



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Título:

**“MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE CORTE DE PIEDRAS DE MÁRMOL
MEDIANTE EL DISEÑO DE UN CONTROL PID PARA LA FÁBRICA MÁRMOLES
DEL ECUADOR”**

AUTORES:

**XIMENA ALEXANDRA PARRA ROMERO
JONATHAN WILLIAM PIONCE MENDOZA**

TUTOR:

ING. VICENTE PEÑARANDA

FEBRERO 2020

GUAYAQUIL- ECUADOR

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN.**

Nosotros, XIMENA ALEXANDRA PARRA ROMERO Y JONATHAN WILLIAM PIONCE MENDOZA autorizamos a la **Universidad Politécnica Salesiana** la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.



Ximena Alexandra Parra Romero

Cédula: 0603983719



Jonathan William Pionce Mendoza

Cédula: 0929541852

CERTIFICADOS DE AUTORÍA

Además, declaramos que los conceptos y análisis desarrollados y conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores.



Ximena Alexandra Parra Romero

Cédula: 0603983719



Jonathan William Pionce Mendoza

Cédula: 0929541852

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS

Nosotros, **XIMENA ALEJANDRA PARRA ROMERO**, con documento de identificación N° **0603983719** y **JONATHAN WILLIAM PIONCE MENDOZA** con documento de identificación N° **0929541852**, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de grado titulado: **“MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE CORTE DE PIEDRAS DE MÁRMOL MEDIANTE EL DISEÑO DE UN CONTROL PID PARA LA FÁBRICA MÁRMOLES DEL ECUADOR”** mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de **INGENIERO ELECTRÓNICO**, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos antes cedidos.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscrito este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Ximena Alexandra Parra Romero

Cédula: 0603983719



Jonathan William Pionce Mendoza

Cédula: 0929541852

**CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN SUSCRITO
POR EL TUTOR.**

Yo, **ING. VICENTE PEÑARANDA**, Director del proyecto de titulación denominado: **“MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE CORTE DE PIEDRAS DE MÁRMOL MEDIANTE EL DISEÑO DE UN CONTROL PID PARA LA FÁBRICA MÁRMOLES DEL ECUADOR”** realizado por los estudiantes **XIMENA ALEXANDRA PARRA ROMERO** y **JONATHAN WILLIAM PIONCE MENDOZA**, certifico que han sido orientado y revisado durante su desarrollo, por cuanto se aprueba la presentación del mismo ante las autoridades pertinentes.

Guayaquil, Febrero del 2020



Ing. Vicente Peñaranda.

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a las personas que hicieron posible llegar a esta meta en mi vida:

El Sr. Estuardo Romero Brito, que levantó con su esfuerzo, honestidad, trabajo duro y humildad la empresa Mármoles del Ecuador junto a su hermana Ximena Romero Brito, se convirtieron en un digno ejemplo de valores y trabajo que hoy se ve reflejado en su legado de vida y trabajo. Aunque partiste poco antes de poder ver este trabajo, espero desde el cielo te sientas feliz y complacido amado tío.

A mis padres y hermanos, que siempre han sido mi apoyo, me han dado comprensión y me han enseñado valores, en especial Nelly Romero Brito que creíste siempre en tu pequeña y en sus sueños, gracias mamá.

A mi amado esposo Lucas Rodríguez, que no me permitiste rendirme pese a las dificultades, fuiste, eres y serás la fuerza que me empuja a seguir, el apoyo que saca lo mejor de mí y que refleja su amor en acciones, te admiro mucho.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ximena Parra Romero', with several overlapping loops and a long horizontal stroke extending to the right.

Ximena Alexandra Parra Romero

DEDICATORIA

Este libro es dedicado al máximo creador Dios, quien me ha dado la fuerza y perseverancia para que este sueño sea alcanzado, por el gran amor y misericordia que tiene hacia mí.

También es dedicado a mis padres Kleber William Pionce Riccio y Martha Esther Mendoza Carrillo quienes son merecedores por este gran triunfo, por su paciencia y bondad, por ser los pilares fundamentales para ayudarme a crecer en el ámbito personal y profesional.



Jonathan William Pionce Mendoza

AGRADECIMIENTO

A Dios:

Agradezco a Dios y a la Virgen María, Dios me puso en la tierra en medio de tan maravillosas personas, gracias por cuidar de mis pasos y por jamás soltar mi mano aunque fallo constantemente, gracias por prestarme a tu María Santísima para que me protegiera siempre he intercediera por mí ante tu presencia, he podido ver y sentir en el pasar de mi vida su presencia y cuidados constantes, gracias por permitirme llegar hasta aquí.

Ing. Vicente Peñaranda

Sincero agradecimiento a quien ha sido un excelente profesor y un ser humano excepcional, por el apoyo brindado, la guía, consejos y preocupación que van más allá de un trabajo, fueron de un buen amigo y profesional.



Ximena Alexandra Parra Romero

AGRADECIMIENTO

A Dios:

Por la vida y por su bondad, por sus fuerzas brindadas para llegar a la meta anhelada.

A mis padres:

Por el apoyo incondicional, por esos momentos de desveladas juntos, por ser ejemplos a seguir.

A mi Hermano:

Frank Pionce por su ayuda moral, económica y sus consejos.

A mi esposa:

Ginnette Muentes quien me alentaba día a día.

Ing. Vicente Peñaranda

Agradecimiento sincero a mi tutor por su profesionalismo, rigor académico, por su predisposición y disponibilidad absoluta.



Jonathan William Pionce Mendoza

RESUMEN

AÑO	ALUMNOS	DIRECTOR DE PROYECTO	TEMA DE PROYECTO DE TITULACIÓN
2020	XIMENA ALEXANDRA PARRA ROMERO JONATHAN WILLIAM PIONCE MENDOZA	MSC. VICENTE PEÑARANDA	“MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE CORTE DE PIEDRAS DE MÁRMOL MEDIANTE EL DISEÑO DE UN CONTROL PID PARA LA FÁBRICA MÁRMOLES DEL ECUADOR”

El presente proyecto “MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE CORTE DE PIEDRAS DE MÁRMOL MEDIANTE EL DISEÑO DE UN CONTROL PID PARA LA FÁBRICA MÁRMOLES DEL ECUADOR”, tiene como propósito el control y supervisión del sistema de corte de piedra de mármol.

Con la implementación de este proyecto se pretende alargar el tiempo de vida útil del motor, mejorar las condiciones de trabajo de los operadores y brindar seguridad tanto para la empresa como para los trabajadores; además a través del sistema de visualización se puede tener un mayor control sobre los parámetros críticos del proceso mostrando curvas que nos permitan realizar análisis futuros.

Palabras claves: PID, supervisión, visualización, mármol.

ABSTRACT

YEAR	STUDENTS	PRJ. DIRECTOR	SUBJECT
2020	XIMENA ALEXANDRA PARRA ROMERO JONATHAN WILLIAM PIONCE MENDOZA	MSC. VICENTE PEÑARANDA	“MODERNIZATION OF THE MARBLE STONE CUTTING SYSTEM THROUGH THE DESIGN OF A PID CONTROL FOR THE MARBLE FACTORY OF ECUADOR”

The present project “MODERNIZATION OF THE MARBLE STONE CUTTING SYSTEM THROUGH THE DESIGN OF A PID CONTROL FOR THE MARBLE FACTORY OF ECUADOR”, has like purpose the control and supervision of the marble stone cutting system.

The implementation of this project is intended to extend the life of the engine, improve the working conditions of the operators and provide security for both the company and the workers; In addition, through the visualization system you can have greater control over the critical parameters of the process by showing curves that allow us to perform future analyzes.

Keywords: PID, supervision, display, visualization, marble

ÍNDICE

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.	I
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN SUSCRITO POR EL TUTOR.	IV
DEDICATORIA	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO	VII
AGRADECIMIENTO	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
ÍNDICE.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE ANEXOS	XV
INTRODUCCIÓN.....	1
1. EL PROBLEMA.....	2
1.1. Planteamiento del Problema.....	2
1.2. Importancia y Alcance	4
1.3. Delimitación	4
1.3.1. Temporal	4
1.3.2. Espacial.....	4
1.3.3. Académica	4
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo General	5
1.4.2. Objetivos Específicos.....	5
2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Automatización Industrial	6
2.2. Pirámide de la Automatización	7
2.3. Controlador Lógico Programable (PLC)	8
2.3.1. Introducción	8
2.3.2. Clasificación.....	9
2.4. Sistema SCADA	12
2.5. Variador de Frecuencia	12
2.5.1. Introducción	12
2.5.2. Tipos de Variadores.....	13
2.6. Controlador Proporcional Integral Derivativo (PID).....	15
2.7. Reglas de Ziegler-Nichols para sintonizar controladores PID.....	17

3.	MARCO METODOLÓGICO.....	22
3.1.	Metodología de la Investigación	22
3.2.	Técnicas de Investigación.....	22
3.3.	Procedimiento del proyecto.....	23
3.3.1.	Levantamiento de Información	23
3.3.2.	Equipos y Diseño	25
	Cálculo de la potencia del Motor Eléctrico que mueve la Plataforma	25
	Cálculo del Diámetro del Piñón	27
	Cálculo de los elementos para el Tablero de Fuerza.	28
	Planos de Fuerza y Control.	30
3.3.3.	Identificación del Sistema	30
3.3.4.	Cálculo de Variables para PID.....	34
3.3.5.	Programación del PLC S7-1200.....	36
3.3.6.	Programación HMI	38
4.	RESULTADOS.....	43
4.1.	Montaje de Componentes en los tableros.....	43
4.1.1.	Tablero de Control y fuerza del motor de desplazamiento	43
4.1.2.	Tablero de Fuerza del motor de Corte	44
4.2.	Montaje de los Tableros de Fuerza y Control.....	45
4.3.	Implementación de Capa de Hormigón Armado para piso.....	46
4.4.	Reposición de Paredes	47
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	49
5.1.	Análisis del Proyecto	49
5.2.	Comunicación entre Dispositivos	49
5.3.	Elaboración del Manual de Operación	49
5.4.	Pruebas realizadas.....	50
6.	CONCLUSIONES	52
7.	RECOMENDACIONES	54
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
9.	ANEXOS.....	56
1.	OBJETIVO	84
2.	DESCRIPCION DEL SISTEMA	84
3.	FUNCIONAMIENTO	84
3.1.	Pantallas del HMI.....	84
3.2.	Descripción de operación del sistema de corte.....	88
3.3.	Paro de emergencia.	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Motor de 50 HP	2
Figura 2. Sierra de corte y carro transportador	3
Figura 3. Automatización Industrial. (Siemens, 2013)	7
Figura 4. Pirámide de Automatización. (CCI, 2017)	7
Figura 5. Estructura de un PLC. (Márquez, 2013)	8
Figura 6. Esquema de un PLC Modular. (Mandado Pérez, Marcos Acevedo, Fernández Silva, & Armesto Quiroga,2009).....	10
Figura 7. PLC Semi-modular. (Mandado Pérez, Marcos Acevedo, Fernández Silva, & Armesto Quiroga,2009).....	10
Figura 8. PLC Compacto. (Mandado Pérez, Marcos Acevedo, Fernández Silva, & Armesto Quiroga,2009)	11
Figura 9. Simbología de un Rectificador Controlado. (Mansilla, 2011).....	13
Figura 10. Simbología de un Convertidor de Frecuencia. (Mansilla, 2011).....	14
Figura 11. Simbología de un Variador de Tensión. (Mansilla, 2011).....	15
Figura 12. Diagrama de bloques de un lazo de realimentación simple. (Åström & Hägglund, 2009).....	15
Figura 13. Respuesta a un escalón unitario de una planta. (Ogata, 2010)	17
Figura 14. Curva de Respuesta en forma de S. (Ogata, 2010)	18
Figura 15. Regla de sintonía de Ziegler-Nichols basada en la respuesta escalón de la planta. (Ogata, 2010).....	19
Figura 16. Sistema en lazo cerrado con un controlador proporcional. (Ogata, 2010)	20
Figura 17. Oscilación sostenida con periodo P_{cr} . (Ogata, 2010).....	20
Figura 18. Regla de Sintonía de Ziegler-Nichols basada en la ganancia crítica K_{cr} y periodo crítico P_{cr} . (Ogata, 2010).....	20
Figura 19. Tablero de Fuerza de la línea de corte.	23
Figura 20. Acometida al motor y señales de control.....	24
Figura 21. Mecanismo de desplazamiento de plataforma	24
Figura 22. Vista general de la línea de corte de piedra mármol.....	25
Figura 23. Manual de referencias de Contactores. (Siemens, 2019).....	29
Figura 24. Manual de referencias de Breaker. (Siemens, 2019)	29
Figura 25. Manual de referencias de Relé Térmico. (Siemens, 2019).....	30
Figura 26. Adquisición de datos del sistema.....	31
Figura 27. Pantalla de Herramienta de Identificación del Sistema	32
Figura 28. Pantalla de Función de Transferencia	32
Figura 29. Pantalla de Función de Transferencia.....	33
Figura 30. Gráfica Real y Estimada	33
Figura 31. Función de Transferencia	34
Figura 32. Función escalón	35
Figura 33. Respuesta a función escalón	35
Figura 34. Valores de PID.....	36
Figura 35. Detalle de Entradas/Salidas PLC S7-1200	37
Figura 36. Topología de Red.....	38
Figura 37. Pantalla Principal HMI	39
Figura 38. Pantalla Tema	39

Figura 39. Pantalla Proceso.....	40
Figura 40. Pantalla Parámetros de operación de corte	40
Figura 41. Pantalla Estado del Sistema	41
Figura 42. Pantalla de Tendencias	41
Figura 43. Pantalla de Eventos & Alarmas	42
Figura 44. Tablero de Control y sus elementos.....	44
Figura 45. Tablero de Fuerza	45
Figura 46. Montaje de Tablero de Fuerza y de Control	46
Figura 47. Piso del área de corte de piedra de mármol	46
Figura 48. Piso cubierto de hormigón armado	47
Figura 49. Paredes en mal estado en el área de corte de piedra mármol.....	47
Figura 50. Reposición de paredes en área de corte de piedra mármol	48
Figura 51. Estado de la pantalla Proceso.	50
Figura 52. Falla en Térmicos.	50
Figura 53. Pantalla de Alarma y Eventos.....	51
Figura 54. Pantalla de Tendencias.	51

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Planos Eléctricos.....	56
Anexo 2: Programación PLC S7-1200.....	69
Anexo 3: Manual de Operación del sistema.....	82

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto tiene como objetivo principal modernizar el proceso de corte de piedras de mármol usando un controlador PID y un HMI para controlar la velocidad de corte y monitorear el sistema. En la actualidad el control PID es uno de los más utilizados porque nos permite vigilar los procesos a través de la obtención de datos en tiempo real.

Este trabajo consta de cinco capítulos que se detallan a continuación:

En el primer capítulo se encuentra el planteamiento del problema, su importancia, alcance, delimitación y objetivos tanto general como específico.

En el segundo capítulo se detalla el marco teórico que nos ayudó a fortalecer nuestra investigación, se parte desde conceptos básicos de automatización, PLC, HMI, hasta llegar a conceptos más complejos como controladores PID y sintonización de sistemas.

En el tercer capítulo se menciona los métodos y técnicas de investigación, así como el proceso que se llevó a cabo para la ejecución del proyecto; se empieza desde el levantamiento de la información, programación de PLC y HMI hasta la obtención del modelo matemático con su respectivo controlador PID.

El cuarto capítulo es una descripción de la implementación y adecuaciones que se realizaron en el área de corte de piedra de mármol.

Finalmente, se hace un análisis de los resultados obtenidos, brindando las respectivas conclusiones y recomendaciones del proyecto ejecutado.

1. EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

La empresa MÁRMOLES DEL ECUADOR, actualmente posee 5 líneas de producción, encargadas de procesar piedras de mármol para convertirlas en planchas, aptas para el uso en construcción.

Cada estación o línea de trabajo cuenta con un motor eléctrico de 50 HP que es acoplado a una sierra cortadora (*Figura 1*); también tiene una bomba de agua que es encendida y apagada manualmente. El agua provista por esta bomba es utilizada durante el proceso de corte.



Figura 1. Motor de 50 HP

La materia prima o piedra de mármol tiene un peso variable entre **1000 a 4000 libras**, siendo de distinta dureza y tamaño, esta piedra es colocada manualmente en un “carro” o plataforma transportadora, que lleva a la piedra hasta la sierra cortadora. El carro es manejado manualmente por un operador, quien a través de un pequeño volante controla la velocidad de avance del carro, de manera manual a través de un mecanismo de cadenas y catalinas. (*Figura 2*).

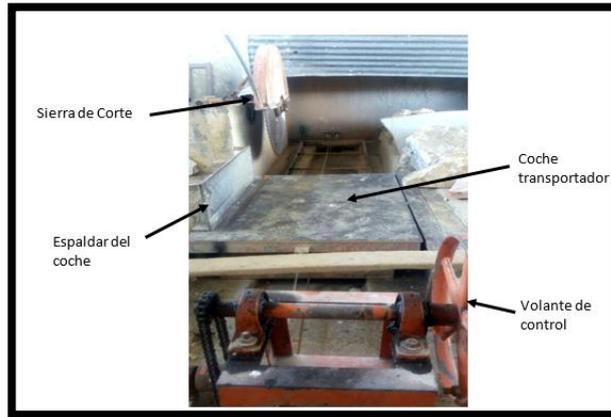


Figura 2. Sierra de corte y carro transportador

El operador maneja esto de manera empírica, y sin un control o visualización del amperaje que consume el motor durante el trabajo. Al existir piedras más duras que otras, presentan mayor resistencia al proceso de corte, por lo tanto, el motor no puede ser manejado con la misma velocidad o sin un control específico.

