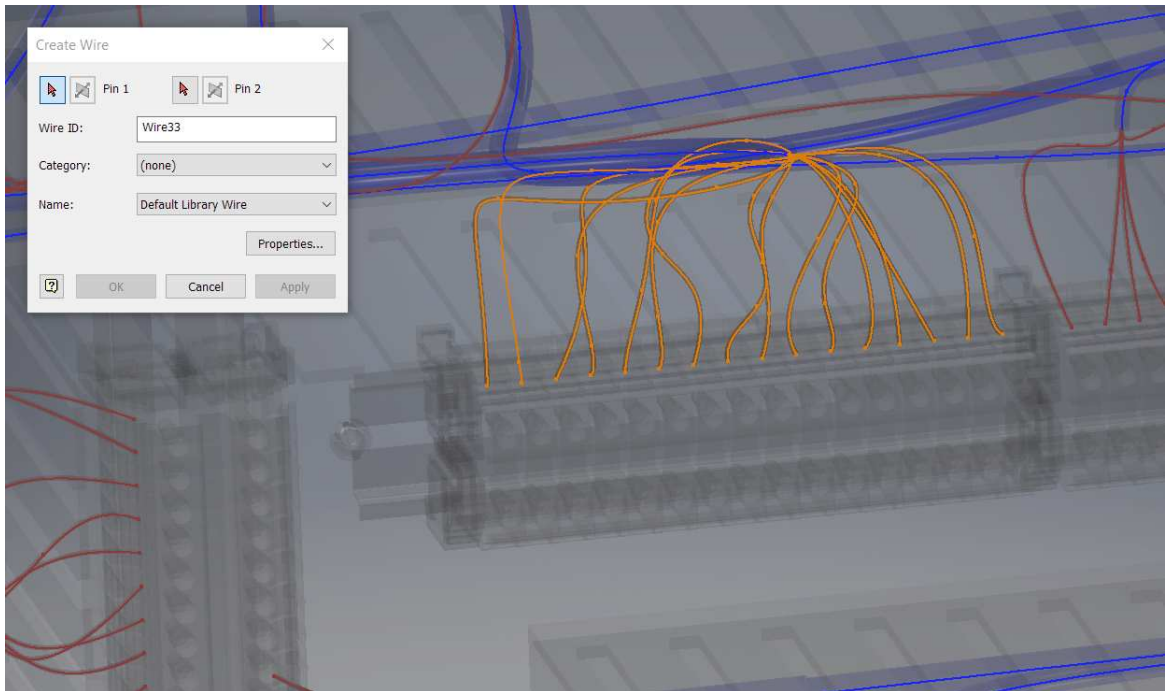


Figura 15: Función de *Cable and Harness* de Autodesk Inventor.

modulo digital.

Finalmente en la figura (21) y (22) se muestra la parte inferior del tablero, donde se encuentra el variador de frecuencia y las borneras de la botonería.

Para la mejor visualización, tanto del ensamblaje, como de los componentes, se realizó un vídeo donde se visualiza el ensamblaje de forma clara y concisa. Este se adjuntó en el manual de instalación por medio de un hipervínculo.

9.2. Comparación entre configuración actual y propuesta

Como se mencionó anteriormente, uno de los objetivos es tener una nueva configuración que utilice menor cantidad de cable y canaleta. A continuación, en el Cuadro (8) se muestra la comparación con el uso del cable.

Finalmente en el Cuadro (9) se muestra el ahorro total de materiales consumidos. Esto se traduce en un ahorro del 15.4% en cable y un 17.9% de canaletas y tapas de canaletas consumidas.

Las mediciones de la cantidad de cable consumido en la configuración actual se realizaron siguiendo la ruta que se puede observar en la Figura (23) para el módulo digital, donde se puede observar un menor consumo de cable a simple vista.

En la Figura (24) se muestra la rutas seguidas para medir el cable en el módulo analógico respectivamente.

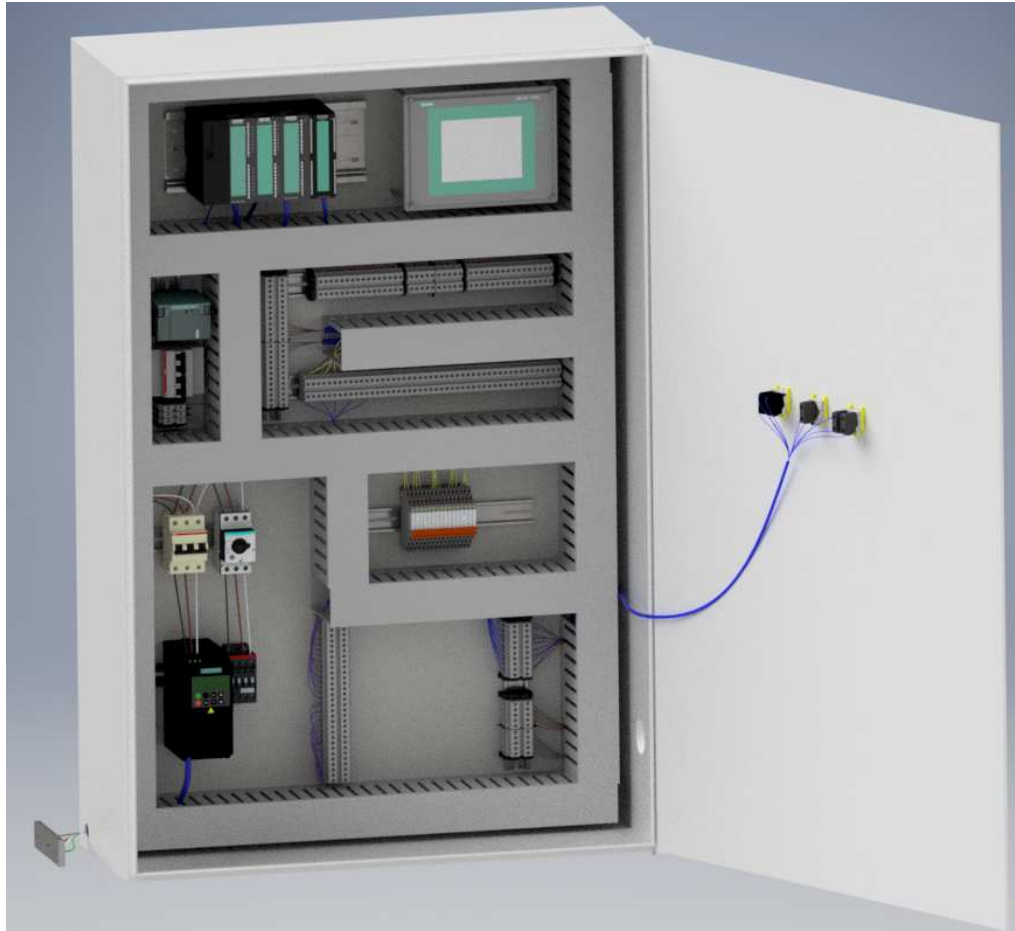


Figura 16: Ensamble CAD completo del tablero en la configuración propuesta.

finalmente, para la medición de canaletas y tapas de canaletas se utilizó las dimensiones detalladas en la Figura (1) para la configuración actual. Para obtener la longitud total de la configuración propuesta se utilizó la herramienta de medición de Autodesk Inventor 2019 para medir las canaletas y tapas de canaletas.

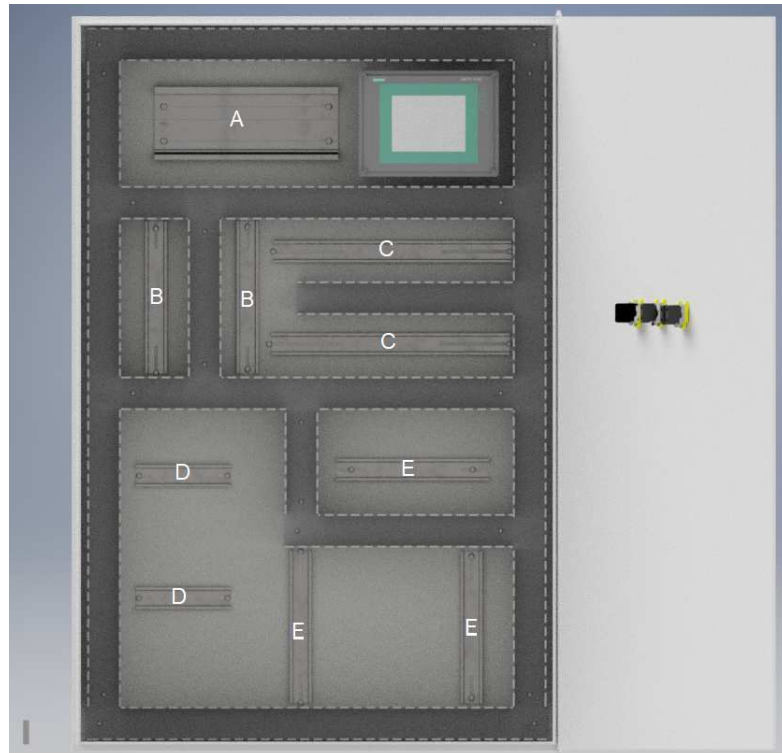


Figura 17: Canaletas instaladas.

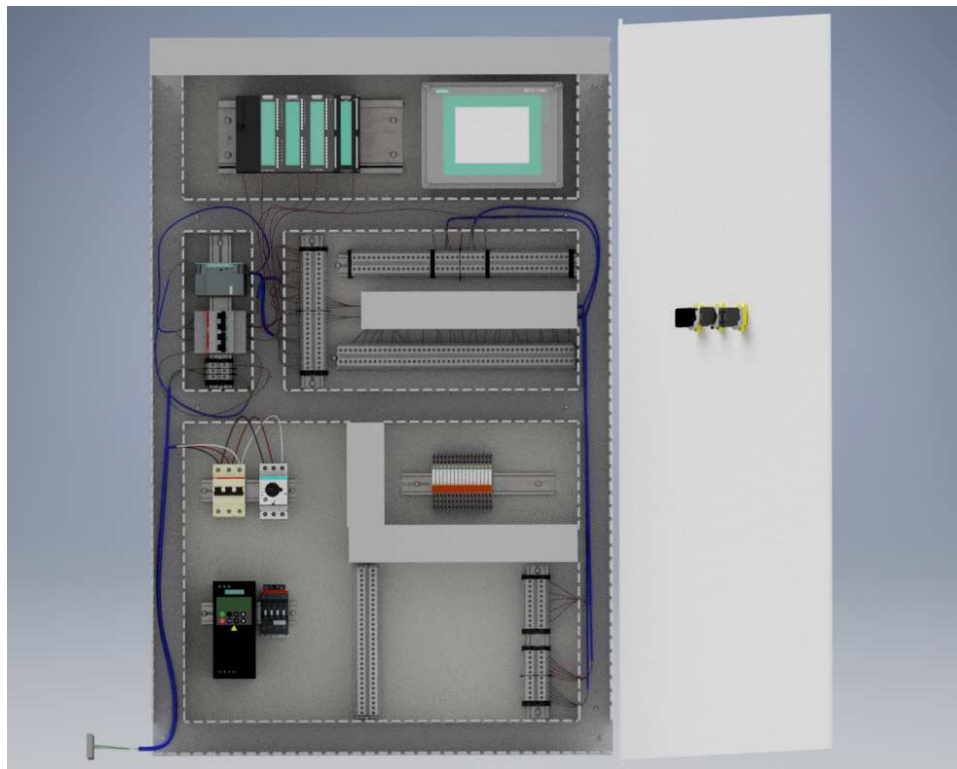


Figura 18: Cableado módulo de 24 V.

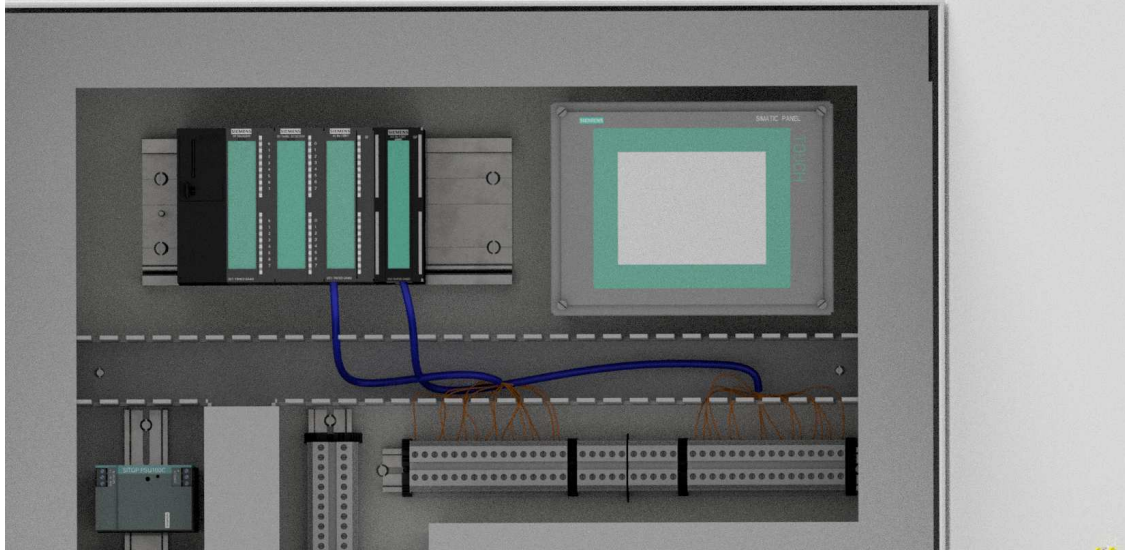


Figura 19: Cableado módulo analógico.

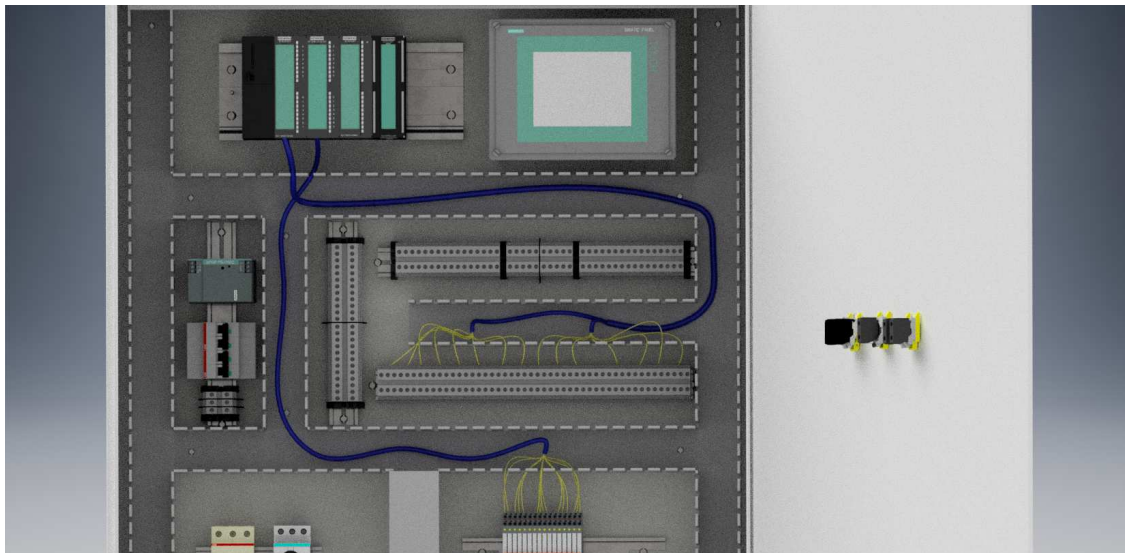


Figura 20: Cableado módulo de digital.

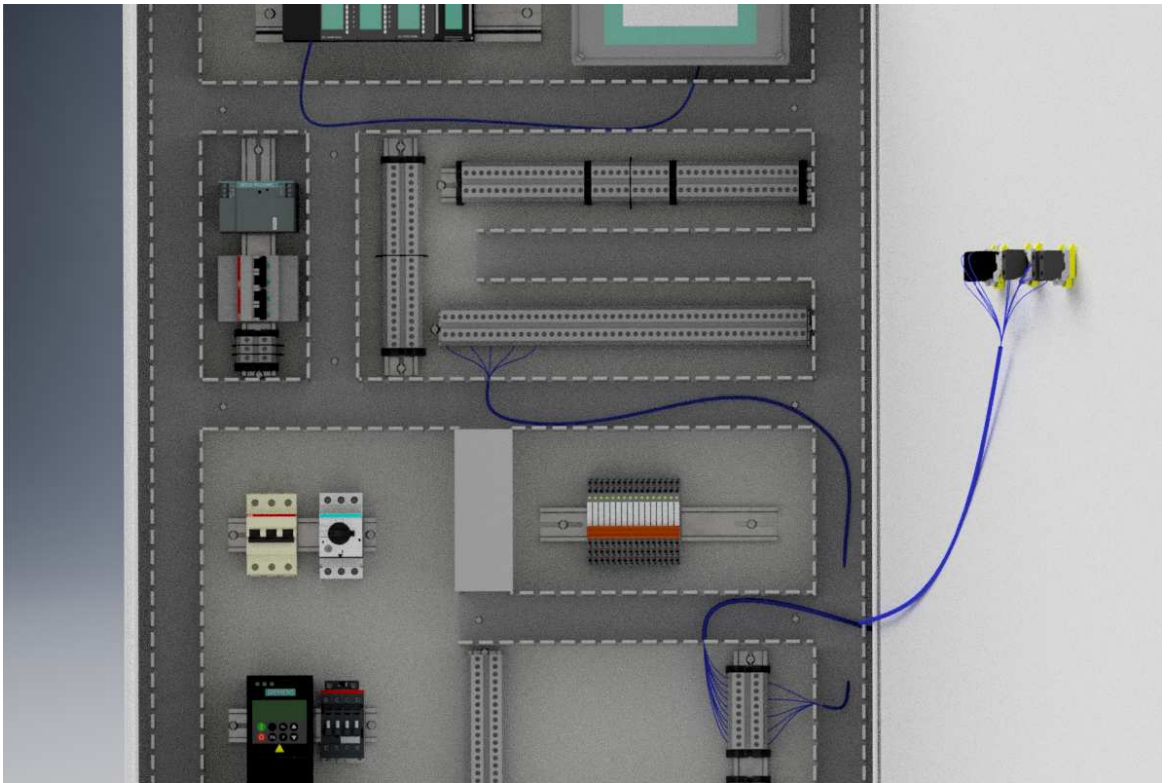


Figura 21: Cableado módulo HMI y botonería.

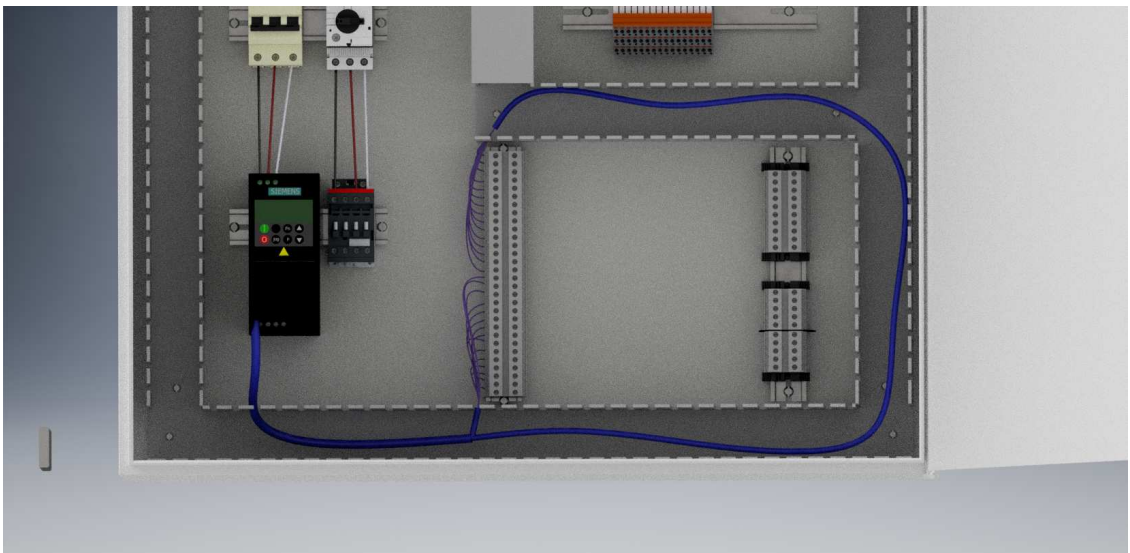


Figura 22: Cableado módulo del variador de frecuencia.