Al cortar las piedras a la misma velocidad, el motor eléctrico es forzado a trabajar sobre su corriente nominal, originando un daño parcial o permanente al motor.

Este problema actualmente representa para la empresa pérdidas económicas, por las siguientes razones: acorta la vida útil del motor eléctrico y ocasiona pérdida en la producción por falla del motor.

A todo lo expuesto se suma el peligro latente que representan las malas condiciones del tablero de fuerza, así como las conexiones del motor, que pueden por su instalación actual, causar un corto o un incendio a corto plazo.

1.2. Importancia y Alcance

Con el estudio realizado en la planta de producción “MÁRMOLES DEL ECUADOR” se obtuvo mejoras en el proceso de cortes de piedras y así se redujo el problema de desgastes en los motores.

Dicho proyecto está orientado a mejorar el proceso de corte, por ejemplo, indicar o parar el proceso cuando se detecte una corriente superior a la corriente nominal indicada en la placa del motor.

Este proyecto está diseñado para alargar la vida útil del motor y dar seguridad al operador en su proceso

1.3. Delimitación

1.3.1. Temporal

La implementación y pruebas del proyecto fueron realizadas en el período 2018-2019.

1.3.2. Espacial

El proyecto fue desarrollado en el cantón Yaguachi en el barrio de los Humildes, fábrica “MÁRMOLES DEL ECUADOR” y fue financiado en un 35%.

1.3.3. Académica

En este proyecto se plasmaron los conocimientos adquiridos durante todo el proceso de formación como Ingeniero Electrónico con Mención en Sistemas Industriales, además de las investigaciones pertinentes para la planta en particular.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Modernizar el proceso de corte de piedras de mármol usando un controlador PID y un HMI para controlar la velocidad de corte y monitorear el sistema.

1.4.2. Objetivos Específicos

Levantar el procedimiento actual de trabajo.

Rediseñar el sistema de control y fuerza para el proceso de corte de mármol y dimensionar el tablero metálico.

Parametrizar el controlador PID usando el método de lazo cerrado y realizar el ajuste respectivo hasta alcanzar la operación óptima del sistema.

Determinar el modelo matemático de la planta usando la herramienta de identificación de sistemas.

Llevar a cabo la ejecución del proyecto en la fábrica Mármol del Ecuador.

Controlar el encendido y apagado de la bomba de agua de forma automática.

Implementar el apagado del motor eléctrico de manera automática cuando el proceso de corte termine.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Automatización Industrial

Desde hace mucho tiempo la automatización industrial forma parte de nuestras vidas cotidianas, se la puede observar en varios sectores como, por ejemplo: farmacéuticos, químicos, automotrices, petroleros, alimenticios, entre otros; en cada uno de estos sectores facilita y disminuye la presencia del ser humano.

La Automatización Industrial es el estudio, implementación y puesta en marcha de diferentes tecnologías para controlar y monitorear un proceso, máquina, o dispositivo que por lo normal cumple funciones o tareas repetitivas, haciendo que opere automáticamente, reduciendo al mínimo la intervención humana.

Lo que se busca con la Automatización industrial es generar la mayor cantidad de producto en el menor tiempo posible, con el fin de reducir los costos y garantizar una uniformidad en la calidad. (Crespo, Automatización Industrial, 2011, p. 1)

Para automatizar un sistema se utiliza una serie de dispositivos tales como: Controladores Lógicos programables, sensores, actuadores, indicadores y muchos más dependiendo el tipo de sector con el que se esté trabajando.

En la **Figura 3** se puede observar que un sistema automatizado se puede controlar y monitorear con algunos elementos desde cualquier parte del mundo.

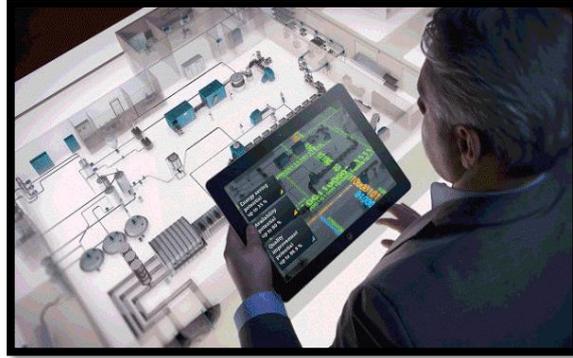


Figura 3. Automatización Industrial. (Siemens, 2013)

2.2. Pirámide de la Automatización

La pirámide de automatización es la integración de tecnologías como mecánica, electrónica, informática, telecomunicaciones, electricidad, entre otros. Tiene varios niveles que se relacionan entre sí por medio de los diferentes estándares de comunicaciones industriales.

En la **Figura 4** se puede visualizar una pirámide de automatización con sus diferentes niveles. En cada nivel se indican los elementos que forman parte del mismo.

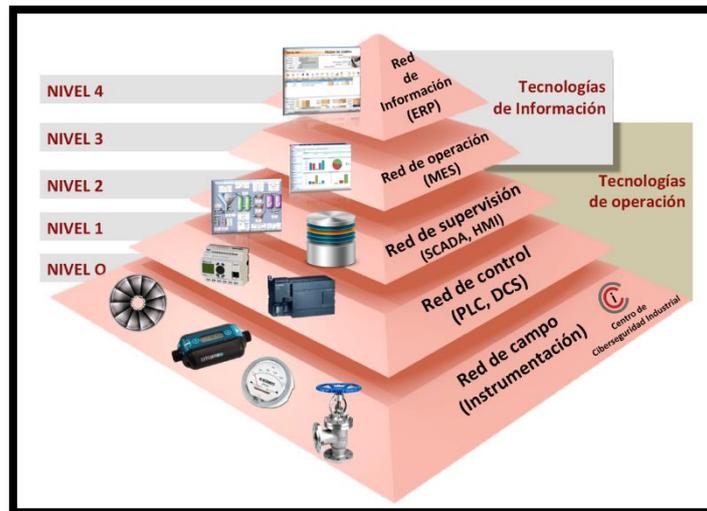


Figura 4. Pirámide de Automatización. (CCI, 2017)

2.3. Controlador Lógico Programable (PLC)

2.3.1. Introducción

En la actualidad los PLC (Controladores Lógicos Programables) tienen un campo de aplicación muy amplio ya que se utilizan en diversas industrias, realizan tareas de forma más rápida y evitan que el ser humano sea expuesto a trabajos de alto riesgo, disminuyen costos de operación

Consiste en un dispositivo que está compuesto por una CPU, interfaces de entradas y salidas, fuente de alimentación y memoria; capaz de realizar tareas que son programadas por el hombre.

En la *Figura 5* se observa la estructura de un PLC.

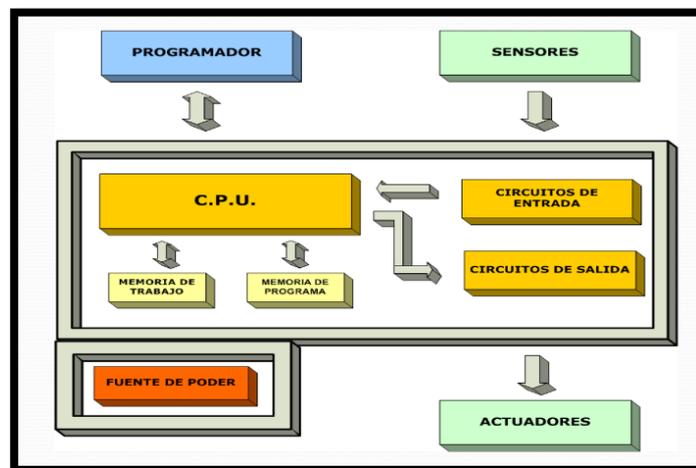


Figura 5. Estructura de un PLC. (Márquez, 2013)

2.3.2. Clasificación

Existen diversas formas de clasificar un PLC tales como: función, modularidad, aspecto físico, entre otros.

Para el presente trabajo nos estamos enfocando en la clasificación que hace referencia a la capacidad que tiene el dispositivo para ampliar sus prestaciones, de tal manera que se puedan añadir elementos y no se tenga que realizar modificaciones.

De acuerdo con la modularidad de entrada y salida, los PLC se pueden clasificar en tres grandes tipos:

- ✓ Autómatas programables totalmente modulares.
- ✓ Autómatas programables semi-modulares.
- ✓ Autómatas programables compactos o no modulares.

Autómatas programables totalmente modulares

Son totalmente modulares o simplemente modulares los autómatas programables, cuya unidad central carece de variables de entrada y/o salida. Para realizar una determinada aplicación se utiliza la unidad central y un número adecuado de módulos de entrada y/o salida. El número de variables de entrada y/o salida de cada módulo depende del fabricante y son típicos 4,8 y 16. (Mandado Pérez, Marcos Acevedo, Fernández Silva, & Armesto Quiroga, Autómatas Programables y Sistemas de Automatización, 2009, p. 86).

En la **Figura 6** se puede apreciar el esquema de un PLC modular.

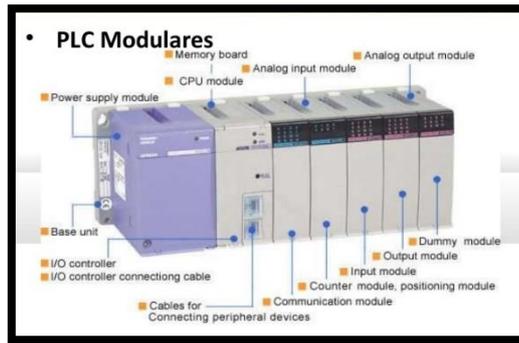


Figura 6. Esquema de un PLC Modular. (Mandado Pérez, Marcos Acevedo, Fernández Silva, & Armesto Quiroga,2009)

Autómatas programables semi-modulares

Algunos fabricantes de autómatas programables tienen en cuenta que no existe ninguna aplicación de un autómata programable en la que no se utilicen variables de entrada y de salida y dotan a la unidad central de un cierto número de ellas, especialmente de las digitales, al mismo tiempo que prevén la posibilidad de ampliar dicho número mediante el acoplamiento de módulos. (Mandado Pérez, Marcos Acevedo, Fernández Silva, & Armesto Quiroga, Autómatas Programables y Sistemas de Automatización, 2009, p. 88).

En la **Figura 7** se observa un PLC semi-modular.



Figura 7. PLC Semi-modular. (Mandado Pérez, Marcos Acevedo, Fernández Silva, & Armesto Quiroga,2009)

Autómatas programables compactos o no modulares

El aumento de la capacidad de integración ha permitido a algunos fabricantes introducir en un único circuito integrado, que contiene un microcontrolador diseñado a medida, todos los elementos de un autómata programable, incluido un controlador de una pantalla visualizadora (Display). Si dicho circuito integrado se coloca en un bastidor con un módulo de entrada/salida de una determinada capacidad no ampliable se tiene un autómata programable compacto o no modular en el que se disminuye al máximo el coste del sistema físico a expensas de limitar su campo de aplicación. (Mandado Pérez, Marcos Acevedo, Fernández Silva, & Armesto Quiroga, Autómatas Programables y Sistemas de Automatización, 2009, p. 89)

En la **Figura 8** se observa la estructura de un PLC compacto.

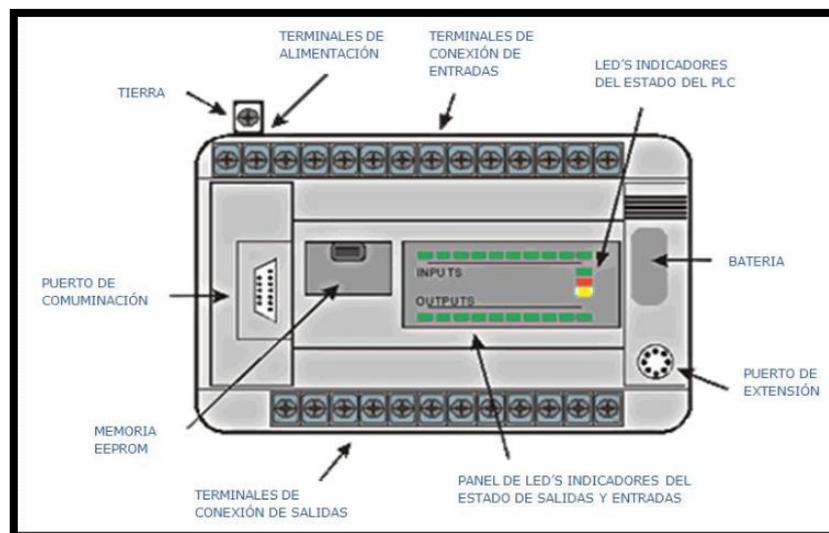


Figura 8. PLC Compacto. (Mandado Pérez, Marcos Acevedo, Fernández Silva, & Armesto Quiroga, 2009)

2.4. Sistema SCADA

Se conoce como Sistema SCADA al software que permite el control y acceso de datos remotos de un determinado proceso, utilizando distintas herramientas de comunicación que dependen de la aplicación con la cual se esté trabajando.

La distribución física de un sistema SCADA depende del proceso que se quiera automatizar. Algunos sistemas necesitarán equipos redundantes, otros trabajarán en configuraciones de anillo y otros en configuraciones de bus.

En un programa SCADA tendremos dos bloques bien diferenciados: el programa de Desarrollo y el programa de ejecución o Run-Time.

- ✓ El programa de Desarrollo engloba las utilidades relacionadas con la creación y edición de las diferentes ventanas de la aplicación, así como sus características (textos, dibujos, colores, propiedades de los objetos, programas, etc.).
- ✓ El programa Run-Time permite ejecutar la aplicación creada con el programa de desarrollo (en Industria se entrega, como producto acabado, el Run-time y la aplicación). (Rodríguez Penin, 2012, p. 44)

2.5. Variador de Frecuencia

2.5.1. Introducción

En la actualidad son muchas las industrias que utilizan variadores de frecuencia para diferentes aplicaciones, puesto que nos permite trabajar a velocidades variables sin interferir de manera considerable en la eficiencia del motor.

También se los conoce con el nombre de variadores de velocidad.

Un convertidor de frecuencia es un aparato destinado a modificar la frecuencia y, por tanto, la velocidad, de un motor de inducción asíncrono; es decir, que genera una corriente alterna con la frecuencia y la tensión necesaria para accionar dicho motor de corriente alterna.

El convertidor de frecuencia permite modificar el valor de frecuencia para hacer que el motor gire a más o menos velocidad, independientemente de la frecuencia de que disponga la red de alimentación. (Alvarez Pulido, 2000, pp. 1,2)

2.5.2. Tipos de Variadores

Los principales tipos de variadores de velocidad son los siguientes:

De rectificador controlado

Con una alimentación alterna monofásica o trifásica, modifican el ángulo de retardo de la tensión en el cableado de los semiconductores de potencia. Este tipo de variador se utiliza sobre todo para los motores de corriente continua de excitación separada. (Mansilla, Variadores de Velocidad y arrancadores electrónicos, 2011, p. 5)

En la **Figura 9** se puede visualizar la simbología de un rectificador controlado.

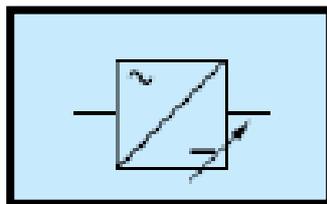


Figura 9. Simbología de un Rectificador Controlado. (Mansilla, 2011)

Convertidor de Frecuencia

Como señaló Mansilla (2011) “A partir de una tensión alterna varía la frecuencia, ya que la velocidad y la frecuencia son directamente proporcionales. Es el más usado como variador de velocidad para motores de jaula asíncronos” (p. 5).

En la **Figura 10** se puede observar la simbología de un convertidor de frecuencia.

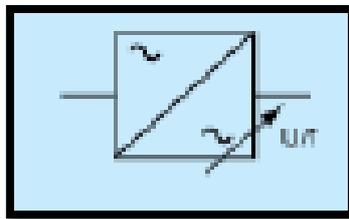


Figura 10. Simbología de un Convertidor de Frecuencia. (Mansilla, 2011)

Variador de Tensión

Controlan el valor eficaz de la tensión. La forma de trabajo es parecida a los de rectificador controlado, pero estos se usan normalmente como arrancadores progresivos para motores de jaula asíncronos que no requieran un par de arranque elevado y en motores asíncronos de resistencias rotóricas o de anillos.

Es el más usado como variador de velocidad para motores de jaula asíncronos.
(Mansilla, Variadores de Velocidad y arrancadores electrónicos, 2011, p. 5)

En la **Figura 11** se observa la simbología de un variador de tensión.

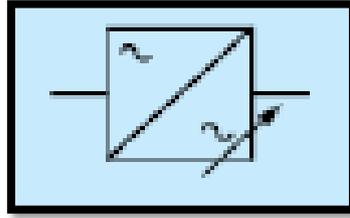


Figura 11. Simbología de un Variador de Tensión. (Mansilla, 2011)

2.6. Controlador Proporcional Integral Derivativo (PID)

Es uno de los más utilizados cuando se quiere resolver un problema de control, está compuesto de una acción proporcional, una integral y una derivativa, por lo que es capaz de suprimir errores en estado estacionario y también puede predecir el comportamiento futuro de un sistema.

En la **Figura 12** se visualiza el diagrama de bloques de un proceso con un controlador PID, se observa que hay una realimentación de la salida con respecto a la entrada.