Módulo	Configuración	Cable (m)
Analógico	Actual	30
	Propuesta	22.4
Digital	Actual	103.232
	Propuesta	76.8
24 V DC	Actual	15.574
	Propuesta	18.1
Variador de frecuencias	Actual	10.4
	Propuesta	10.4
CPU y demás componentes	Actual	12.875
	Propuesta	17.925

Cuadro 8: Comparación en la cantidad de cable utilizado según la configuración del tablero.

Configuración	Cable (m)	Canaletas y tapas (m)
Actual	172.181	7.045
Propuesta	145.725	5.786
Diferencia	26.456	1.259

Cuadro 9: Diferencias en la cantidad de material utilizado.

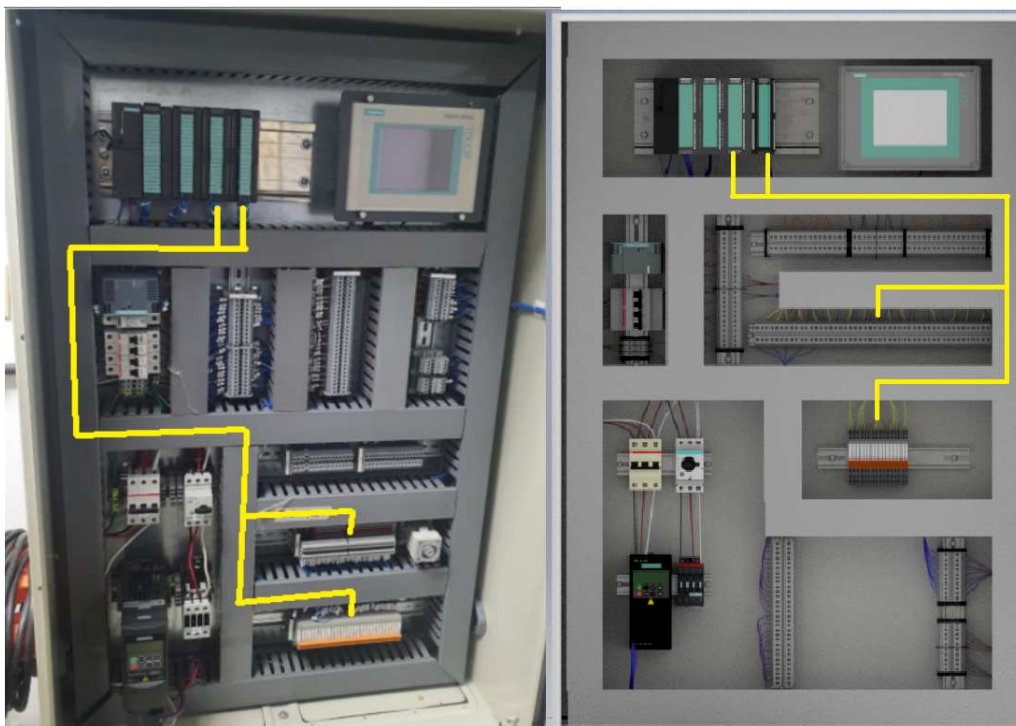


Figura 23: Medición de cable utilizado para el módulo digital en la configuración actual a la derecha, y en la configuración propuesta a la izquierda.

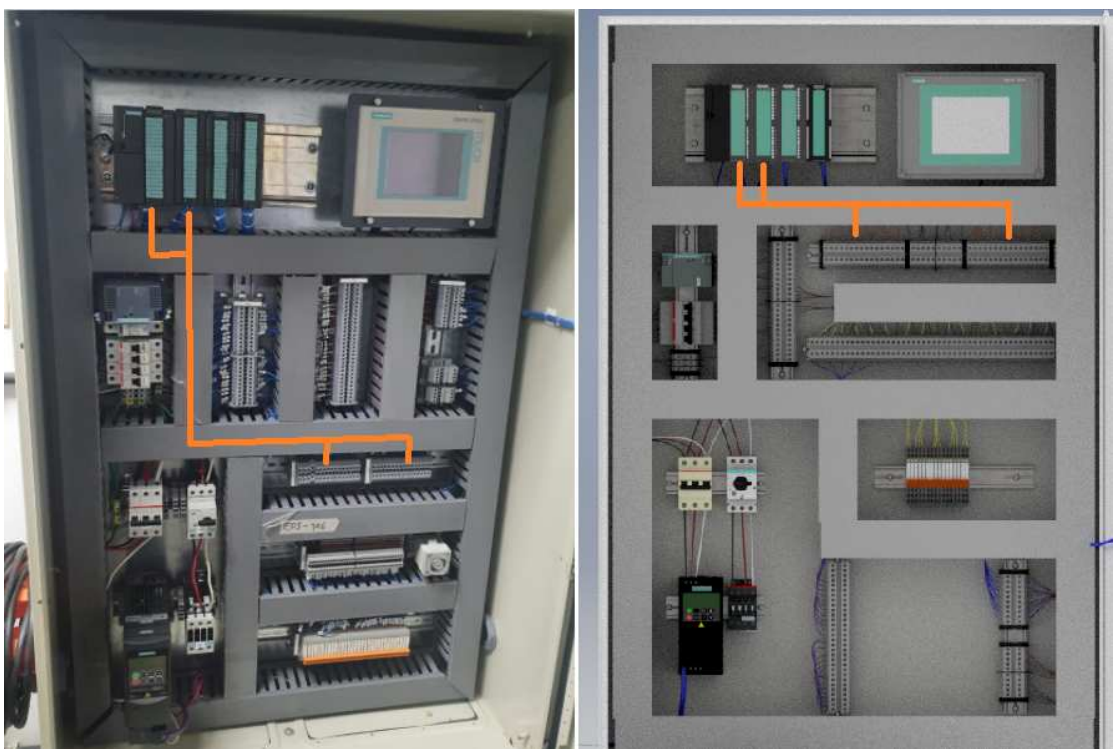


Figura 24: Medición de cable utilizado para el módulo analógico en la configuración actual a la derecha, y en la configuración propuesta a la izquierda.

Manual de instalación y operación

Para un mejor entendimiento y guía en la implementación del tablero digital se desarrolló un manual de instalación. Este se realizó utilizando *AsciiDoctor*. Este es un procesador de texto de código abierto y una cadena de herramientas de publicación para convertir contenido AsciiDoc a HTML5, DocBook, PDF y otros formatos. Para esta aplicación se buscó utilizar el formato HTML5. Este nos permite tener una visualización clara y ordenada, tanto en pantallas de computadoras, como en celulares, ya que el texto e imágenes se ajustan de forma automática según el formato y orientación de la pantalla.

Para poder desarrollar el código del manual se utilizó Visual Studio Code con la extensión AsciiDoc. Esta permite utilizar las herramientas y comandos de *AsciiDoctor*, al igual que tener una vista previa en tiempo real de lo trabajado, como se muestra en la Figura (25).

El manual tiene como fin guiar al usuario en la instalación de los módulos y demás componentes. Por ello consta de las siguientes secciones:

- **Corte de cables:** En esta sección se muestra la lista de cables a cortar por color. De igual forma se incluye consejos para realizar la tarea con mayor facilidad
- **Instalación de terminales en cables:** Se explica la forma en la que se deben de instalar las terminales en los cables, de tal forma que queden asegurados en las borneras, evitando falsos contactos.
- **Corte de canaletas y tapas:** Se enumera las canaletas y tapas de canaletas por cortar. De igual forma se adjunta imágenes de referencia para los cortes para el paso de los cables.
- **Instalación de canaletas:** Se muestran imágenes y pasos para la instalación de las canaletas según la configuración propuesta.

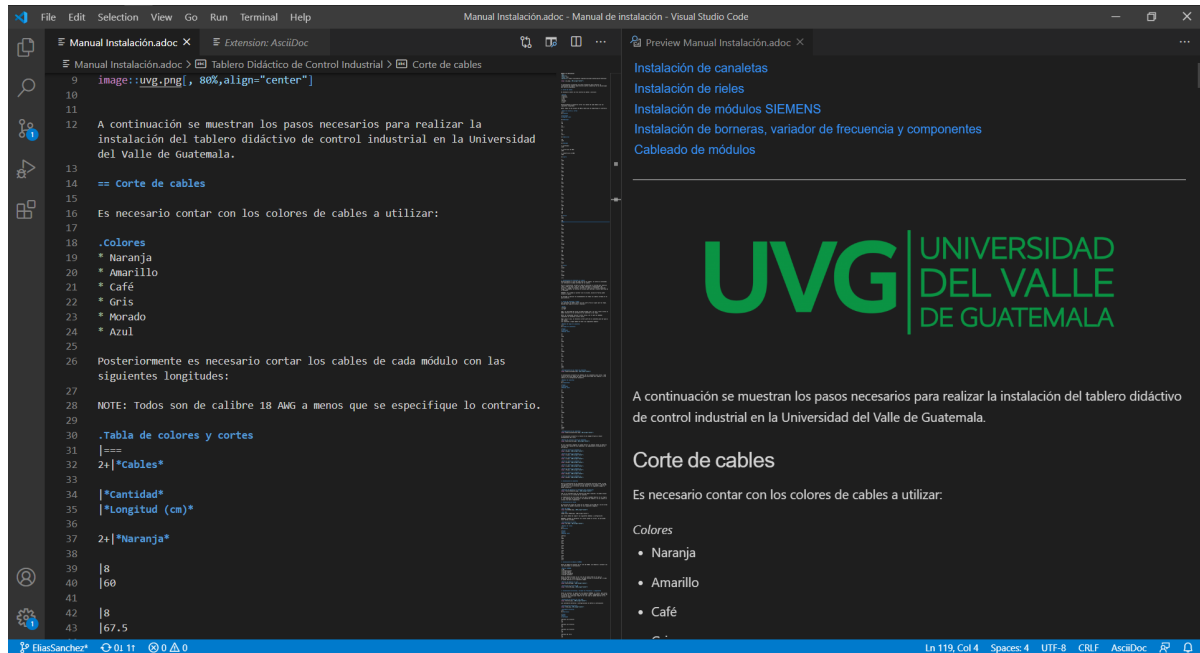


Figura 25: Interfaz de trabajo en Visual Studio Code al utilizar AsciiDoc.

- **Instalación de rieles:** Se muestra la posición de instalación de rieles, incluyendo el tipo de tornillería a utilizar en la tarea.
- **Instalación de módulos SIEMENS:** Se explica el procedimiento de instalación de los módulos en los rieles, y las precauciones a tomar.
- **Instalación de borneras, variador de frecuencia y componentes:** Se muestra la ubicación para la instalación del resto de módulos en el tablero.
- **Cableado de módulos:** Se indican las rutas a tomar para el cableado de cada módulo, respetando el color correspondiente de cada uno.

Para tener una mejor visualización, se generaron imágenes de las instalaciones en Autodesk Inventor 2019, utilizando vistas que logren transmitir mayor información, como se puede ver en la Figura (26) y (27).

También se incluyeron imágenes con identificadores en situaciones donde se encuentran varias secciones de diferentes tamaños y cortes del mismo elemento, como en el caso de las canaletas. En la Figura (28) se puede observar la imagen utilizada en el manual.

Finalmente, se incluyó un índice navegable en el manual, esto contribuye a una navegación más fácil y ordenada dentro del mismo, permitiendo que el usuario encuentre la información de interés rápidamente.



Figura 26: Imagen generada en Autodesk inventor 2019.

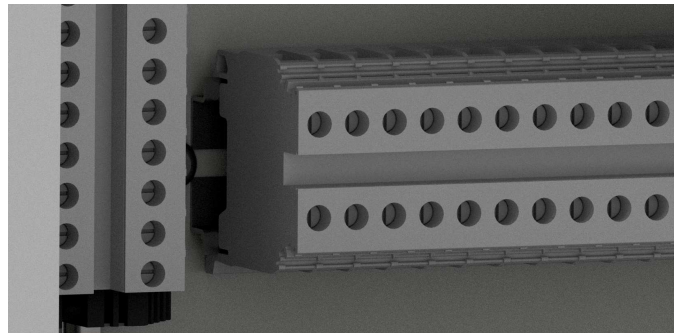


Figura 27: Imagen de posición de bornera generada en Autodesk inventor 2019.

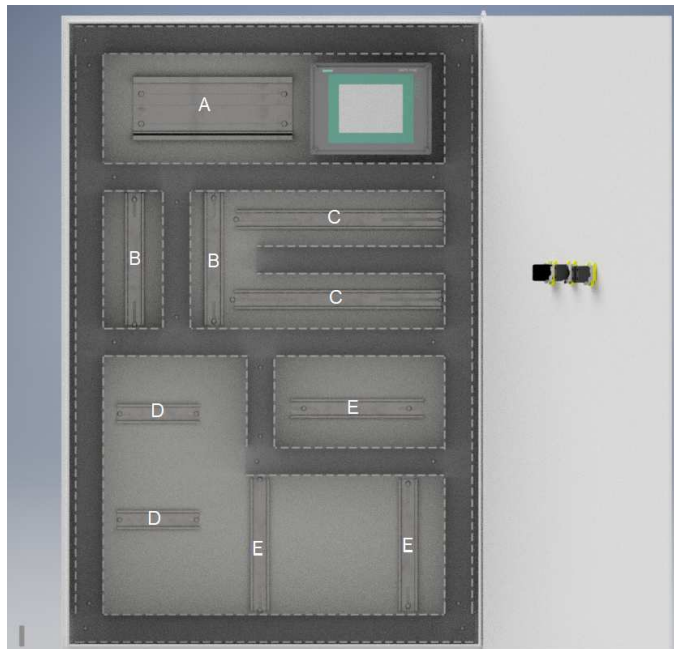


Figura 28: Imagen utilizada en el manual con identificadores de secciones de canaleta.

CAPÍTULO 11

Listado de componentes

En los Cuadros (10), (11) y (12) se muestran las partes necesarias para la implementación del tablero de control industrial. El listado se compone de tres cuadros para poder mostrar la información de forma clara y ordenada. Para poder seguir los datos con mayor facilidad, cada parte consta de un código de referencia, identificando la información de cada componente sin importar cual cuadro se esté observando. En estos se incluye información sobre el código, cantidad necesaria para la construcción, elementos por comprar (No se tienen al momento de realizar este trabajo en bodega de la Universidad del Valle de Guatemala), fabricante y finalmente proveedor.

Referencia	Parte	Código
C1	CPU (SIEMENS)	315 -2DP
C2	Analog Inputs	331-7KF02-0AB0
C3	Analog Outputs	332-5HF00-0AB0
C4	Digital Inputs	6ES7321-1BH02-0AA0
C5	Digital Inputs	6ES7321-1BL00-0AA0
C6	Digital Outputs	6ES7322-1BH01-0AA0
C7	SIMATICA PANEL TOUCH SIEMENS	TP 177A
C8	Convertidor AC-DC	6EP1332-5BA10
C9	Supresor	(Protec C 40/275)
C10	Interruptor termo-magnético	S 201-K6A-C4
C11	Interruptor termo-magnético	S 201-K6A-C2
C12	Interruptor termo-magnético	S 201-K6A-C1
C13	Borneras	UKJ6
C14	Borneras tierra física	NSYTRV42PE
C15	Interruptor termomagnético trifásico	S203-C40
C16	Interruptor termomagnético trifásico	3RV1021-1CA10
C17	Variador de frecuencia VFC	6SE6440-2UC13-7
C18	Contactador 3 fases	3RT1024-1B
C19	Timer	AT8N
C20	Base de Rele	RIF-0-BPT/21 - 2900958
C21	Relé	REL-MR- 24DC/21 - 2961105
C22	3 position selector NO neuter 0	
C23	Push button emergency stop switch	
C24	Push button NC	
C25	Push button NO	
C26	Profibus DP	
C27	Resistencia terminal para cerrar profibus	6ES7972-0BB60-0XA0
C28	Módulo PROFIBUS	6SE6400-1PB00-0AA0
C29	Panel de operador	6SE6400-0AP00-0AA1
C30	Espiga electrica	-
C31	Espiga electrica de 30A (Trifasica)	-
C32	Perfil de riel de fijación	TH3575T
C33	Perfil de riel de fijación	6ES7390-1AF30-0AA0
C34	Canaletas	CD 60X80 - 3240199
C35	Separador para bornera	UKJW25-10FG
C36	Terminales 18 WG	AW10008
C37	Terminales 16 AWG	Ad15008
C38	Terminales 14 AWG	AW25008
C39	Separador de módulos	UD1GY

Cuadro 10: Primera parte del listado de partes.

Referencia	Cantidad por tablero	Cantidad total	Pendiente por adquirir
C1	1	4	0
C2	1	4	1
C3	1	4	1
C4	1	3	0
C5	1	1	0
C6	1	4	0
C7	1	4	0
C8	1	4	0
C9	1	4	4
C10	1	4	4
C11	2	8	8
C12	1	4	4
C13	170	680	680
C14	4	16	16
C15	1	4	4
C16	1	4	4
C17	1	4	0
C19	1	4	4
C20	16	64	64
C21	16	64	64
C22	1	4	4
C23	1	4	4
C24	1	4	4
C25	1	4	4
C26	2 m	8 m	8 m
C27	3	12	12
C28	1		
C29	1		
C30	1	4	4
C31	1	4	4
C32	3 metros	12m	12m
C33	0.5 metros	2m	2m
C34	6.5 m	26 m	26m
C35	10	40	40
C36	476	1904	1904
C37	28	112	112
C38	6	24	24
C39	30	120	120

Cuadro 11: Segunda parte del listado de partes

Referencia	Fabricante	Proveedor
C1	Siemens	ESISNSA
C2	Siemens	ESISNSA
C3	Siemens	ESISNSA
C4	Siemens	ESISNSA
C5	Siemens	ESISNSA
C6	Siemens	ESINSA
C7	Siemens	EGENSA
C8	Siemens	ESINSA, EGENSA
C9	Iskra	Fastron Electronics: shorturl.at/hjkLO
C10	ABB	ESINSA, ABB, Ab Control
C11	ABB	ESINSA, ABB, Ab Control
C12	ABB	ESINSA, ABB, Ab Control
C13		FerrulesDirect: shorturl.at/qyBUZ
C14		FerrulesDirect: shorturl.at/ux046
C15	ABB	ABB: shorturl.at/wDFK4
C16	Siemens	EGENSA
C17	Siemens	EGENSA
C18	Siemens	EGENSA
C19	AUTONICS	Newark: shorturl.at/nqxRS
C20	Phoenix Contact	Esinsa
C21	Phoenix Contact	Esinsa
C22		EGENSA/ABB/Ferrules
C23		EGENSA/ABB/Ferrules
C24		EGENSA/ABB/Ferrules
C25		EGENSA/ABB/Ferrules
C26		Schneider Electric
C27	Siemens	Egensa
C28	Siemens	Esinsa
C29	Siemens	Esinsa
C30		CELASA
C31		CELASA
C32		Ferruls: shorturl.at/brtyC
C33	Siemens	Esinsa
C34		Esinsa
C35		Ferrules direct
C36	Ferrules Direct	Ferrules direct: shorturl.at/lwJK3
C37	Ferrules Direct	Ferrules direct: shorturl.at/oAB68
C38	Ferrules Direct	Ferrules direct: shorturl.at/apvwZ
C39		Ferrules direct

Cuadro 12: Tercera parte del listado de partes.