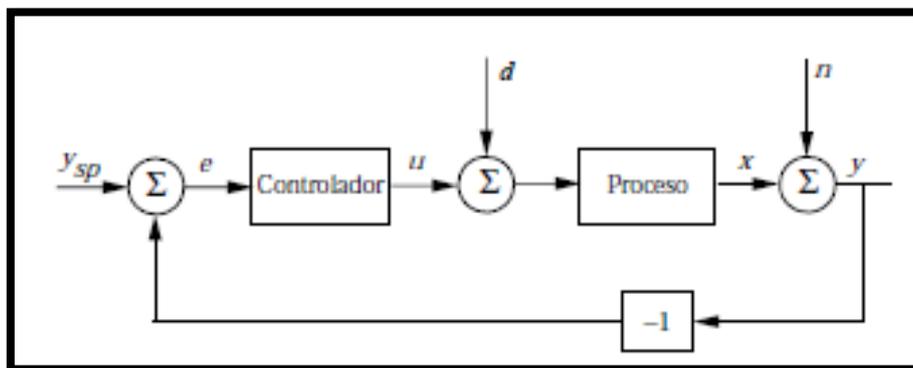


Figura 12. Diagrama de bloques de un lazo de realimentación simple. (Åström & Hägglund, 2009)

Un controlador PID se puede describir como:

$$u(t) = K \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

donde u es la señal de control, d es una perturbación de carga, n es el ruido de medida y e es el error de control ($e = y_{sp} - y$). La señal de control es así una suma de tres términos: el término-P (que es proporcional al error), el término -I (que es proporcional a la integral del error), y el término-D (que es proporcional a la derivada del error). Los parámetros del controlador son la ganancia proporcional K , el tiempo integral T_i , y el tiempo derivativo T_d .

Acción Proporcional

Dada por la ecuación:

$$u(t) = Ke(t) + u_b$$

La acción de control es proporcional al error de control. La variable u_b es una polarización o un reset. Cuando el error de control e es cero, la señal de control toma el valor $u(t)=u_b$. La polarización u_b a menudo se fija a $(u_{m\acute{a}x}+u_{m\acute{i}n})/2$, pero puede algunas veces ajustarse manualmente de forma que el error de control estacionario es cero en un punto de consigna dado. (Åström & Hägglund, 2009, pp. 67,68)

Acción Integral

La función principal de la acción integral es asegurarse de que la salida del proceso coincide con el punto de consigna en estado estacionario. Con control proporcional, hay normalmente un error de control en estado estacionario. Con acción integral, un pequeño error positivo conducirá siempre a una señal de control creciente, y un error negativo dará una señal de control decreciente sin tener en cuenta lo pequeño que sea el error. (Åström & Hägglund, 2009, p. 70).

Acción Derivativa

El objetivo de la acción derivativa es mejorar la estabilidad en lazo cerrado. El término derivativo D es proporcional a la derivada del error de control. Este término permite la predicción del error futuro.

Una desventaja de la acción derivativa es que una derivada ideal tiene una ganancia muy elevada para señales de alta frecuencia. Esto significa que el ruido de medida de alta frecuencia generará grandes variaciones de la señal de control. (Åström & Hägglund, 2009, pp. 71,72).

2.7. Reglas de Ziegler-Nichols para sintonizar controladores PID

Debido a que se va a obtener la ecuación de la planta de forma experimental, para poder ajustar el controlador PID se va a utilizar uno de los Métodos de Ziegler-Nichols.

Hay dos métodos denominados reglas de sintonía de Ziegler-Nichols: el primero y el segundo método. A continuación, se hace una breve descripción de cada uno de los métodos.

Primer Método. En el primer método, la respuesta de la planta a una entrada escalón unitario se obtiene de manera experimental, tal como se muestra en la **Figura 13**.

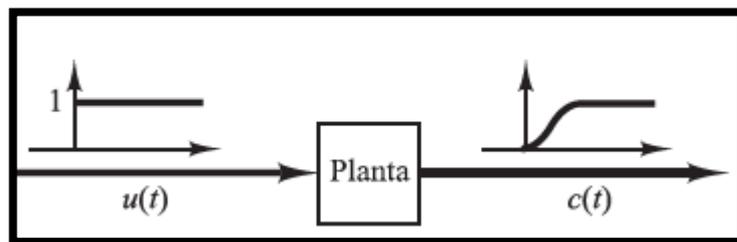


Figura 13. Respuesta a un escalón unitario de una planta. (Ogata, 2010)

Si la planta no contiene integradores ni polos dominantes complejos conjugados, la curva de respuesta escalón unitario puede tener forma de S, como se observa en la **Figura 14**. Este método se puede aplicar si la respuesta muestra una curva con forma de S. Tales curvas de respuesta escalón se pueden generar experimentalmente o a partir de una simulación dinámica de la planta.

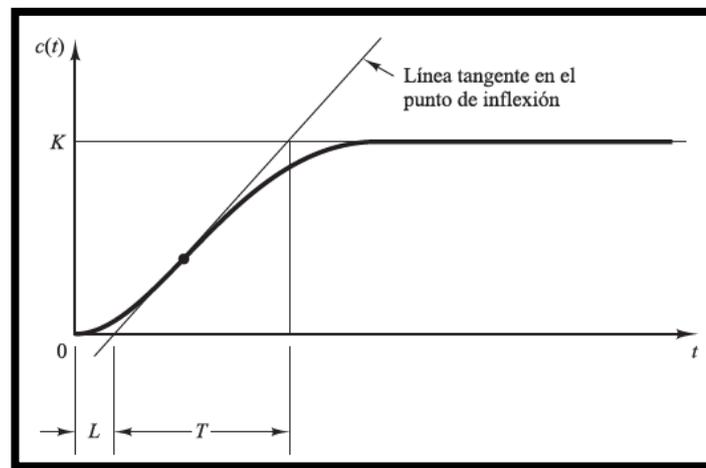


Figura 14. Curva de Respuesta en forma de S. (Ogata, 2010)

La curva con forma de S se caracteriza por dos parámetros: el tiempo de retardo L y la constante de tiempo T . El tiempo de retardo y la constante de tiempo se determinan dibujando una recta tangente en el punto de inflexión de la curva con forma de S y determinando las intersecciones de esta tangente con el eje del tiempo y con la línea $c(t)=K$, tal como se muestra en la **Figura 14**. En este caso, la función de transferencia $C(s)/U(s)$ se aproxima mediante un sistema de primer orden con un retardo del modo siguiente:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts + 1}$$

Ziegler y Nichols sugirieron establecer los valores de K_p , T_i y T_d de acuerdo con la fórmula que se muestra en la **Figura 15**.

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Figura 15. Regla de sintonía de Ziegler-Nichols basada en la respuesta escalón de la planta. (Ogata, 2010)

Obsérvese que el controlador PID sintonizado mediante el primer método de las reglas de Ziegler-Nichols produce:

$$\begin{aligned}
 G_c(s) &= K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \\
 &= 1.2 \frac{T}{L} \left(1 + \frac{1}{2Ls} + 0.5Ls \right) \\
 &= 0.6T \frac{\left(s + \frac{1}{L} \right)^2}{s}
 \end{aligned}$$

Por tanto, el controlador PID tiene un polo en el origen y un cero doble en $s=-1/L$. (Ogata, 2010, pp. 569,570).

Segundo Método. En el segundo método, primero se fija $T_i = \infty$ y $T_d = 0$. Usando sólo la acción de control proporcional, tal como se muestra en la **Figura 16**, se incrementa K_p desde 0 hasta un valor crítico K_{cr} , en donde la salida presente oscilaciones sostenidas. (Si la salida no presenta oscilaciones sostenidas para cualquier valor que pueda tomar K_p entonces este método no se puede aplicar.)

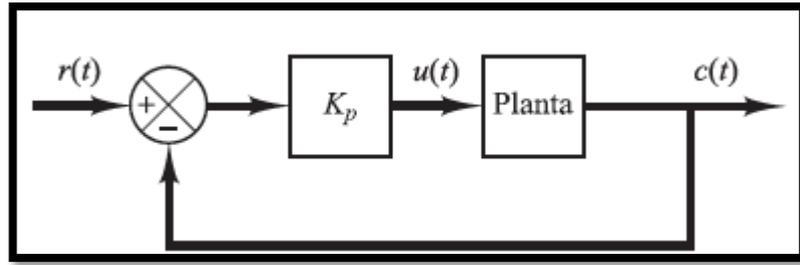


Figura 16. Sistema en lazo cerrado con un controlador proporcional. (Ogata, 2010)

Así, la ganancia crítica K_{cr} y el periodo P_{cr} correspondiente se determinan experimentalmente (Ver **Figura 17**).

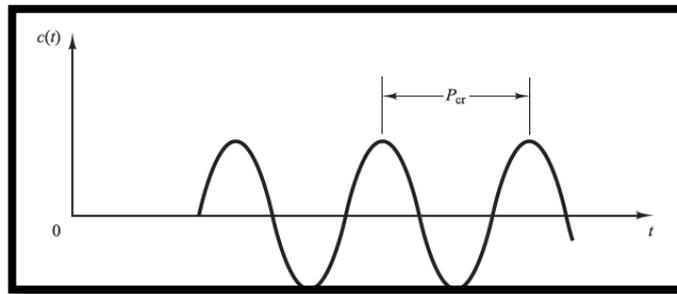


Figura 17. Oscilación sostenida con periodo P_{cr} . (Ogata, 2010)

Ziegler-Nichols sugirieron que se establecieran los valores de los parámetros K_p , T_i y T_d de acuerdo con la fórmula que se muestra en la **Figura 18**.

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$0.5K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45K_{cr}$	$\frac{1}{1.2}P_{cr}$	0
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

Figura 18. Regla de Sintonía de Ziegler-Nichols basada en la ganancia crítica K_{cr} y periodo crítico P_{cr} . (Ogata, 2010)

Obsérvese que el controlador PID sintonizado mediante el segundo método de las reglas de Ziegler-Nichols produce

$$\begin{aligned}G_c(s) &= K_p \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_d s \right) \\&= 0.6 K_{cr} \left(1 + \frac{1}{0.5 P_{cr} s} + 0.125 P_{cr} s \right) \\&= 0.075 K_{cr} P_{cr} \frac{\left(s + \frac{4}{P_{cr}} \right)^2}{s}\end{aligned}$$

Por tanto, el controlador PID tiene un polo en el origen y un cero doble en $s = -4/P_{cr}$.
(Ogata, 2010, pp. 570,571)

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Metodología de la Investigación

Este proyecto busca mejorar la producción de planchas de piedra de mármol, utilizando procesos de automatización dando como resultado:

- ✓ Prolongar el tiempo de vida útil de los motores y del disco de corte.
- ✓ Mitigar los riesgos a los que están expuestos actualmente los operadores de la planta.
- ✓ Aumento de la eficiencia en la producción y proceso del corte de piedra de mármol.

El método empleado para elaborar el proyecto es el método inductivo, puesto a que se basó en la observación y el estudio del proceso de corte de piedras de mármol, para poder proponer la solución más óptima y que cumpla con los requisitos y expectativas de la empresa “MÁRMOLES DEL ECUADOR”.

3.2. Técnicas de Investigación

Entre las técnicas de investigación que se utilizaron se encuentran: entrevista y observación.

La técnica de entrevista se utilizó en la primera fase del proyecto para conocer los antecedentes referentes al proceso de corte de piedra de mármol, así como el detalle para la obtención de la plancha de mármol.

La técnica de observación ha sido utilizada en todo el proceso para obtener información visual en cada etapa del desarrollo del proyecto.

3.3. Procedimiento del proyecto

3.3.1. Levantamiento de Información

Se realizó una visita técnica a la fábrica “Mármoles de Ecuador”, donde se pudo observar las siguientes novedades:

- ✓ El tablero de fuerza de la línea de corte de la piedra mármol, estaba deteriorado debido a los años de funcionamiento del mismo; lo cual constituye un riesgo no solo para los operadores sino para toda la fábrica. Ver *Figura 19*.



Figura 19. Tablero de Fuerza de la línea de corte.

- ✓ La acometida al motor de 50Hp y las señales de control estaban en mal estado, se observa cables expuestos y conexiones empíricas que ocasionaban riesgos eléctricos y físicos. Ver *Figura 20*.



Figura 20. Acometida al motor y señales de control.

- ✓ En la *Figura 21* se puede observar que la plataforma que transporta la piedra funciona de forma manual y su desplazamiento depende del criterio del operador en base a la experiencia adquirida.



Figura 21. Mecanismo de desplazamiento de plataforma

- ✓ En la *Figura 22* se observa la vista general de la línea de corte de piedra de mármol, la cual es un área reducida y tiene condiciones inseguras de operación.



Figura 22. Vista general de la línea de corte de piedra mármol

3.3.2. Equipos y Diseño

Se realizaron cálculos matemáticos para determinar:

- ✓ La capacidad y características para el motor eléctrico que realiza el desplazamiento horizontal de las planchas.
- ✓ El diámetro del piñón.
- ✓ Elementos del tablero de fuerza.

Cálculo de la potencia del Motor Eléctrico que mueve la Plataforma

Estos cálculos determinan la potencia requerida para mover la plataforma con la piedra de mármol hacia la sierra de corte.

Datos

$\mu = 0.35$ Fricción del acero con acero.

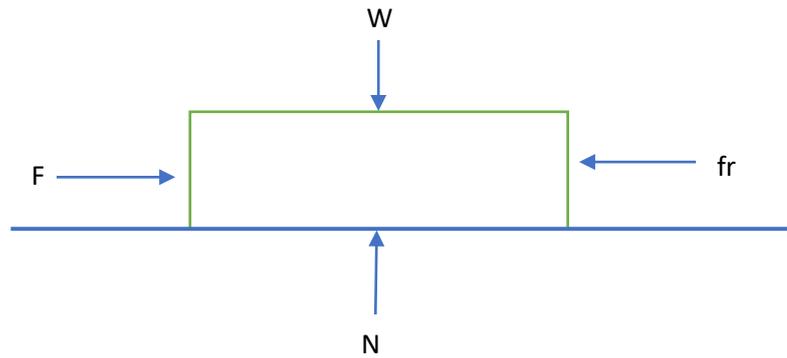
$W = 1 \text{ Ton}$

$\omega = 34 \text{ rpm}$ Dato del reductor que se encuentra en el mercado.

$Reje = 1 \text{ in} = 0.02544 \text{ m}$

Conversión de Unidades:

$$34 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{2\pi \text{rad}}{\text{rev}} * \frac{1 \text{min}}{60 \text{s}} = 3.5 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$



$$W = m * g$$

$$W = 1000kg * 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$W = 9800 N$$

$$\sum Fy = 0$$

$$N - W = 0$$

$$N = W$$

$$N = 9800 N$$

$$\sum Fx = 0$$

$$F - fr = 0$$

$$F = fr$$

$$F = \mu * N$$

$$F = 0.35 * 9800N$$

$$F = 3430N$$

Cálculo del Torque del Motor

$$T = F * Reje$$

$$T = 3430N * 0.0254m$$

$$T = 3430N * 0.0254m$$

$$T = 87.122 \text{ Nm}$$

Cálculo de la Potencia del Motor

$$Pm = T * Reje$$

$$Pm = 87.122 \text{ Nm} * 3.5 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$Pm = 304.927 \text{ W} * \frac{\text{HP}}{746 \text{ W}}$$

$$Pm = 0.408 \text{ Hp}$$

De acuerdo a los cálculos obtenidos, el motor a utilizar es de 0.5 HP, pero se está utilizando un motor de 1 Hp en caso de futuro crecimiento de la línea de corte de la empresa.

Cálculo del Diámetro del Piñón

Este cálculo permite determinar el diámetro del piñón que se debe acoplar al reductor, para transmitir el movimiento a la plataforma que transporta el mármol.

$$d1 = 200 \text{ mm}$$

$$d2 = 100 \text{ mm}$$

$$n1 = 25 \text{ rpm}$$

$$25 \text{ rpm} * 200 \text{ mm} = n2 * 100 \text{ mm}$$

$$n2 = \frac{25 \text{ rpm} * 200 \text{ mm}}{100 \text{ mm}} = 50 \text{ rpm}$$

Para determinar los diámetros de los piñones se trabajó con las revoluciones del motor al mínimo para evitar que no se doble el disco de corte.

Cálculo de los elementos para el Tablero de Fuerza.

Los elementos de fuerza que se calcularon fueron: Contactor, breaker y relé térmico; para realizar los respectivos cálculos se utilizó los datos de placa del motor.

Datos

P = Potencia del Motor = 50 hp (37.285Kw)

V = Voltaje de la Planta = 220 V

$\text{Cos}\phi$ = Desfase entre corriente alterna y tensión

$$P = \sqrt{3} * V_l * I_l * \text{Cos}\phi$$

$$P = \sqrt{3} * 220 V * I_l * \text{Cos}\phi$$

$$37.285 Kw = \sqrt{3} * 220 V * I_l * 0.8$$

$$I_l = \frac{37.285(VxA)}{\sqrt{3} * 220 V * 0.8}$$

$I_l = 122.30A$ Nominal del motor de la sierra

$$I_l = \frac{122.30}{2} A$$

$$I_l = 61.15 A$$

La corriente se multiplica por el factor de servicio:

$$I_l = 61.15 A * 1.5 = 91.725 A$$

Con este amperaje se escoge el contactor de acuerdo a la **Figura 23**.