- Se diseñó el cableado del módulo analógico con las entradas ES7331-7KF02-0AB0 y salidas 6ES7332-5HF00-0AB0. Las conexiones se realizan desde el módulo hasta las borneras siguiendo la ruta en las canaletas.
- Se tuvo un ahorro en la cantidad de cable consumida por tablero en un 15.4%, de igual manera, en canaleta y tapas de canaletas se tuvo un ahorro de 17.9%.
- Se realizaron los diagramas unifilares en Autodesk Electrical 2019, siguiendo la norma IEC 60617.
- El diseño 3D CAD se realizó en Autodesk Inventor 2019, en este se utilizó el modelo de cada componente del tablero, de igual manera se incluyó el cableado.
- Se realizó vídeo de ensamble, al igual que imágenes renderizadas del modelo 3D CAD utilizando Autodesk Inventor 2019
- Se redactó un manual de instalación en formato HTML5 utilizando el procesador de texto AsciiDoctor.
- Se listaron los componentes necesarios para la futura implementación del tablero. Se incluyó una sección sobre el tipo de componente, fabricante, cantidad disponible en la universidad y proveedores para adquirirlos.

Recomendaciones

Se recomienda a futuros estudiantes plantear nuevos tipos de configuraciones con las opiniones de los usuarios, esto con el afán de brindar la mejor experiencia y ambiente de aprendizaje en clase. De igual forma, realizar una encuesta, o la solicitud de retroalimentación por parte de estudiantes que recibieron el curso *Automatización e Instrumentación Industrial* anteriormente pueden brindar información valiosa para la mejora del tablero.

De igual forma la implementación de nuevos módulos de diferentes marcas al igual que mayor cantidad de sensores mejorará el catálogo didáctico que se brinda a los estudiantes, haciendo que estos posean experiencia en una mayor cantidad de equipos para diferentes circunstancias.

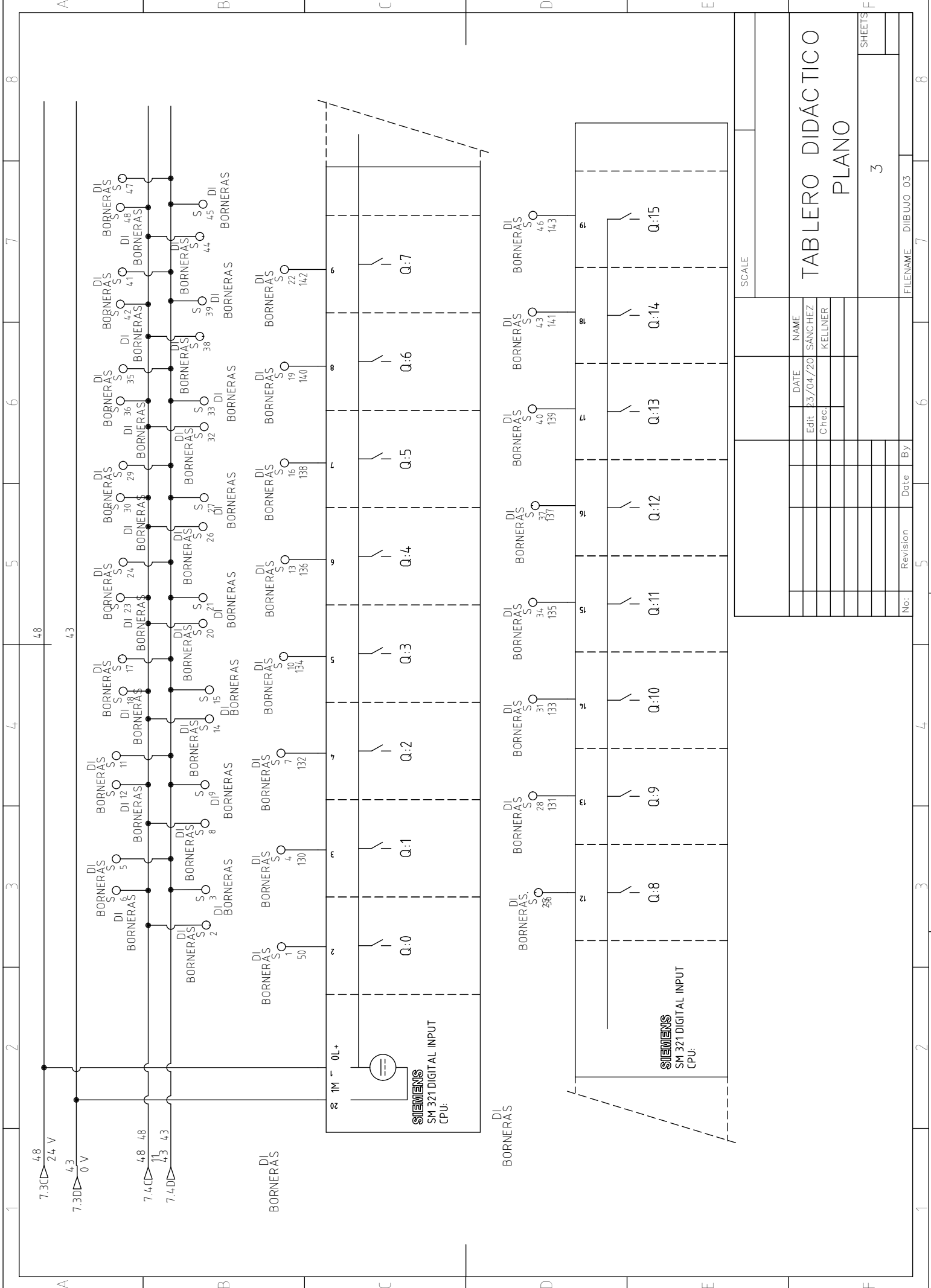
Actualmente los tablero se encuentran instalados en cajones metálicos móviles, por lo que la instalación del tablero en una superficie o estante de forma permanente es una opción ideal. Esto evitaría el riesgo de daño del equipo, ya que se evita la movilidad del mismo.

Finalmente se recomienda la verificación de los diagramas unifilares con una persona experimentada en el tema, ya que estos son una parte esencial de la implementación del tablero. De igual forma se recomienda verificar individualmente la buena funcionalidad de cada elemento del tablero antes de su instalación. Por último es importante que se tomen las medidas de precaución pertinentes en la parte de arranques de motores.

-
-
- [1] G. Lorenzo, *Automatización de una planta industrial*. 2009.
 - [2] P. Ponsa y A. Granollers, *Diseño y automatización industrial*, 2009.
 - [3] B. R. Álava Pico Diego Jesús y Moreira Lucas, *Elaboración de un tablero didáctico de automación de operaciones controlado por un módulo lógico programable para la facultad de ingeniería industrial de la universidad laica Eloy Alfaro de Manabí En el periodo 2016-2017*. 2016.
 - [4] M. V. Lourido Vélez, H. Mondragón Manzano y col., *Diseño y construcción de tablero didáctico simulador para sistemas de control automáticos industriales*. 1997.
 - [5] M. M. Rivera, J. A. L. Chávez, Z. E. G. Flores, M. Á. F. Sánchez, R. M. R. Zúñiga y D. A. F. Espinoza, *Tablero didáctico para prácticas con controladores lógicos programables*, 120. 2018, vol. 38.
 - [6] G. N. Valadez Eslava, R. A. Alcántara Ramirez, J. M. Jaimes Ponce y M. Magos Rivera, *Tablero simulador para prácticas con controladores lógicos programables (PLC)*, 2002.
 - [7] J. A. Tumbaco Londa y E. C. Maldonado Vera, *Diseño y construcción de un tablero didáctico para el control de velocidad de un motor tipo jaula de ardilla utilizando un micro PLC logo, variador de frecuencia y una pantalla TD*. 2013.
 - [8] G. C. Valls, J. E. López y J. M. Mari, *Fundamentos de electrónica analógica*. Universitat de València, 2011.
 - [9] G. R. Maltos, J. R. G. González y E. J. M. Gómez, *Propuesta de tablero de entrenamiento para automatización y control/Training Board Proposal for Automation and Control*, 16. 2019, vol. 8, págs. 1-16.
 - [10] *Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification - identification of conductors by colors or alphanumeric*, IEC60446:2007, Rev. 4, IEC, 2007.
 - [11] J. J. M. Orrego, *Electricidad I. Teoría básica y prácticas*. Marcombo, 2007, vol. 1.

15.1. Diagramas unifilares del tablero

A continuación se presentan los diagramas unifilares realizados en Autodesk Electrical.