 Contactor SIRIUS Tamaño S3 para motor 95A / 400V 50Hz, 45kW		
100015233	Contactor tripolar In:95A / 400V 50Hz, 45kW, S3, bob.24VAC 50/60Hz	3RT1046-1AC20
100015234	Contactor tripolar In:95A / 400V 50Hz, 45kW, S3, bob.110VAC 50/60Hz	3RT1046-1AG20
100016059	Contactor tripolar In:95A / 400V 50Hz, 45kW, S3, bob.220VAC 50/60Hz	3RT1046-1AN20
100001212	Contactor tripolar In:95A / 400V 50Hz, 45kW, S3, bob.380VAC 50Hz	3RT1046-1AQ00
100015121	Contactor tripolar In:95A / 400V 50Hz, 45kW, S3, bob.24VDC	3RT1046-1BB40
100015122	Contactor tripolar In:95A / 400V 50Hz, 45kW, S3, bob.110VDC	3RT1046-1BF40

Figura 23. Manual de referencias de Contactores. (Siemens, 2019)

Para escoger el Breaker se trabajó con la corriente de línea y el factor de servicio de 1.5

$$Il = 122.30A * 1.5$$

$$Il = 183.45 A$$

Con este amperaje se escoge el Breaker de acuerdo a la **Figura 24.**

					
Datos técnicos	Breakers 3VT1	Breakers 3VT2	Breakers 3VT3	Breakers 3VT4	Breakers 3VT5
Según norma	IEC 60947-2/3	IEC 60947-2/3	IEC 60947-2/3	IEC 60947-2/3	IEC 60947-2/3
Intensidad asignada	16...160A	40...250A	160...630	320...1000A	630...1600A
Tensión asignada De empleo Ue	max. 690 VCA	max. 690 VCA	max. 690 VCA	max. 690 VCA	max. 690 VCA
Corriente nominal normal	160A	250A	630A	1000A	1600A
Frecuencia asignada fn	50/60 Hz	50/60 Hz	50/60 Hz	50/60 Hz	50/60 Hz
Tensión de impulso Soportada, Uimp	8kV	8kV	8kV	8kV	8kV
Poder de corte último Asignado, Icu	40 kA/AC 230V 25 kA/AC 415V 12 kA/AC 500V	60 kA/AC 230V 36 kA/AC 415V 16 kA/AC 500V	60 kA/AC 230V 36 kA/AC 415V 20 kA/AC 500V	85 kA/AC 230V 65 kA/AC 415V 45 kA/AC 500V	85 kA/AC 230V 55 kA/AC 415V 45 kA/AC 500V

Figura 24. Manual de referencias de Breaker. (Siemens, 2019)

El Relé térmico se calcula con la corriente de línea y el factor de servicio de 1.15

$$I = 1.15 * 122.3A$$

$$I = 140.3A$$

De acuerdo a la **Figura 25**, se elige el relé térmico que está entre: 50 a 200A

Relés Electrónicos y de monitoreo SIRIUS 3RB y 3RR2 IE3/IE4

Nueva versión IEC 60947-2, IEC60947-3
 Los relés de vigilancia de corriente SIRIUS 3RR2 son la nueva solución para la vigilancia de carga de motores
 El relé de vigilancia monitorea el consumo de corriente y dispara por: sobre y baja corriente, desbalance de fases, inversión de fases, pérdida de fases, sobre y subcarga

No. de Depósito	Descripción			
	Tipo	Tamaño	Regulación (A)	Para contactores serie SIRIUS
Relés de sobrecarga electrónicos 3RB20				
100392734	3RB3143 - 4XB0	S3	32.0 - 115.0	3RT204
100016431	3RB2056 - 1FW2	6	50.0 - 200.0	3RT105
100016454	3RB2066 - 1GC2	S10/S12	55.0 - 250.0	3RT106
100016435	3RB2066 - 1MC2	S10/S12	160 - 630.0	3RT107

Figura 25. Manual de referencias de Relé Térmico. (Siemens, 2019)

Planos de Fuerza y Control.

Se elaboró los planos tanto de fuerza como de control para la respectiva implementación del sistema. Ver **Anexo 1**.

3.3.3. Identificación del Sistema

Para poder identificar el sistema se procedió a la adquisición de datos a través de una aplicación creada en el PLC S7-1200, donde se variaba la frecuencia de operación del motor y se obtenía el valor de corriente. Los datos adquiridos se pueden visualizar en **Figura 26**.

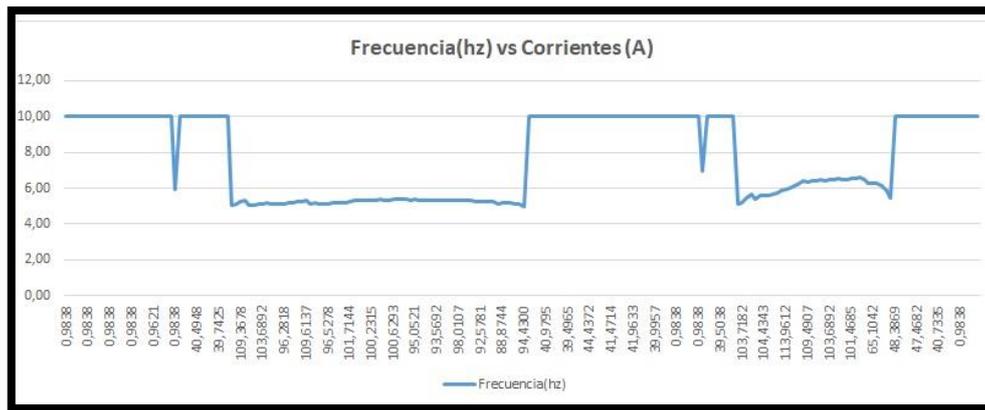


Figura 26. Adquisición de datos del sistema.

Una vez almacenados estos datos en el workspace se procedió a identificar la planta por medio de la aplicación Ident de Matlab. Los pasos que se siguieron se detallan a continuación:

- ✓ Se coloca ident en el Command Window.
- ✓ Se despliega la pantalla de Herramienta de Identificación del sistema, en donde se coloca los datos que corresponden a la entrada y los datos que pertenecen a la salida; además de otra información como: unidades, tiempo de muestreo entre otros que se pueden visualizar en la **Figura 27**.

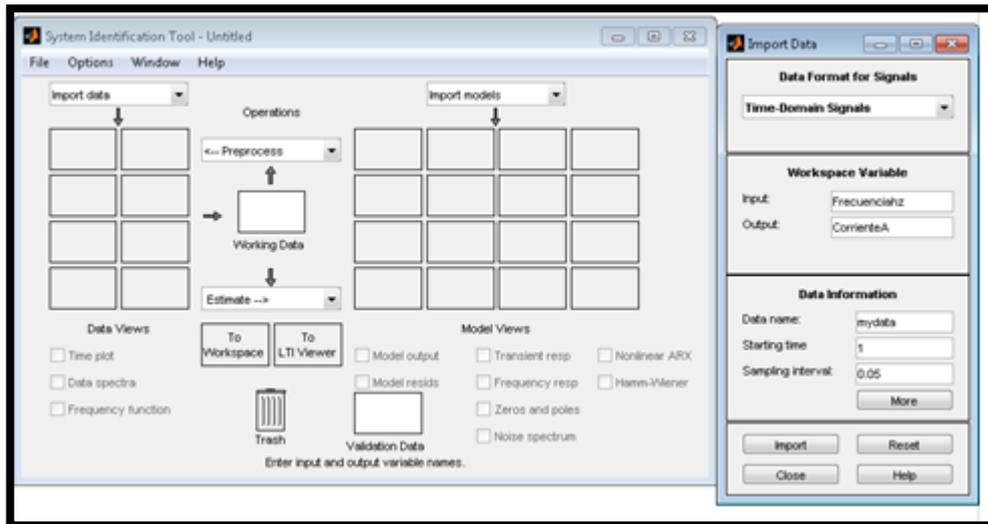


Figura 27. Pantalla de Herramienta de Identificación del Sistema

- ✓ Se validan los datos en Matlab y se escoge “Transfer Functions”. Se debe indicar cuantos polos y cuantos ceros se desea tener en la misma. **Figura 28.**

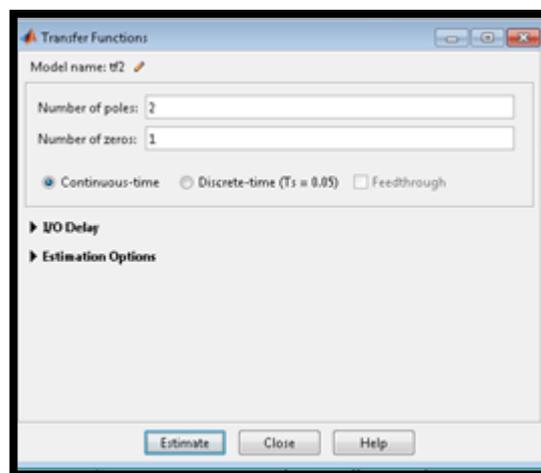


Figura 28. Pantalla de Función de Transferencia

- ✓ Se tienen muchas gráficas pero siempre se escoge la que tenga mayor porcentaje de aproximación con nuestro sistema. La gráfica que más se aproxima tiene una estimación de datos del 77.45%, tal como se observa en la **Figura 29**.

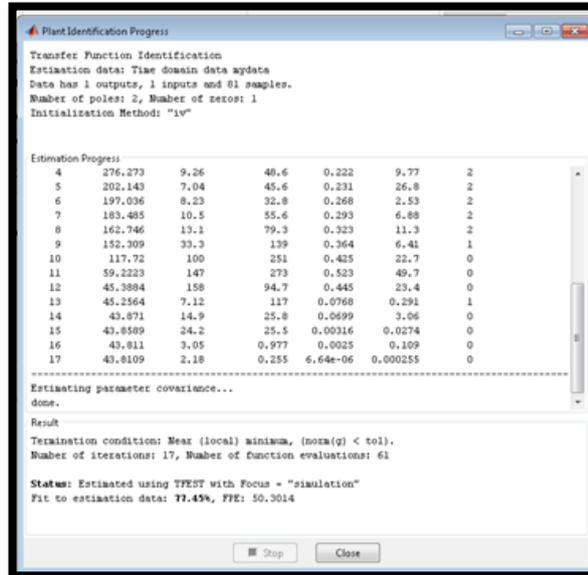


Figura 29. Pantalla de Función de Transferencia

- ✓ En la **Figura 30** se observa la gráfica real y estimada.

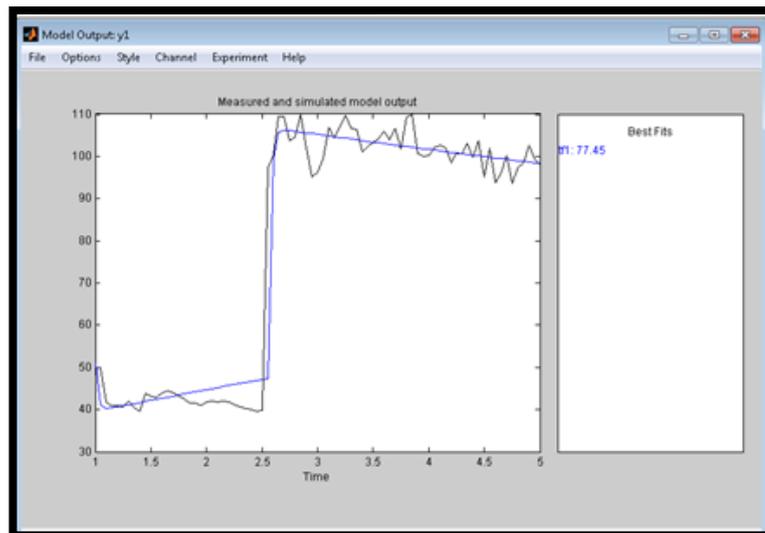
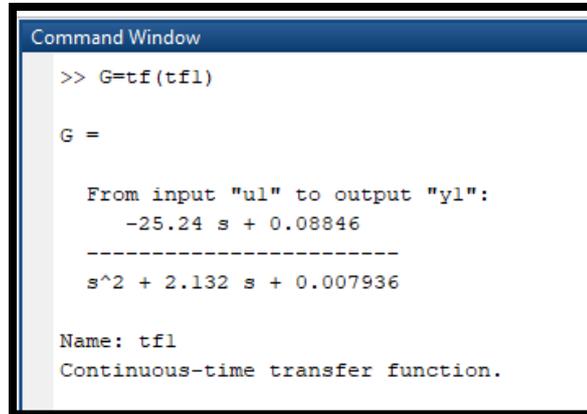


Figura 30. Gráfica Real y Estimada

- ✓ Una vez escogida la gráfica se llama a la función de transferencia en el Command Window de Matlab, esta función de transferencia es la que corresponde al modelo matemático del proceso de corte de piedra de mármol. Ver *Figura 31*.



```
Command Window
>> G=tf(tfl)

G =

From input "u1" to output "y1":
  -25.24 s + 0.08846
  -----
  s^2 + 2.132 s + 0.007936

Name: tfl
Continuous-time transfer function.
```

Figura 31. Función de Transferencia

La función de transferencia tiene dos polos y un cero.

3.3.4. Cálculo de Variables para PID

Para calcular los valores de PID se utilizó PID tools de Matlab, se procedió de la siguiente manera:

- ✓ Una vez que se tiene la función de transferencia en el workspace, se le aplica una función escalón, tal como observamos en la *Figura 32*.

```
Command Window
>> G=tf(tf1)

G =

From input "u1" to output "y1":
-25.24 s + 0.08846
-----
s^2 + 2.132 s + 0.007936

Name: tf1
Continuous-time transfer function.

fx >> step(G)
```

Figura 32. Función escalón

- ✓ En la **Figura 33** se observa la respuesta de nuestra función de transferencia a la función escalón aplicada.

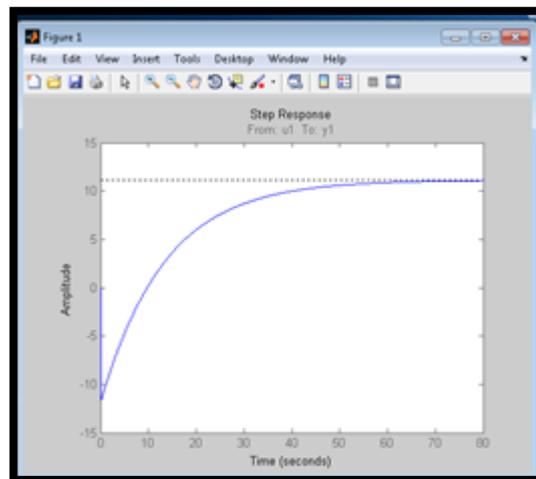


Figura 33. Respuesta a función escalón

- ✓ Se aplica el PID Tuner hasta obtener la mejor respuesta del sistema.

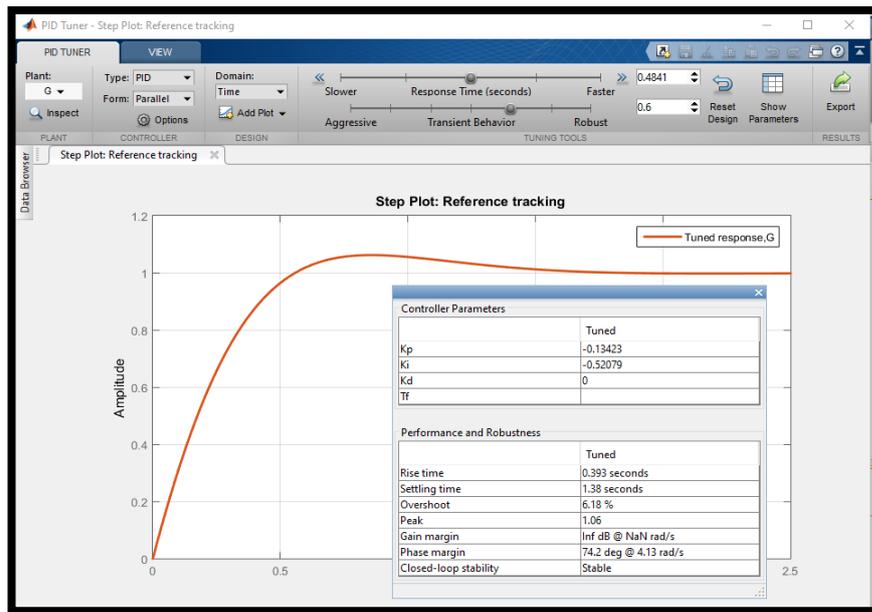


Figura 34. Valores de PID

✓ Los valores de PID son los siguientes:

P= -0.13423.

I= -0.52079.

D= 0

3.3.5. Programación del PLC S7-1200

Para programar el PLC S7-1200 se utilizó el software Tia Portal v.13.

Lo primero que se hizo fue configurar las entradas y salidas del PLC de acuerdo a nuestro sistema. Ver figura **Figura 35**.

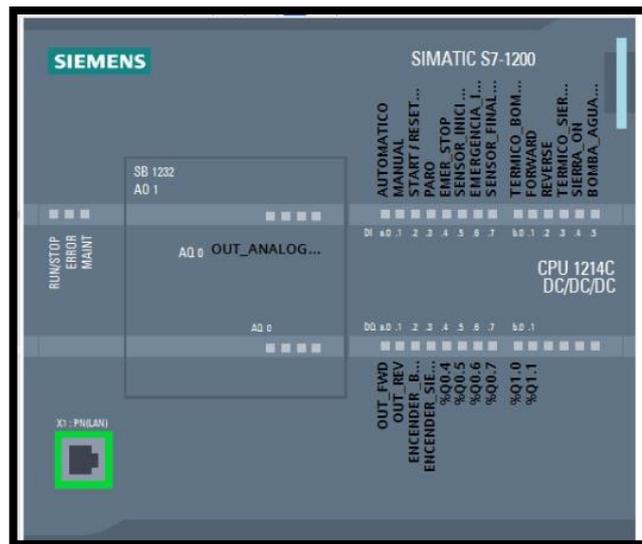


Figura 35. Detalle de Entradas/Salidas PLC S7-1200

Se utilizaron varios segmentos en el Main (OB1) para realizar la programación que cumpla con los requerimientos del proceso, los mismos que se detallan a continuación:

- ✓ Segmento 1: Arranque del proceso y protección del sistema.
- ✓ Segmento 2: Deslizamiento hacia delante de carrito.
- ✓ Segmento 3: Encendido y protección de bomba de agua.
- ✓ Segmento 4: Encendido y apagado del Motor de la sierra.
- ✓ Segmento 5: Deslizamiento reversa carrito.
- ✓ Segmento 6: Llama a la función FC, en donde se encuentran programadas las alarmas del HMI.

Además, se tiene cuatro bloques de organización que se están ejecutando en todo momento:

- ✓ Apagado de Bomba de Agua.
- ✓ PID.
- ✓ Señal Analógica.

- ✓ Tiempo calculado de encendido de Bomba de agua.

El PLC se comunica con el HMI a través de Profinet, tal como se observa en la **Figura 36**.

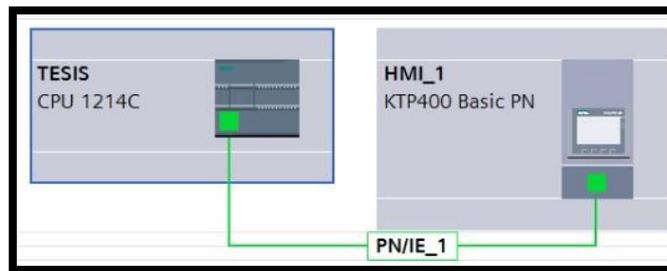


Figura 36. Topología de Red

Para el detalle completo de la programación del PLC S7-1200, se recomienda revisar el **ANEXO 2**.

3.3.6. Programación HMI

Para programar la pantalla HMI KTP400 se utilizó el software Tia Portal v.13.

Se elaboraron siete pantallas, la primera muestra el menú al que se puede acceder a las demás pantallas, tales como: tema, proceso, parámetros a operar, estado del sistema, tendencias y eventos & alarmas, Ver **Figura 37**.



Figura 37. Pantalla Principal HMI

En la pantalla tema, se indica el nombre del proyecto de titulación, los integrantes y tutor del mismo. Ver **Figura 38**.



Figura 38. Pantalla Tema

En la pantalla proceso, se muestra un gráfico en 3D del proceso de corte de piedra de mármol, además se puede visualizar los valores de frecuencia y corriente. Ver **Figura 39**.



Figura 39. Pantalla Proceso

En la pantalla Parámetros a operar, el operador debe ingresar la distancia de la piedra; ya que las piedras son de diferente longitud. El tiempo patrón es un valor fijo. Ver **Figura 40**.



Figura 40. Pantalla Parámetros de operación de corte

En la pantalla de Estado del sistema, se muestran las protecciones del mismo y si el sistema está activo o no. Ver **Figura 41**.



Figura 41. Pantalla Estado del Sistema

En la pantalla de Tendencias, se pueden visualizar las gráficas tanto de corriente como de frecuencia del proceso. Ver **Figura 42**.

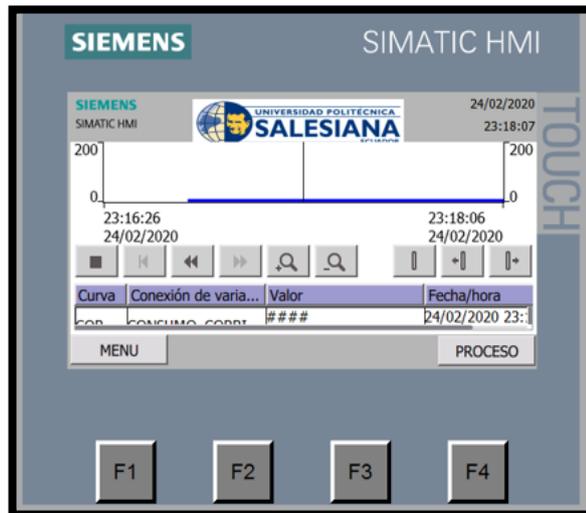


Figura 42. Pantalla de Tendencias

En la pantalla de Eventos & Alarmas, se pueden observar las alarmas y eventos que se generan al inicio, durante y al final del proceso. Ver **Figura 43**.



Figura 43. Pantalla de Eventos & Alarmas

4. RESULTADOS

4.1. Montaje de Componentes en los tableros

4.1.1. Tablero de Control y fuerza del motor de desplazamiento

El tamaño del tablero se consideró de acuerdo a los elementos que forman parte del mismo tales como:

- ✓ 01 Breaker de 3P-50 A.
- ✓ 01 Breaker de 2P-4 A.
- ✓ 02 Breakers de 2P-2 A.
- ✓ 02 Breakers de 1P-1 A.
- ✓ 01 Fuente rectificadora de 220VAC/24VDC 5 A.
- ✓ 01 Convertidor de 0-5 VAC a 4-20 mA.
- ✓ 01 Convertidor de 4-20 mA a 0-10 VDC.
- ✓ 01 PLC S7-1200, con switch Profinet de 4 puertos.
- ✓ 07 relés a 24VDC
- ✓ 01 Variador de velocidad INVT, 5Hp
- ✓ 01 Guardamotor.
- ✓ Borneras de Control.
- ✓ Borneras para puesta a tierra.
- ✓ Borneras fusileras.
- ✓ Riel din.
- ✓ Cable de Control.
- ✓ Cable de Comunicación Ethernet.
- ✓ Marquillas tipo click.
- ✓ Canaletas ranuradas de 33mmx60mm.

- ✓ 01 HMI táctil KTP 400.
- ✓ 01 Pulsador de Marcha.
- ✓ 01 Pulsador de Paro.
- ✓ 05 Luces pilotos a 24VDC.
- ✓ 01 Pulsador de emergencia.
- ✓ 01 Selector de 3 posiciones.

Se procedió a realizar el montaje de los elementos anteriormente descritos dentro del tablero, tal como se observa en **Figura 44**.

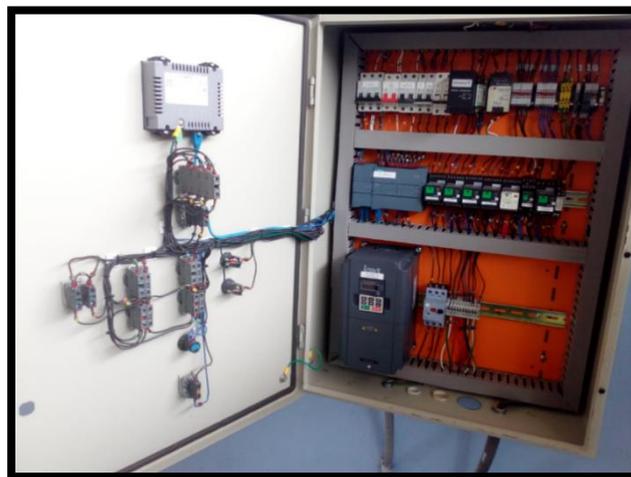


Figura 44. Tablero de Control y sus elementos

4.1.2. Tablero de Fuerza del motor de Corte

El tamaño del tablero se consideró de acuerdo a los elementos que forman parte del mismo tales como:

- ✓ 01 Breaker Regulable de 3P, 40 a 250A
- ✓ 01 Breaker de 2P-4 A.
- ✓ 03 contactores
- ✓ 02 Transformadores de corriente de 300/5 A.

- ✓ 01 Relé Térmico de 50-200 A
- ✓ 01 Medidor Analógico de corriente.

Se procedió a realizar el montaje de los elementos anteriormente descritos dentro del tablero, tal como se observa en *Figura 45*.



Figura 45. Tablero de Fuerza

4.2. Montaje de los Tableros de Fuerza y Control

Una vez que se realizó el montaje de los componentes dentro del tablero, se procedió con la instalación de los tableros en la respectiva línea de producción. Como se puede observar en la *Figura 46*, los dos tableros tanto de fuerza y de control se encuentran cerca, lo que facilita el acceso a ambos en caso que se presente alguna emergencia.



Figura 46. Montaje de Tablero de Fuerza y de Control

4.3. Implementación de Capa de Hormigón Armado para piso.

Debido a que las condiciones del piso del área de corte de piedra mármol no eran las adecuadas, como se puede ver en la *Figura 47*, se procedió a colocar una capa de hormigón armado sobre el piso; además se realizó la respectiva señalización utilizando pintura reflectiva.

Ver *Figura 48*.

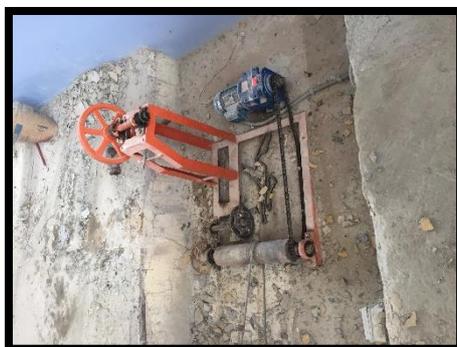


Figura 47. Piso del área de corte de piedra de mármol



Figura 48. Piso cubierto de hormigón armado

4.4. Reposición de Paredes

Como podemos ver en la *Figura 49*, las paredes se encuentran incompletas, además presentan manchas, por ende están en mal estado. Debido a lo mencionado anteriormente se procedió a realizar la reposición para corregir fallas en las paredes y continuar con el proceso de pintura de las mismas. Ver *Figura 50*.



Figura 49. Paredes en mal estado en el área de corte de piedra mármol



Figura 50. Reposición de paredes en área de corte de piedra mármol

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Análisis del Proyecto

Antes de la entrega formal del proyecto a la empresa, se revisa que cumpla con todos los requerimientos inicialmente establecidos.

Se realizan pruebas a todos los elementos que se encuentran dentro de los tableros, además se verifica que las variables programadas en el HMI sean visualizadas por el operador.

5.2. Comunicación entre Dispositivos

La primera comunicación que se establece es la de la PC con el PLC, esto se realiza para cargar el programa que quedará grabado en el dispositivo de control, luego se procede a cargar el programa en el HMI para la supervisión del proceso.

Es importante mencionar que se establecieron pruebas de comunicación entre ambos periféricos (PLC y HMI), para visualizar que todas las variables se encuentren asociadas, en caso de ruptura de cable de comunicación el proceso se detiene inmediatamente para evitar daños en los equipos.

5.3. Elaboración del Manual de Operación

Para evitar procedimientos inadecuados de operación, se elabora un manual que indica los pasos que se deben realizar para poner en funcionamiento el proceso de corte de piedra de mármol. El manual de operador se encuentra en el **ANEXO 3**.

5.4. Pruebas realizadas

En las pruebas realizadas se observa que el sistema está funcionando adecuadamente ya que en la pantalla del proceso se pueden visualizar valores de corriente y frecuencia, tal como se observa en la *Figura 51*.



Figura 51. Estado de la pantalla Proceso.

Al momento de las pruebas se simularon fallas tanto en el motor de agua como en el motor de la sierra, obteniéndose como resultado el paro inmediato del proceso, tal como se puede visualizar en la *Figura 52*.



Figura 52. Falla en Térmicos.

En el caso que se presente algún cambio de estado o el motor deje de funcionar por alguna falla que ocurra, estos eventos y alarmas son reflejados en el HMI, tal como se muestra en la **Figura 53**.

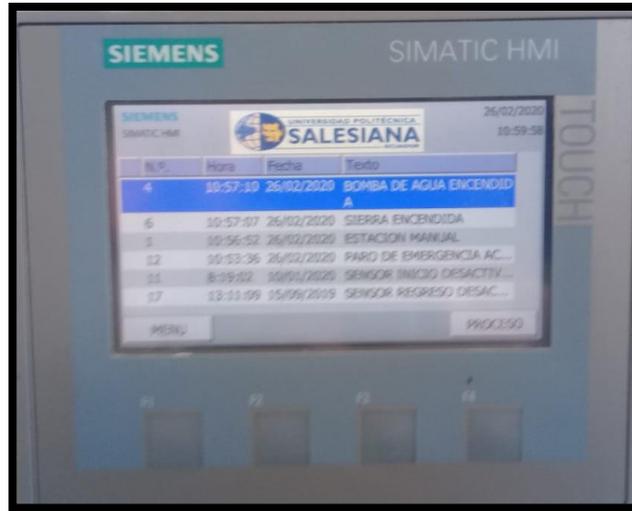


Figura 53. Pantalla de Alarma y Eventos.

Las curvas de corriente y frecuencia muestran valores acordes al control realizado. Ver **Figura 54**.



Figura 54. Pantalla de Tendencias.

6. CONCLUSIONES

Con la automatización del proceso de corte de piedra de mármol se logró mejorar las condiciones de trabajo del operador, evitando que sufra lesiones por manipulación de partes mecánicas y eléctricas durante la ejecución del mismo, antes de la implementación el área de trabajo era insegura, debido a que existían condiciones inadecuadas de trabajo como son:

- Falta señalización.
- El piso se encontraba deteriorado, con niveles irregulares.
- Paredes desgastadas.
- Tablero Eléctricos deteriorados, sin protecciones eléctricas, con conexiones empíricas.

El Operador se sentaba sobre una silla y realizaba el movimiento del carrito para el corte de la piedra, en este proceso el operador tenía el riesgo de golpes por desechos del corte de piedra, lo cual atentaba con su integridad; debido a que no existían protecciones eléctricas adecuadas, el motor de 50 HP paraba solo cuando entraba en etapa de falla.

Cuando el proceso era manual, el operador laboraba de forma empírica, es decir como no se visualizaban valores de corriente del sistema, todo dependía del criterio y años de experiencia del mismo; por lo que forzaba al motor a trabajar con corrientes muy elevadas, lo que ocasionaba la disminución de la vida útil; con la automatización del sistema el motor opera dentro de los parámetros óptimos (corriente por debajo de la corriente nominal).

La colocación de hormigón armado en el piso, señalización con pintura reflectiva del mismo y la reposición de las paredes fueron de gran ayuda porque mejoró el aspecto del área de trabajo;

además contribuyó a la disminución de riesgos laborales por las condiciones en mal estado expuestas anteriormente.

Para la obtención del modelo matemático se realizó la adquisición de datos de corriente y frecuencia del Motor que ejecuta el proceso de corte de piedra, estos datos fueron adquiridos por medio del PLC y exportados a una base de datos EXCEL, luego con el workspace de MATLAB se importan los datos que serán utilizados en el programa Transfer Functions de MATLAB, en donde se obtiene el modelo matemático que representa el proceso de corte; dicha función de transferencia contiene 2 polos y 1 cero con 75% de aproximación. Con la función de transferencia seleccionada se usó el comando PIDtools para obtener los valores del PID y realizar los ajustes finos, logrando que el sistema opere de forma confiable permitiendo garantizar no solo la seguridad de los trabajadores sino también la seguridad a cada uno de los elementos que forman parte del proceso.

7. RECOMENDACIONES

Es importante, que antes de empezar con el proceso de corte se verifique el manual de operación para evitar maniobras inadecuadas que conlleven a un accidente laboral.

Realizar el mantenimiento preventivo a los motores cada cuatro meses para evitar desgaste tanto eléctrico como mecánico de sus componentes.

Realizar el mantenimiento preventivo a los tableros de fuerza y control cada tres meses incluyendo reajustes y verificación de terminales debido a la vibración a los que están expuestos dentro del área de corte.

Realizar mantenimiento preventivo cada semana de limpieza al sensor inductivo, puesto que en el área de trabajo hay exceso de polvo lo que podría afectar su medición y ocasionar retrasos en la producción.

El diamante de la sierra de corte debe ser revisado semanalmente, puesto que constituye un elemento importante en el proceso ya que si está averiado o desgastado los cortes de la plancha no serán uniformes.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvarez Pulido, M. (2000). *Convertidores de Frecuencia, controladores de motores y SSR*. Barcelona: MARCOMBO, S.A.

Åström, K. J., & Hägglund, T. (2009). *Control PID Avanzado*. Madrid: Pearson Educación S.A.

Crespo, W. (9 de Febrero de 2011). *Automatización Industrial*. Obtenido de <https://automatizacionindustrial.wordpress.com/2011/02/09/queeslaautomatizacionindustrial/>

Mandado Pérez, E., Marcos Acevedo, J., Fernández Silva, C., & Armesto Quiroga, J. (2009). *Autómatas Programables y Sistemas de Automatización*. Barcelona: Marcombo, S.A.