SCALE

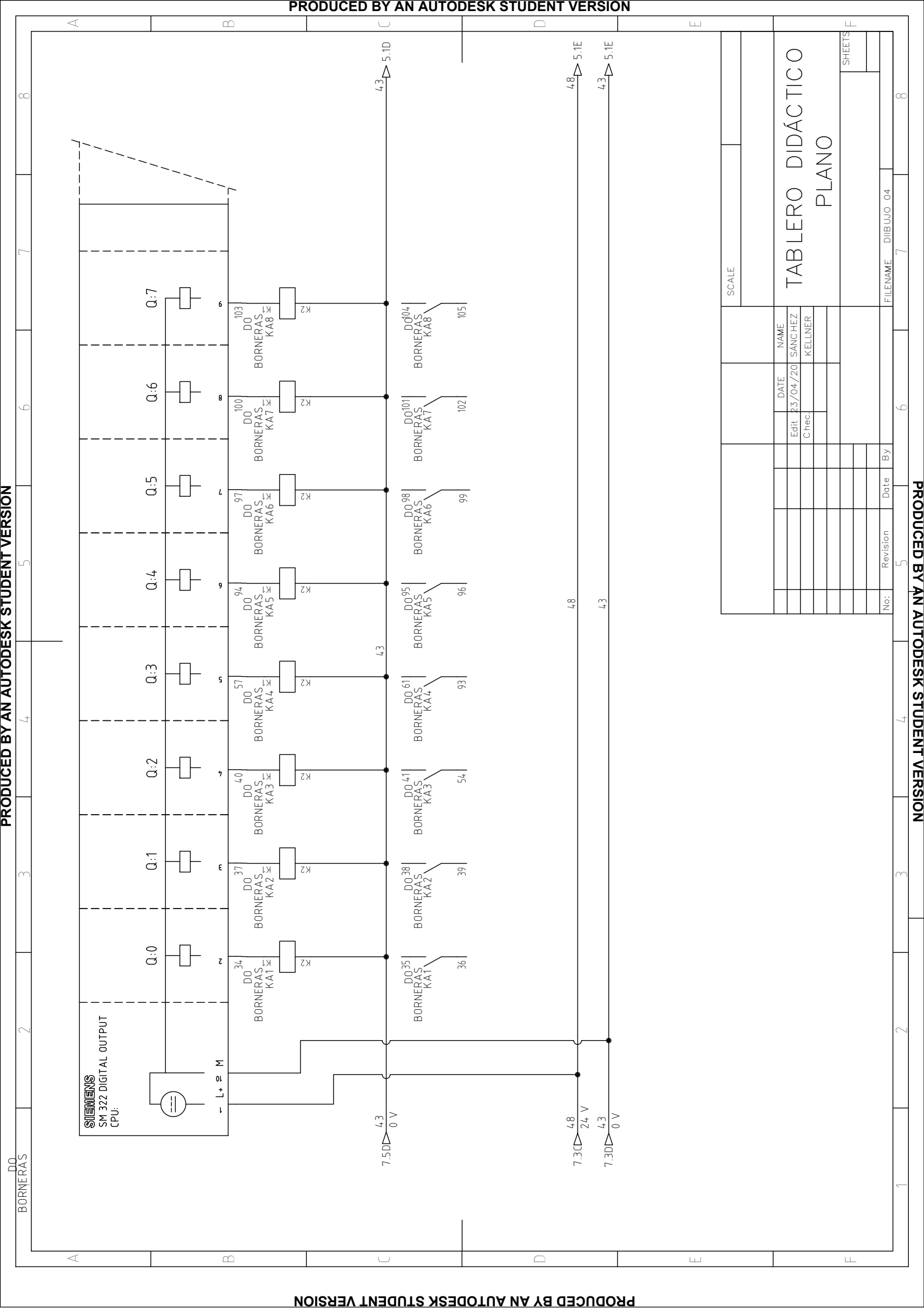
TABLERO DIDÁCTICO
PLANO

3

SHEETS

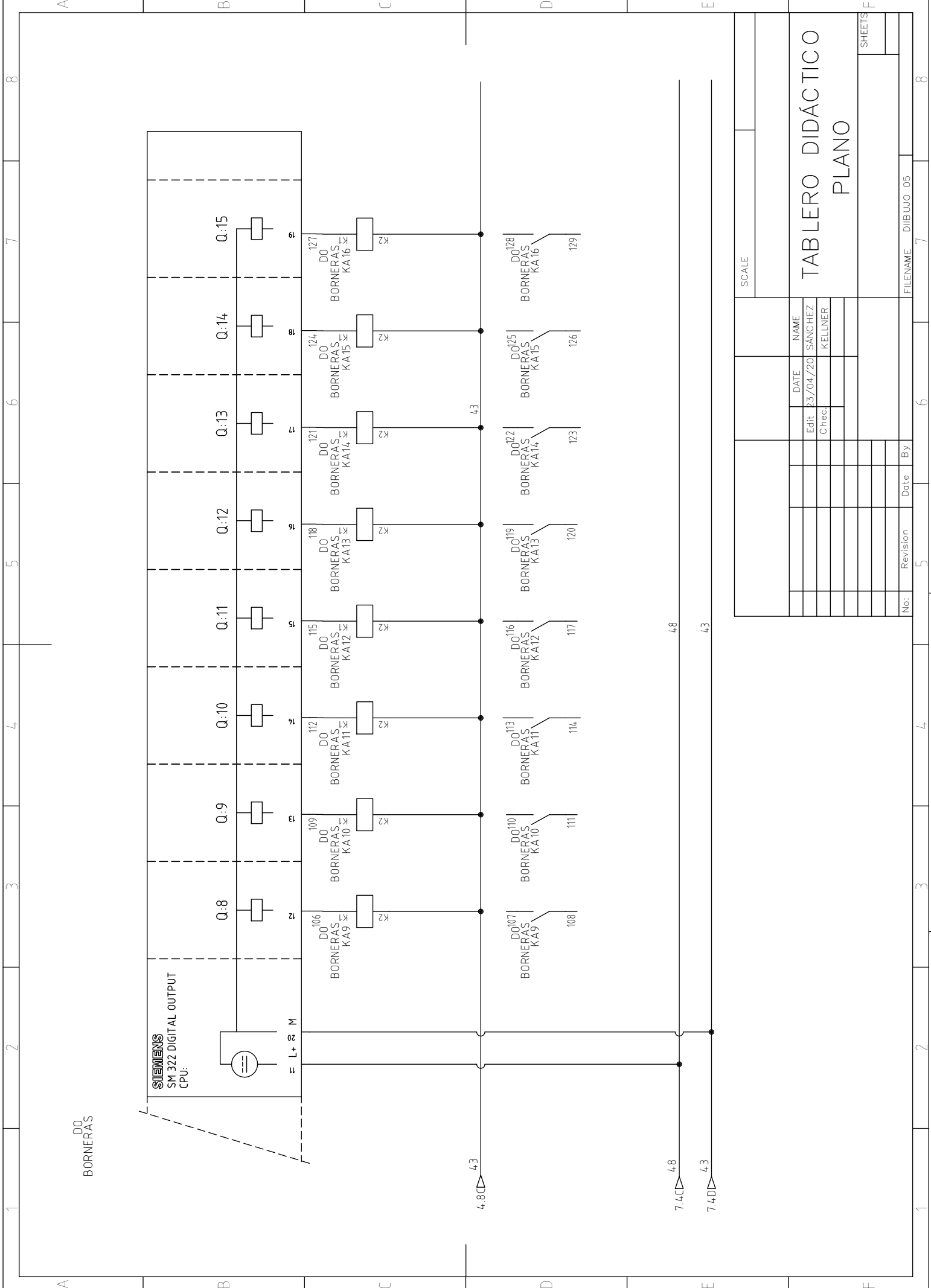
No.	Revision	Date	By
5			
6			
7			
8			

FILENAME: DIBUJO_03



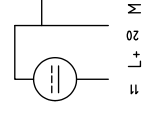
SCALE	
TÍTULO DIDÁCTICO	
PLANO	
SHEETS	
No:	Revision
Date	By
FILENAME DIBUJO_04	

TÍTULO DIDÁCTICO
PLANO

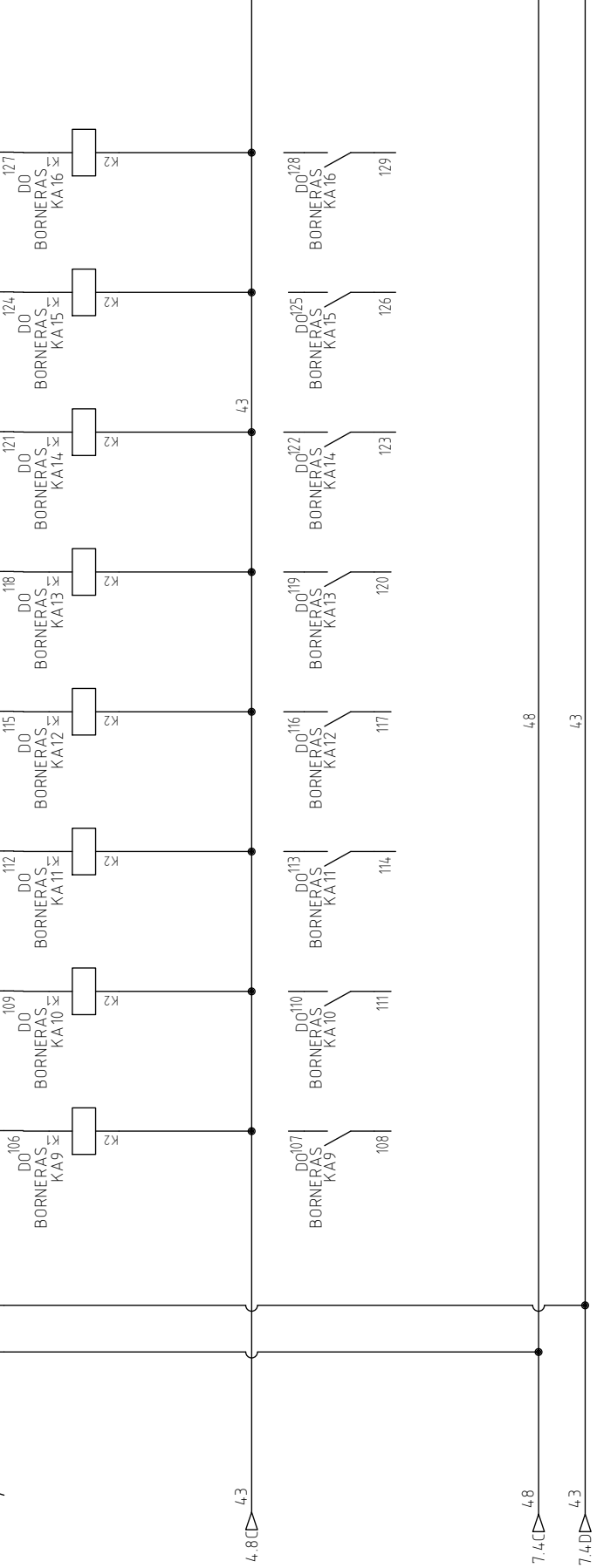


DO
BORNERAS

SIEMENS
SM 322 DIGITAL OUTPUT
CPU:

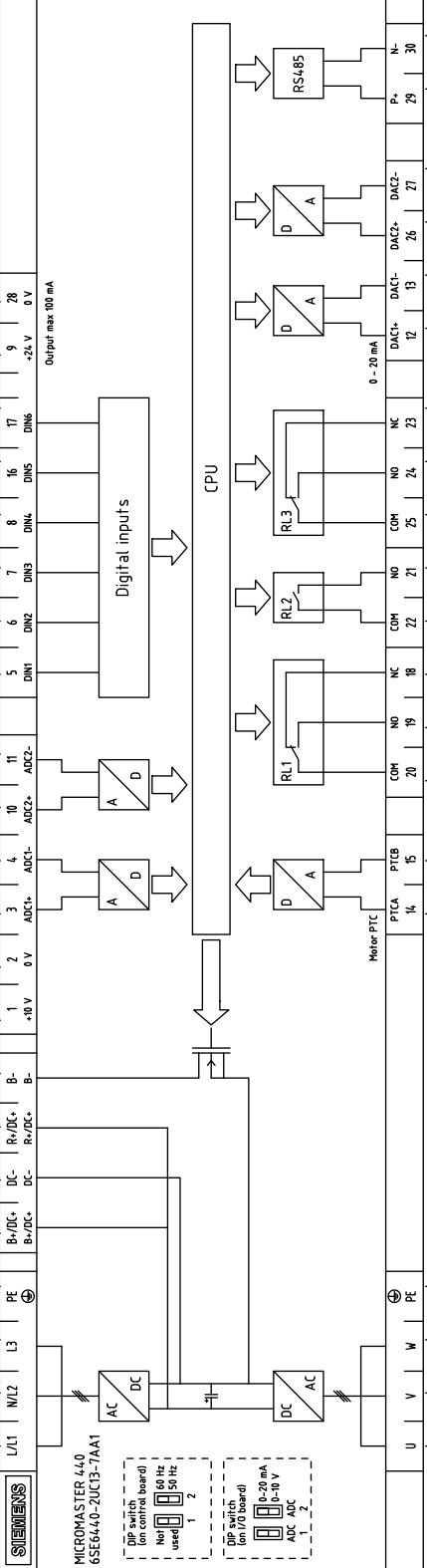
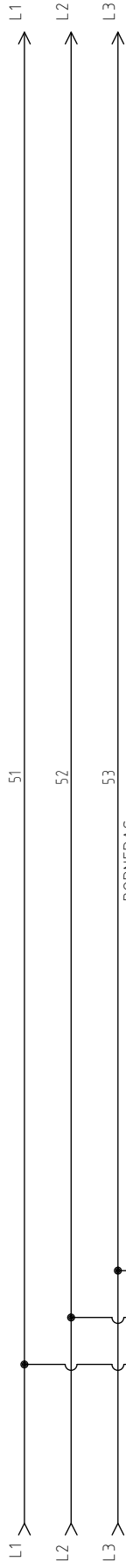


L+ 0 M

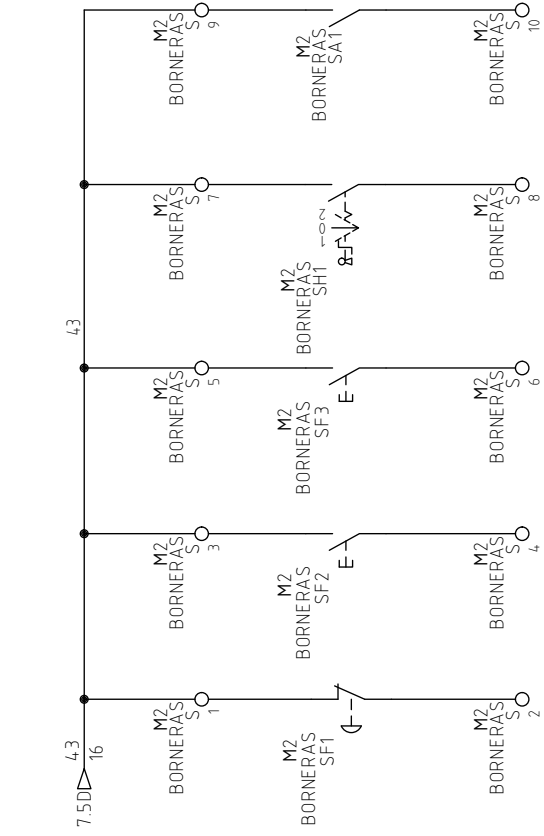
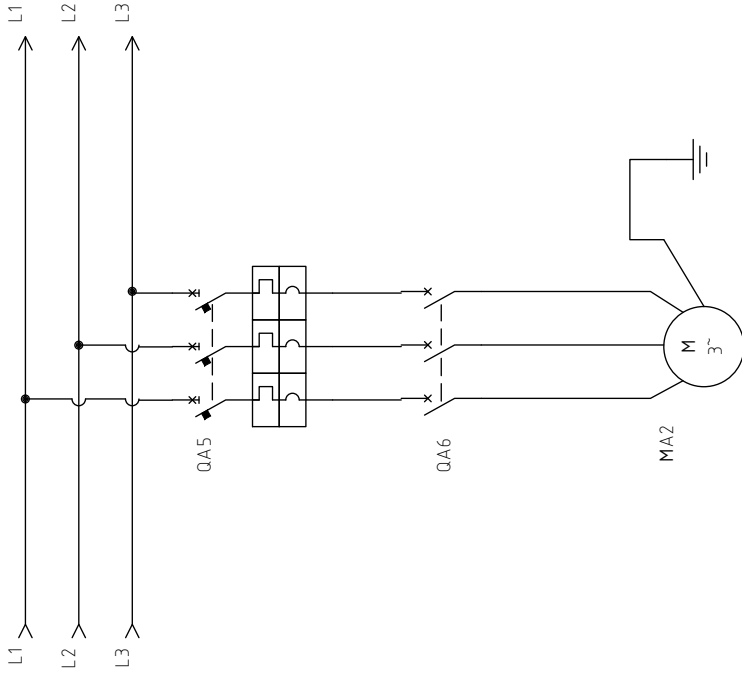


SCALE	
TABELLO DIDACTICO PLANO	
DATE	NAME
23/04/20	SANCHEZ
Edit	C hec.
	KELLNER
No:	Revision
	5
Date	By
FILENAME	DIBUJO_05
	7
	6
	8

SHEETS



SCALE	
TABLERO DIDACTICO	
PLANO	
SHEETS	
No:	Revision
Date:	By:
FILENAME:	DIBUJO_09



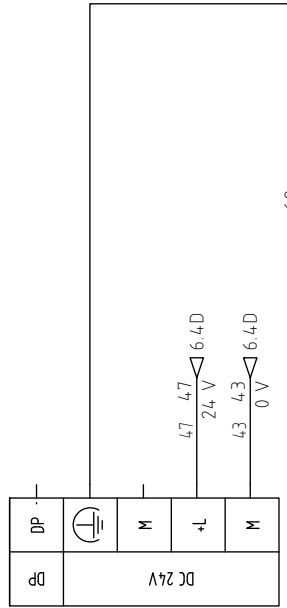
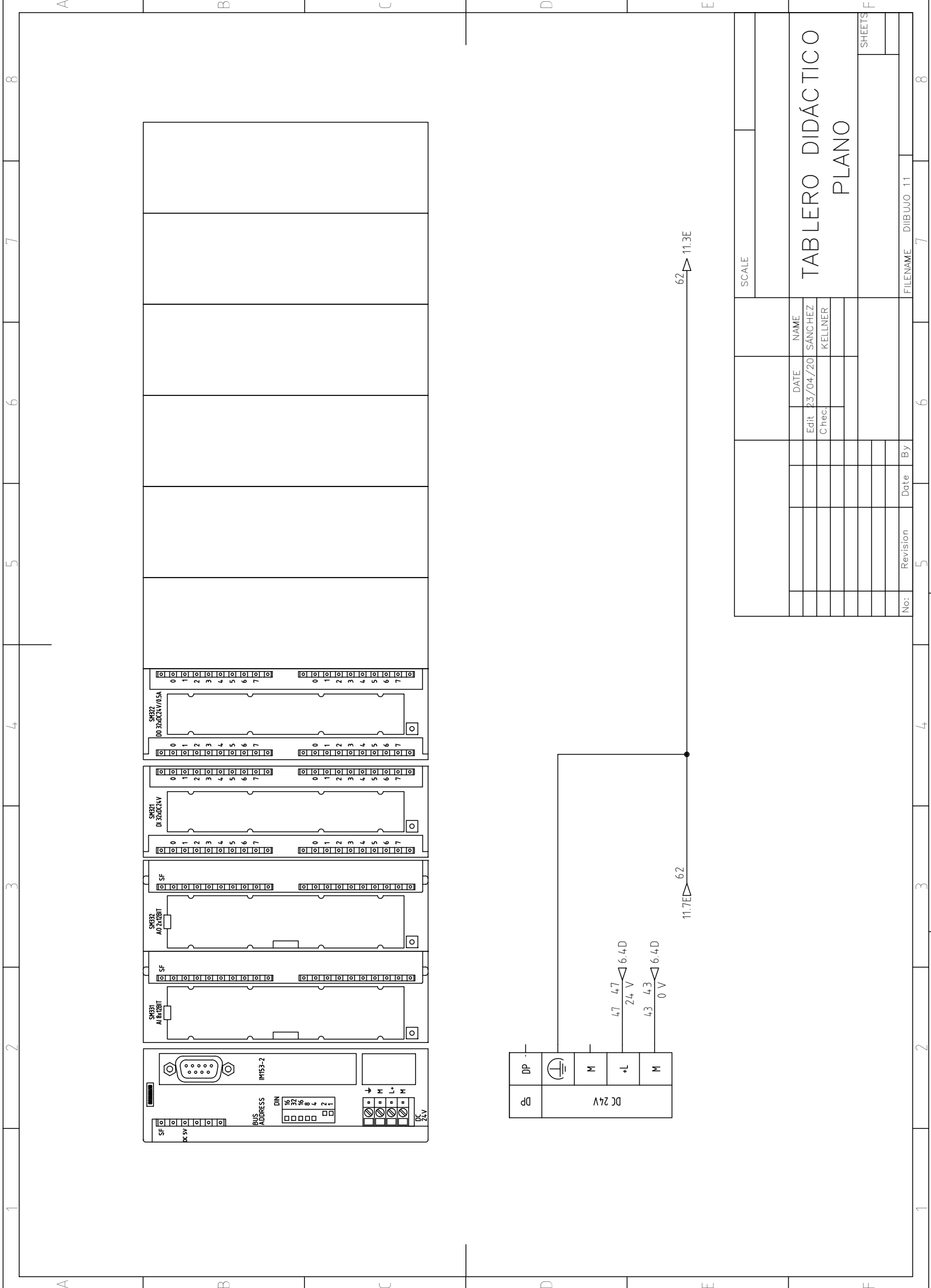
SCALE