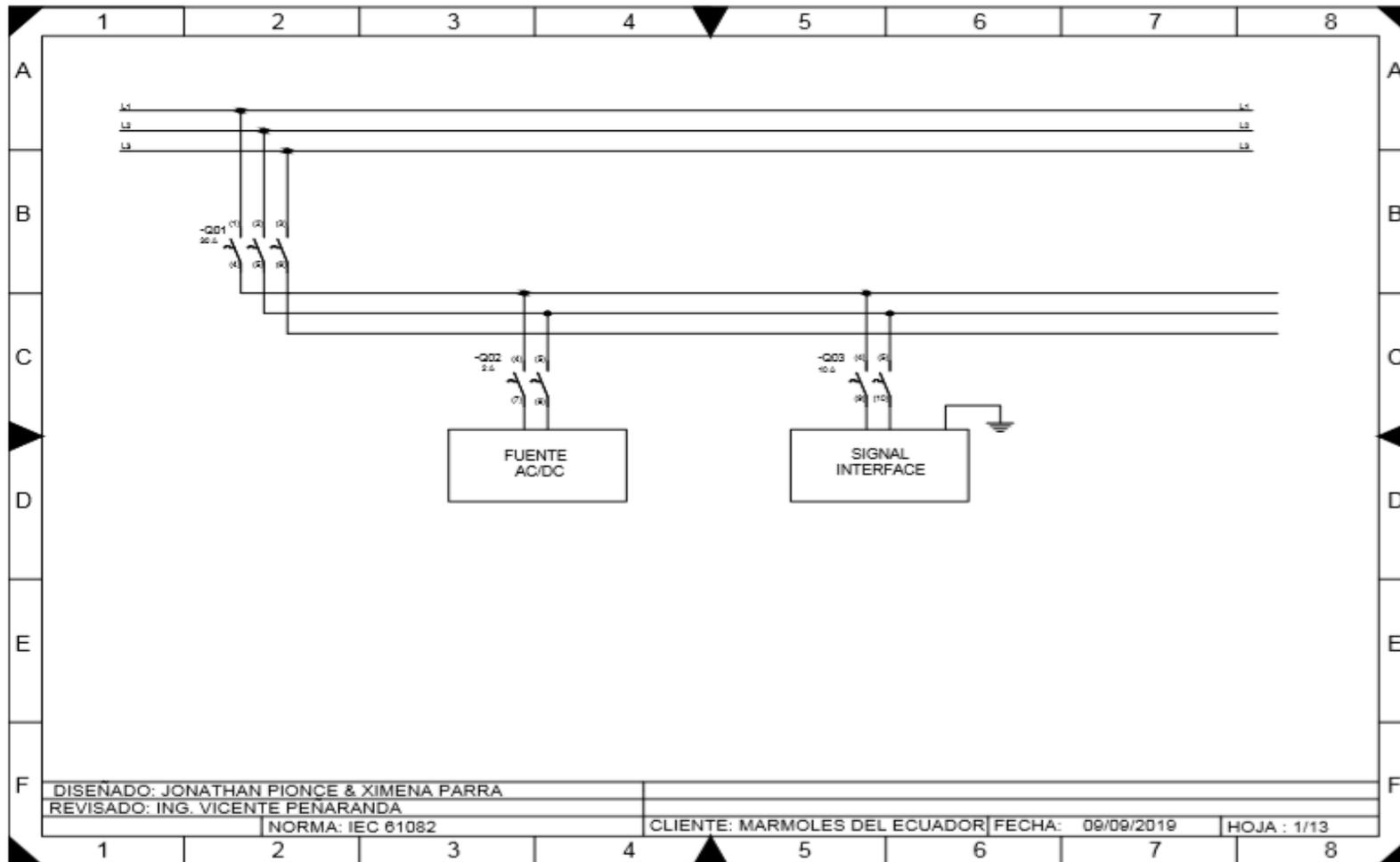
Mansilla, J. M. (2011). *Variadores de Velocidad y arrancadores electrónicos*.

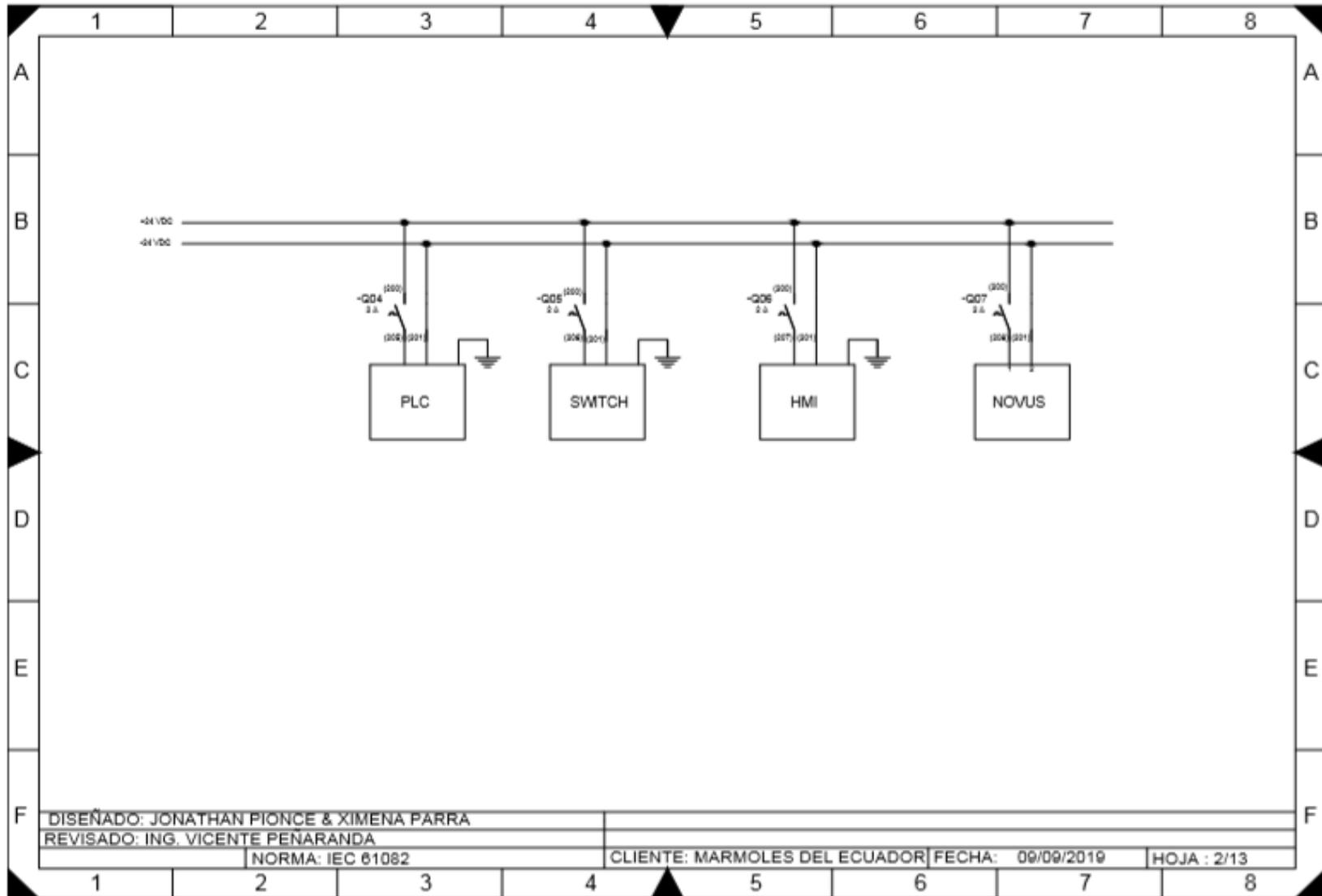
Ogata, K. (2010). *Ingeniería de Control Moderna*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN S.A.

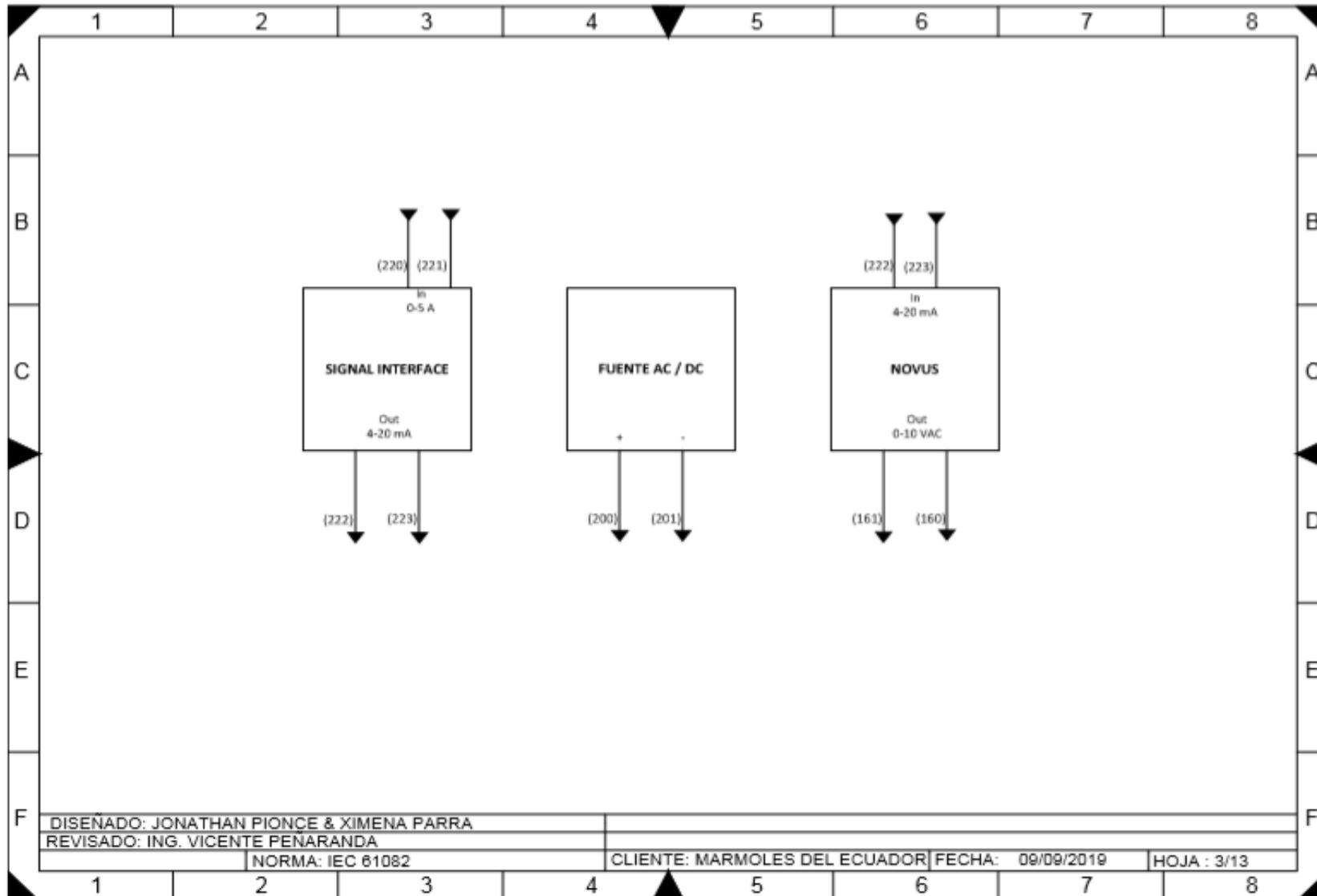
Rodriguez Penin, A. (2012). *Sistema Scada*. Barcelona: MARCOMBO, S.A.