TABLERO DIDÁCTICO PLANO

DATE	NAME
03/04/20	SANCHEZ
	KELLNER

No:	Revision	Date	By

FILENAME: DIBUJO_10
 SHEETS: 8

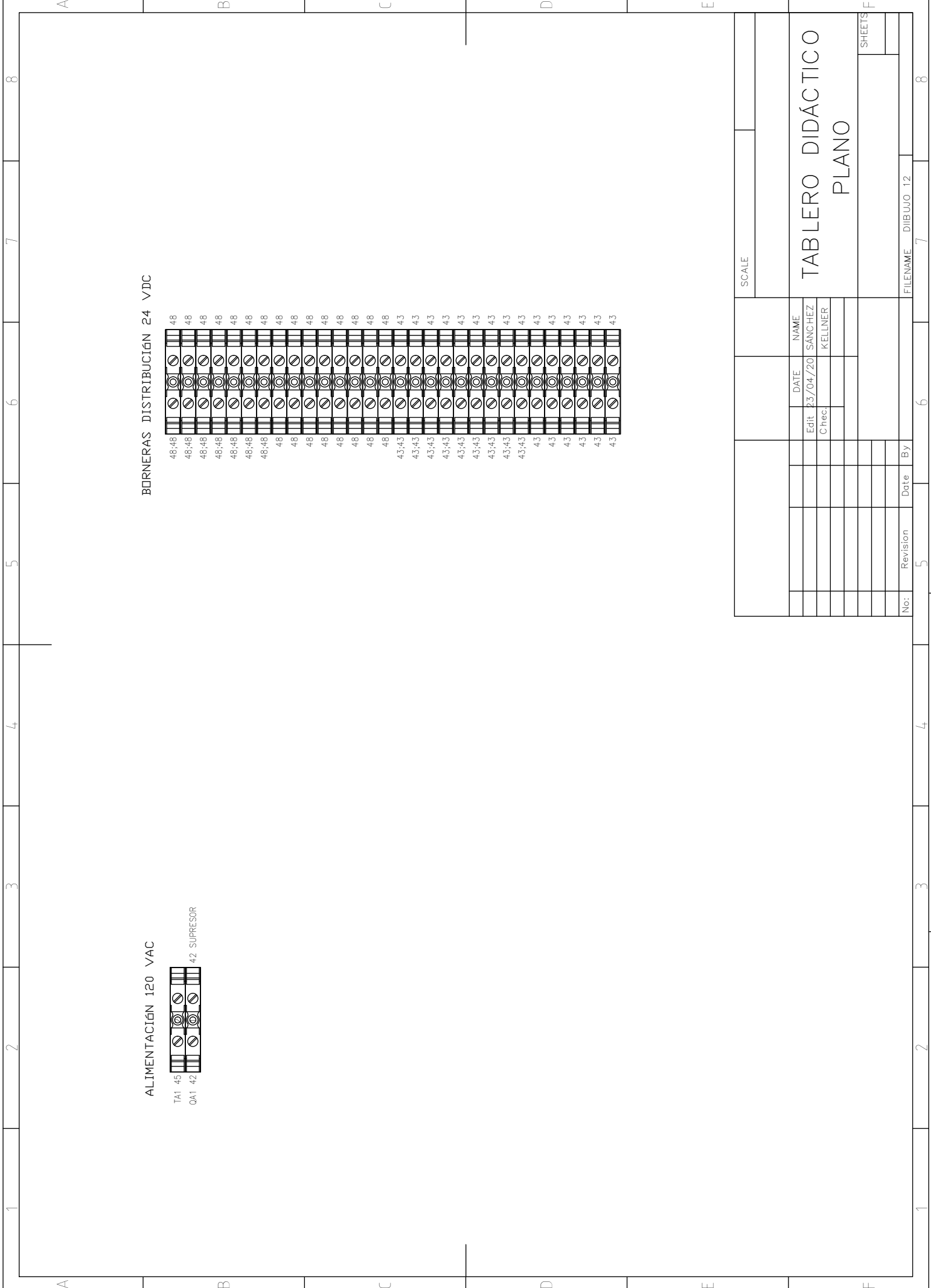


SCALE

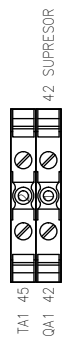
TABLERO DIDÁCTICO PLANO

SHEETS

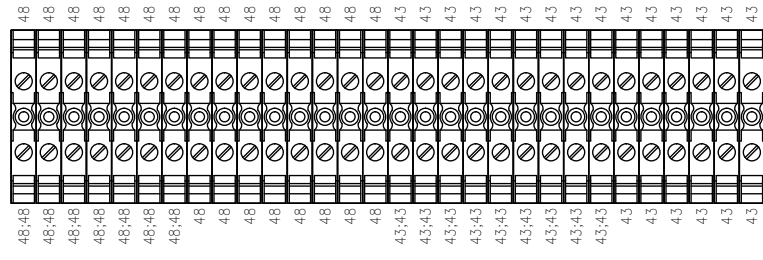
No:	Revision	Date	By
	5		
FILENAME DIBUJO_11			
6			
7			
8			



ALIMENTACIÓN 120 VAC



BORNERAS DISTRIBUCIÓN 24 VDC

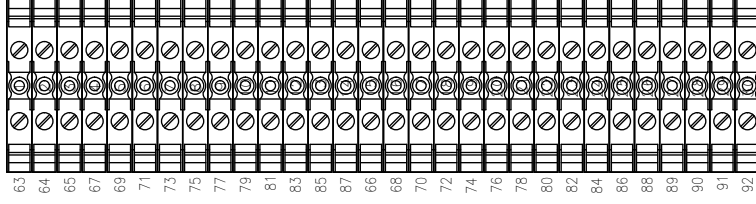


SCALE			
DATE		NAME	
Edit	23/04/20	SANCHEZ	
C hec.		KELLNER	
No:		Revision	
Date		By	
FILENAME		DIBUJO	
12		7	
8		8	

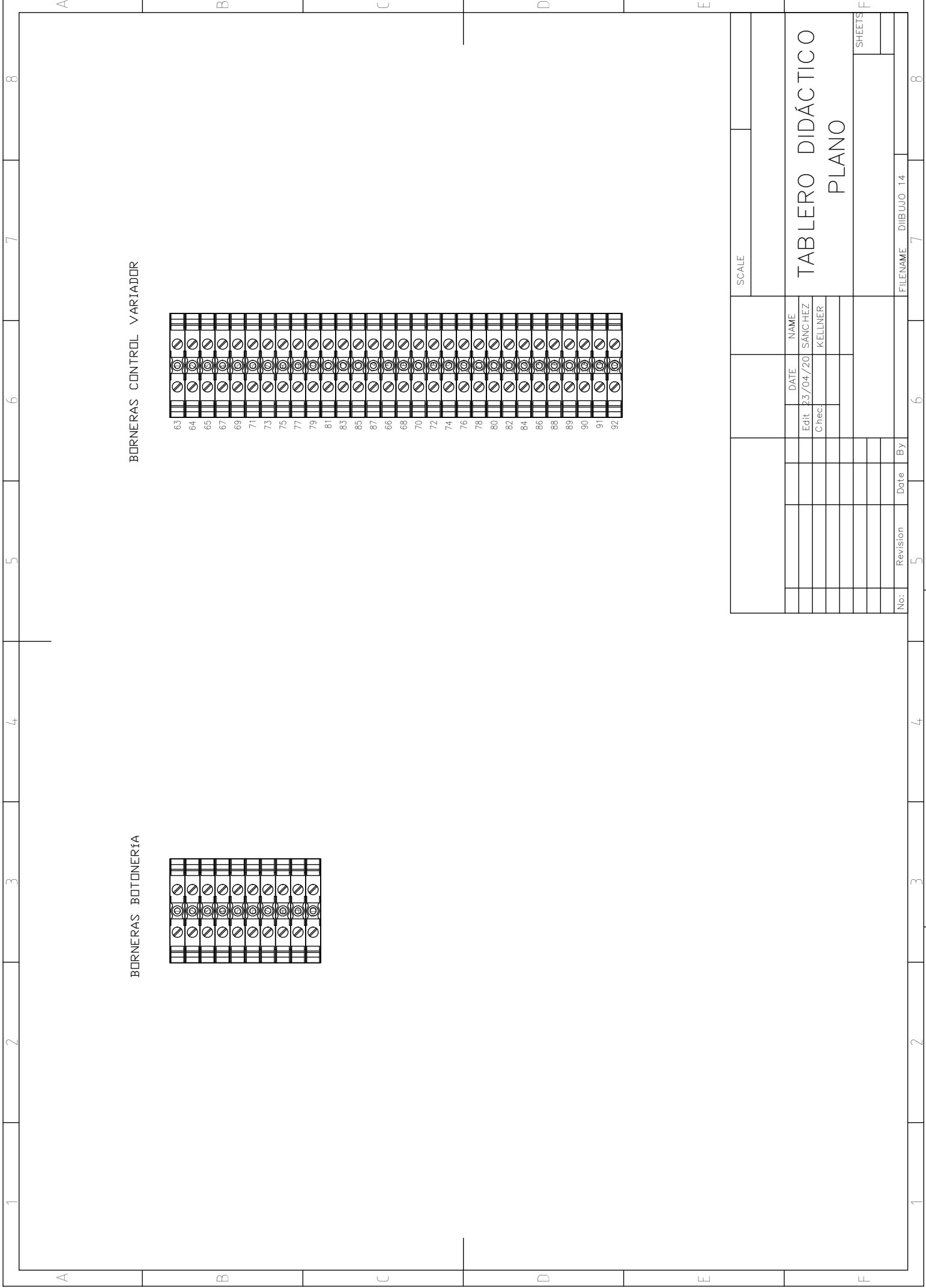
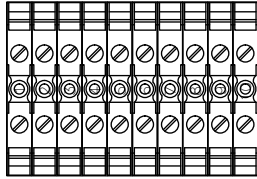
TABLERO DIDÁCTICO
PLANO

SHEETS

BORNERAS CONTROL VARIADOR



BORNERAS BOTONERÍA



SCALE			
DATE		NAME	
Edit: 23/04/20	SANCHEZ		
C hec:	KELLNER		
No:		Revision	Date
By			
FILENAME		DIBUJO	
14		7	
6		8	
SHEETS			
TABLERO DIDÁCTICO		PLANO	