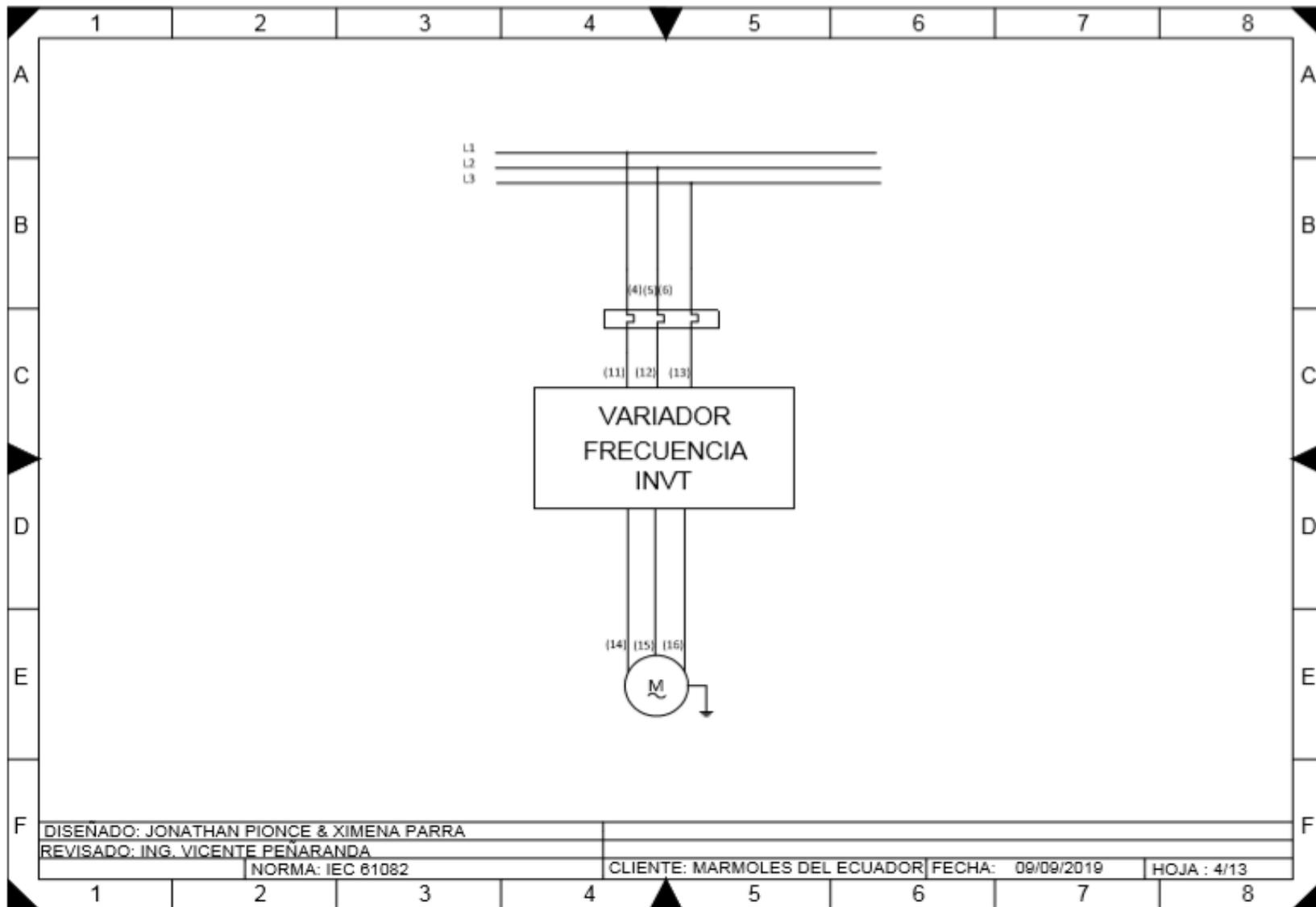
9. ANEXOS

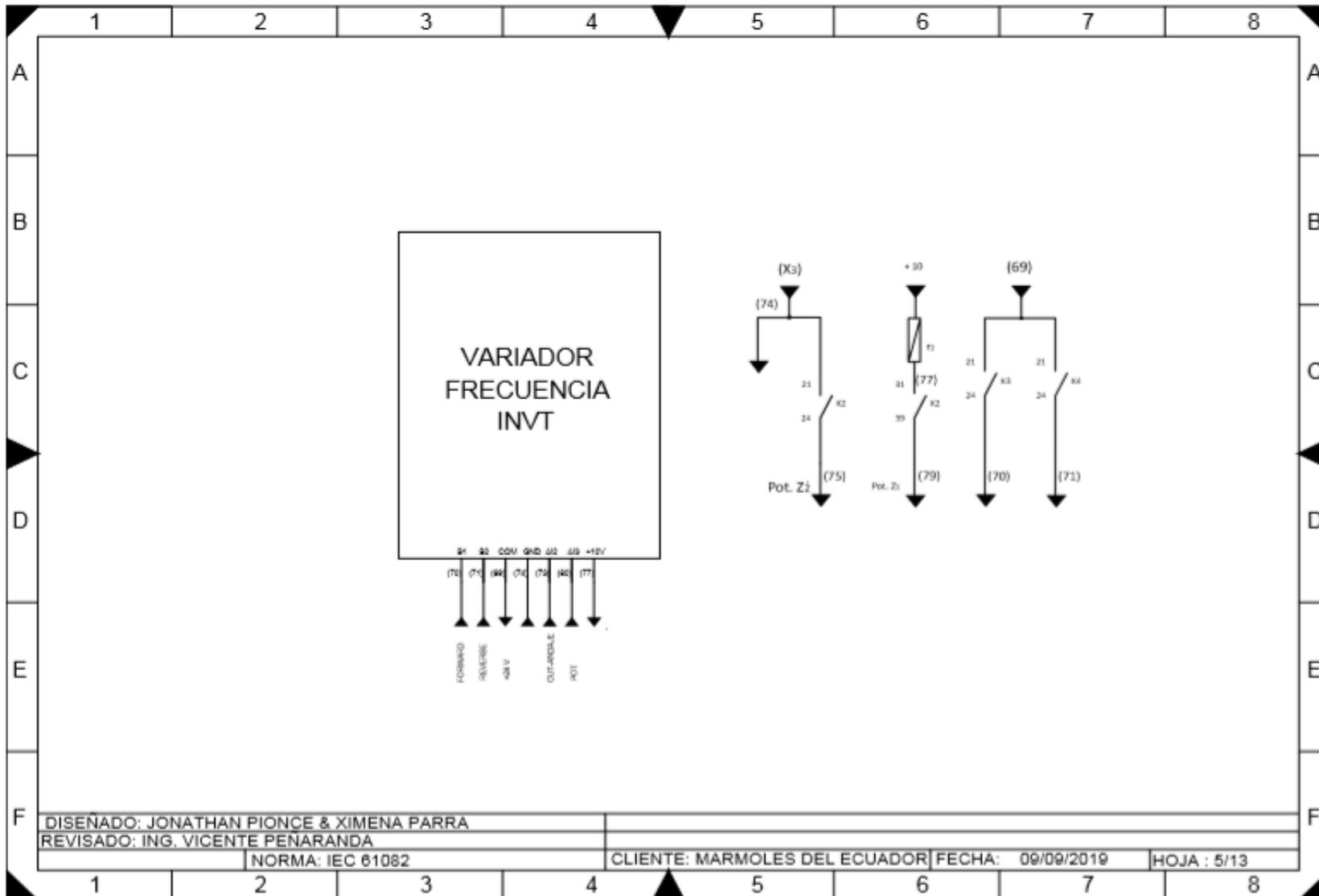
Anexo 1: Planos Eléctricos

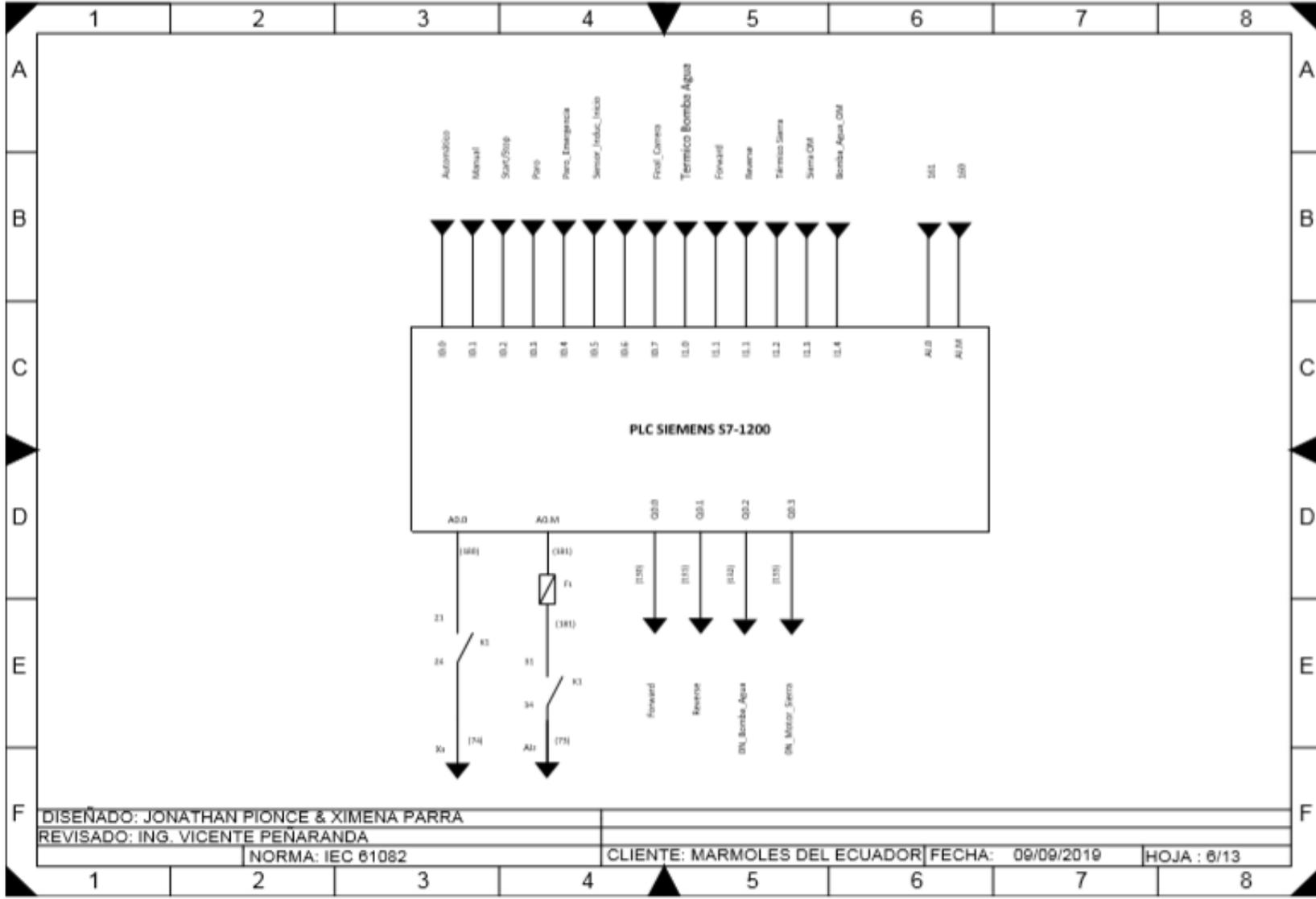


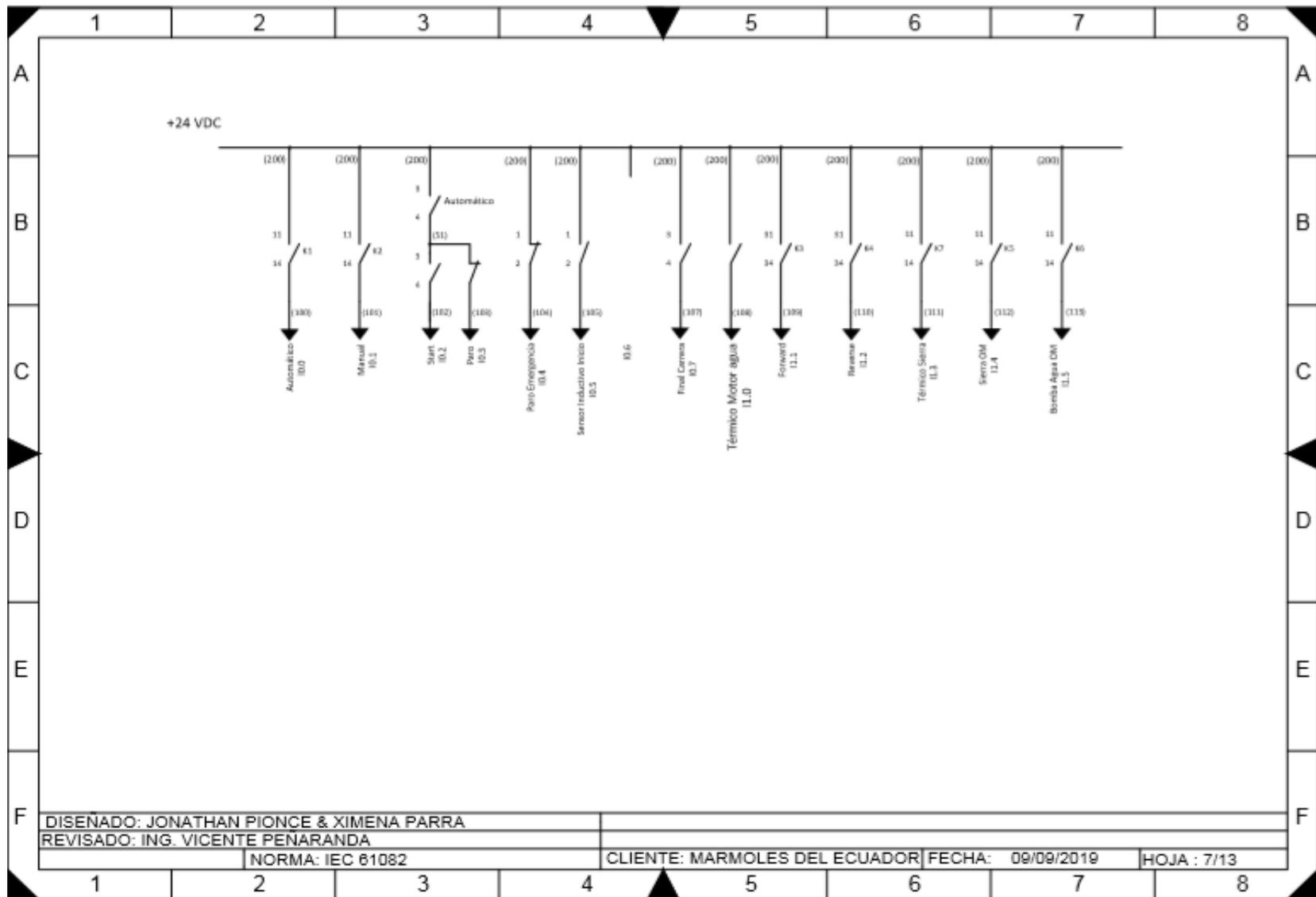


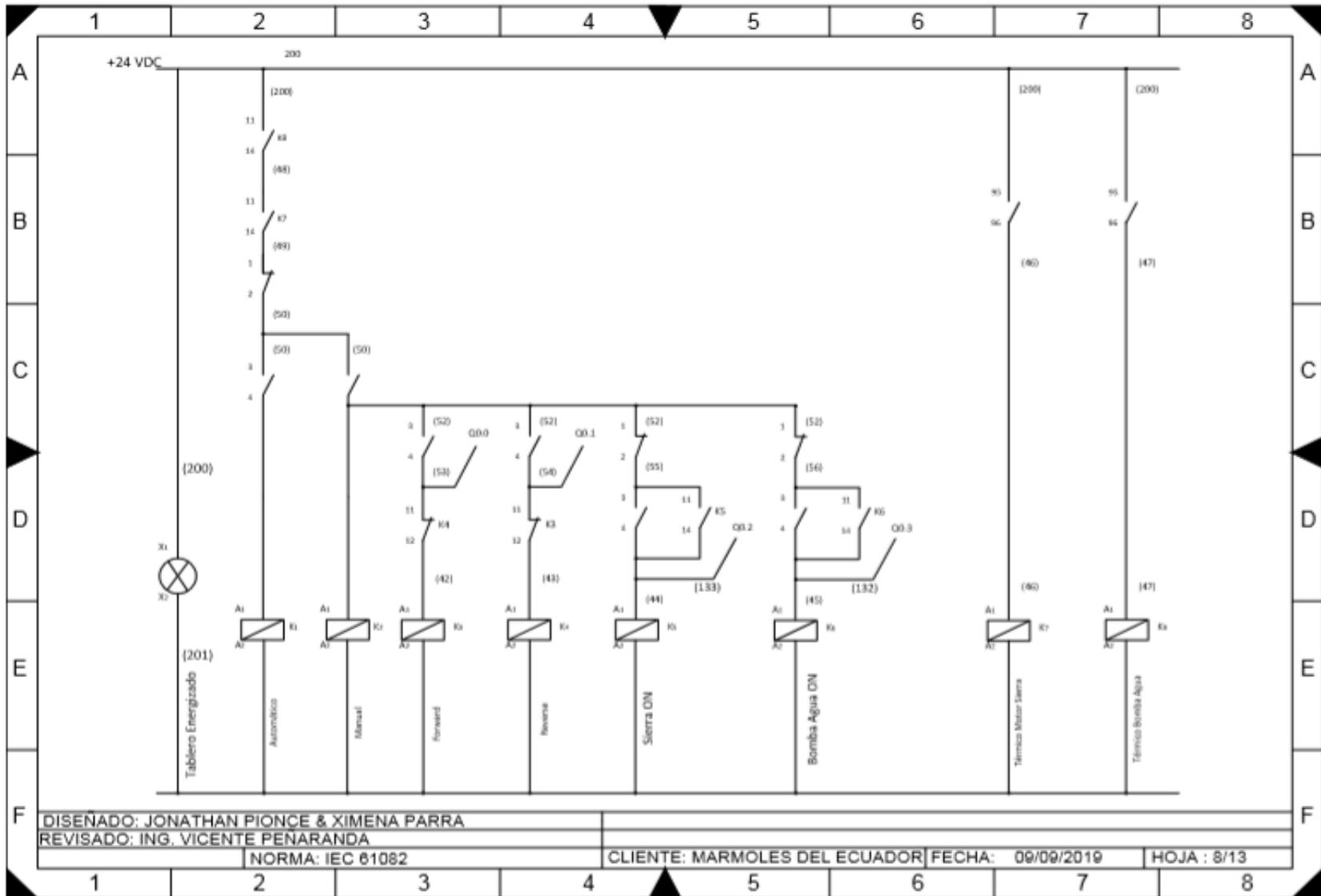


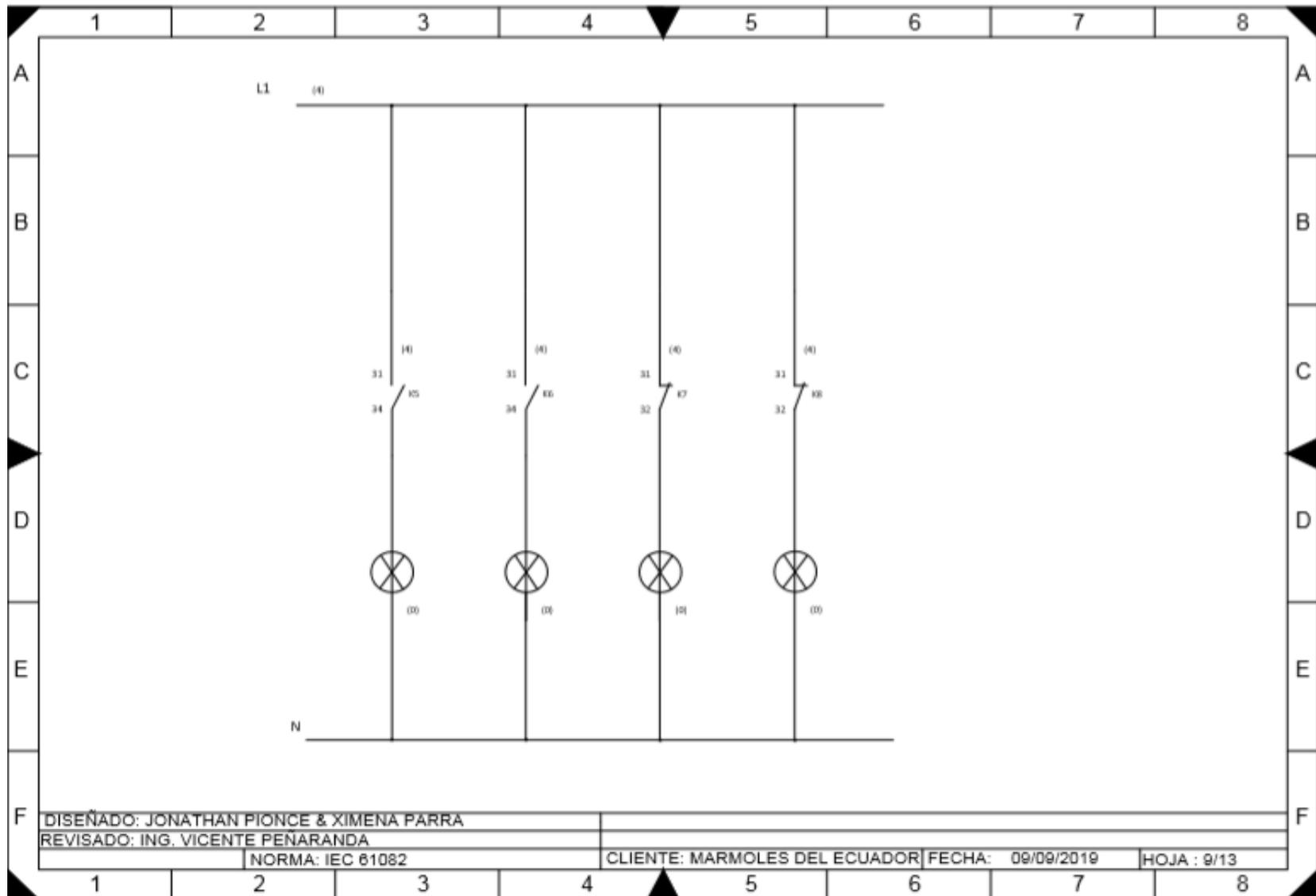


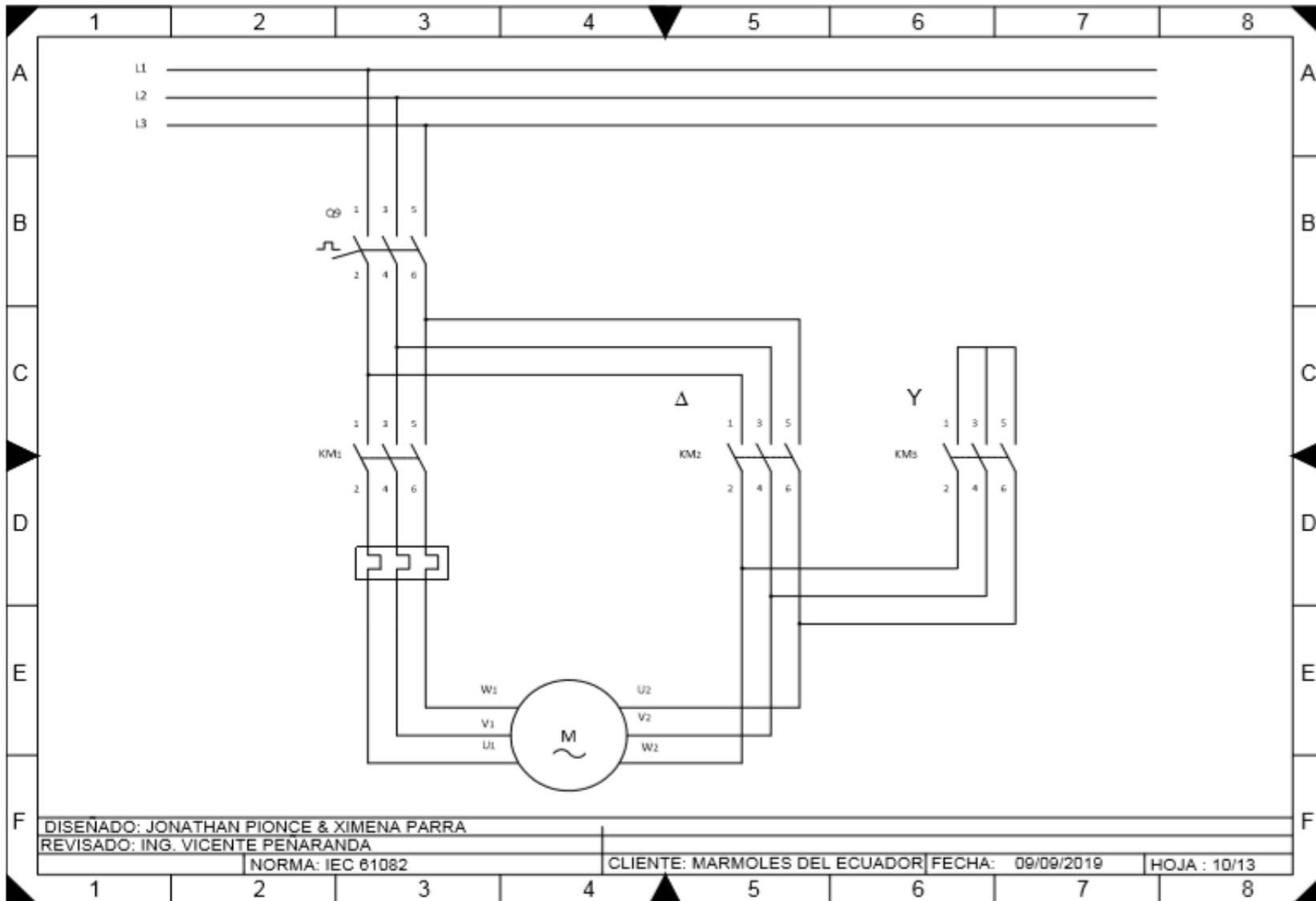


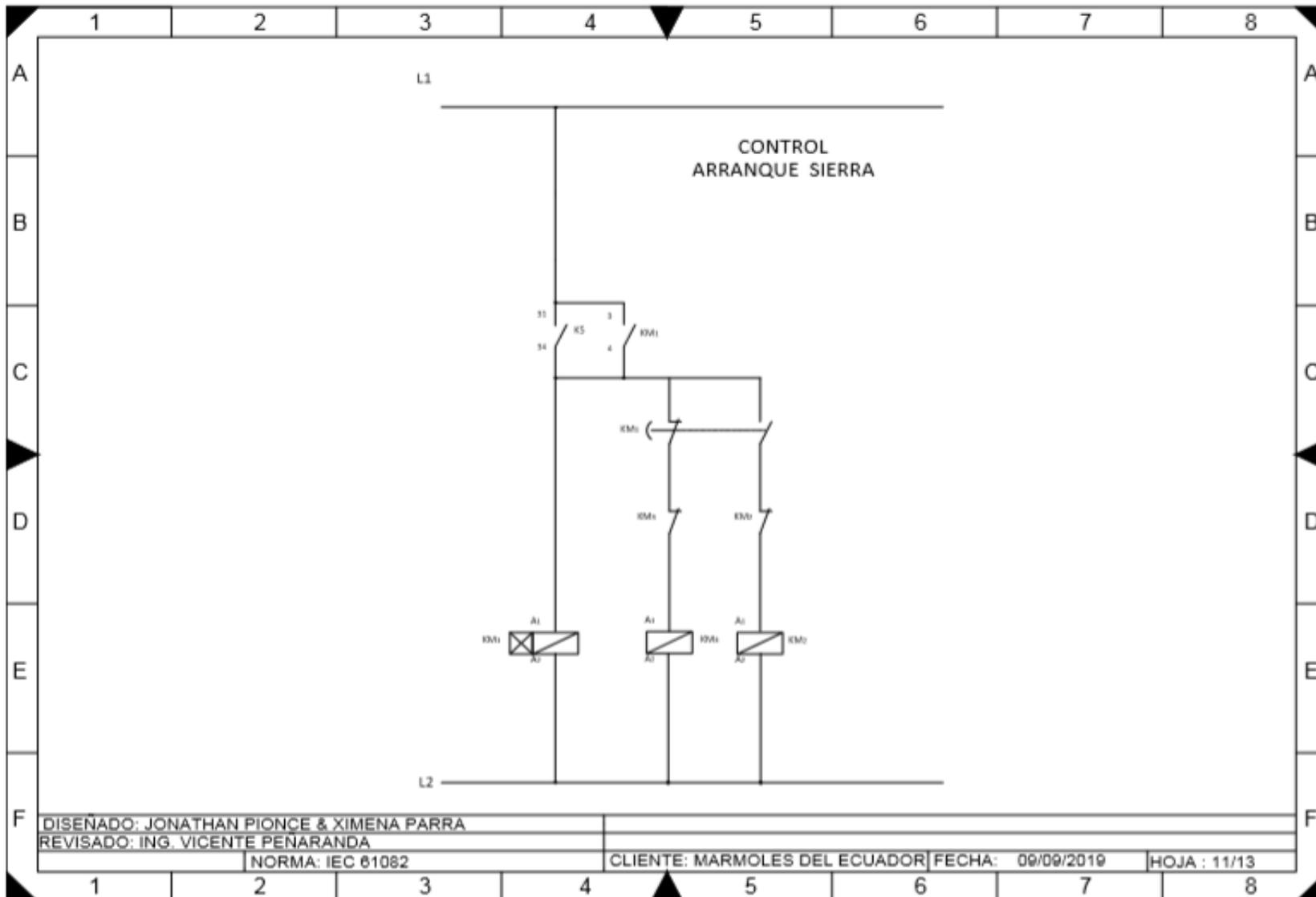


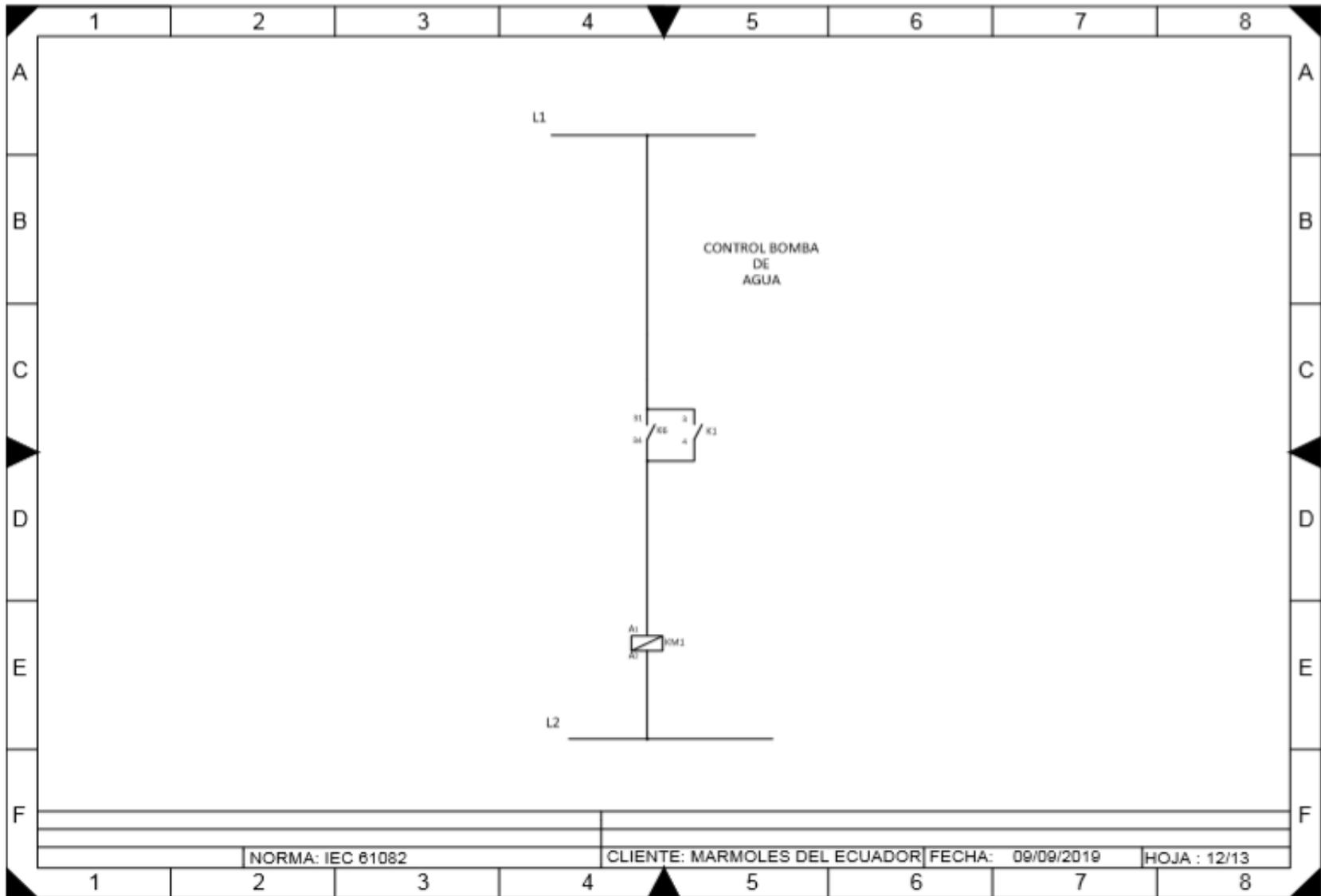


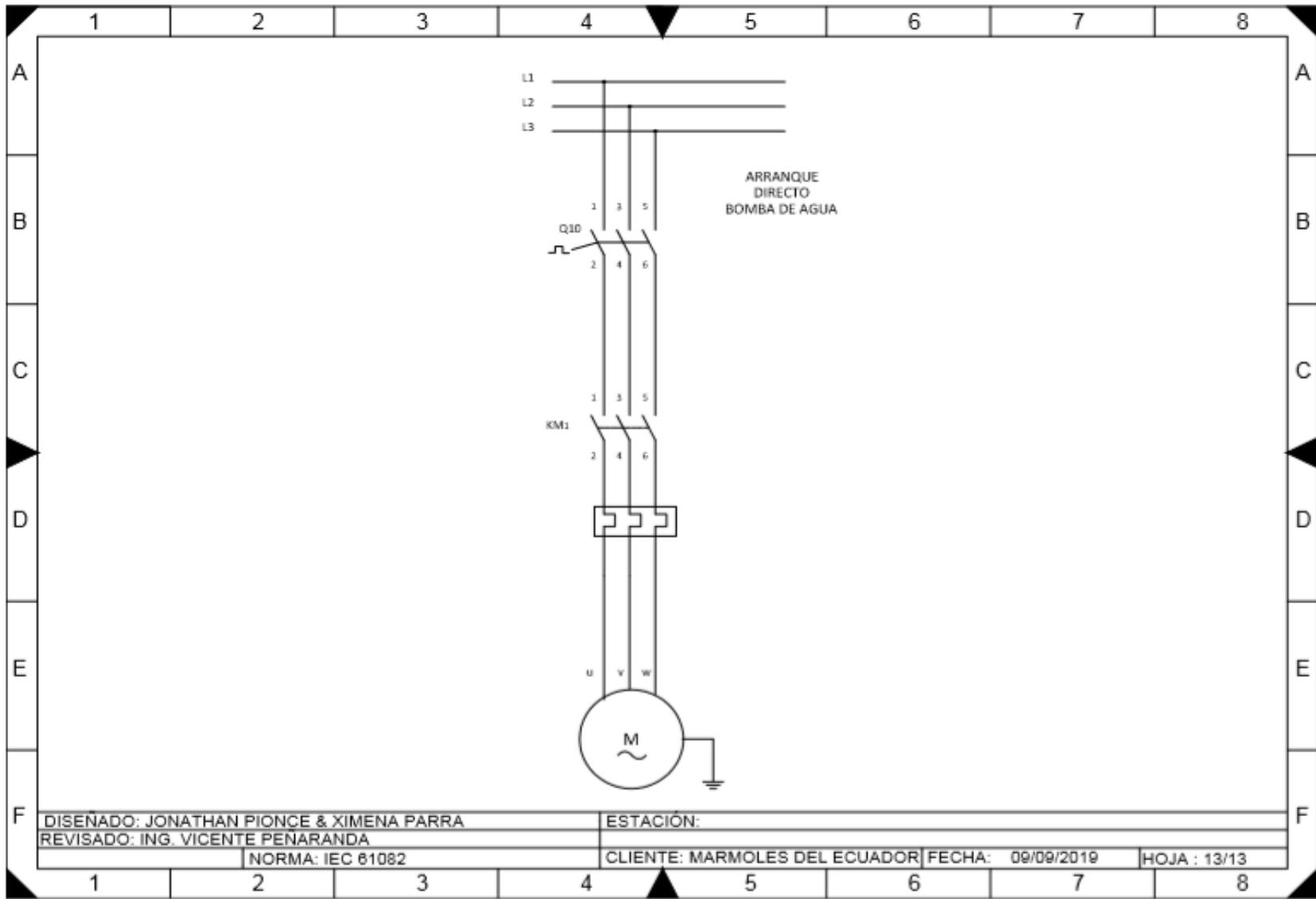






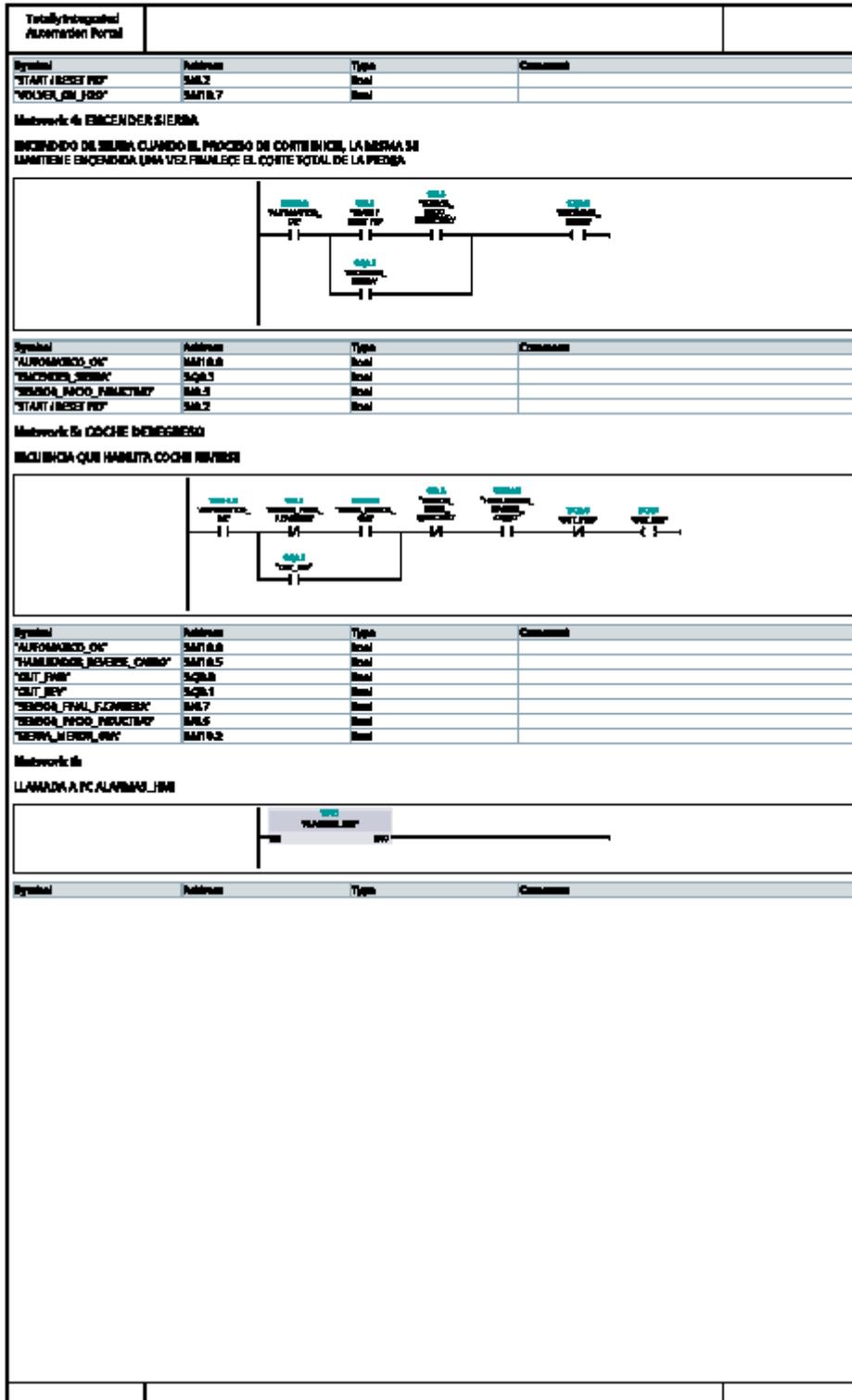






Anexo 2: Programación PLC S7-1200

Título del proyecto Automación Portal			
Tejido Cortadora de Mármol _ ME / TESIS [CPU 1214C DC/DC/DC] / Program blocks			
Módulo [OB1]			
Meta Propósito			
General			
Nombre	Módulo	Numero	1
Modificación	u. Usuario:		
Información			
Título	Módulo Program Source Obj.	Parámetro	
Objetivo	OBJ	Objeto definido	
Meta			
Nombre	Objeto tipo	Indicador de meta	Comentario
u. Objeto			
u. Objeto_Col	Objeto		Objeto col. de este OBJ
Referencia	Objeto		-Des. If referenc data are available
Tipo			
Comentario			
Redwork 1: MARCHA ARRANQUE OE			
Symbol	Address	Type	Comment
"AUTOMARCO"	M10.0	Bool	
"AUTOMARCO_ON"	M10.0	Bool	
"SEMA_230V"	M10.4	Bool	
"SEMA_230V_INDUCTIVO"	M10.5	Bool	
"SEMA_230V"	M10.1	Bool	
"SEMA_230V_INDUCTIVO"	M10.2	Bool	
"SEMA_230V_ON"	M10.7	Bool	
"SEMA_230V_INDUCTIVO"	M10.8	Bool	
Redwork 2: COCHE HACIA AISLANTE			
SECUENCIA QUE HABILITA EL COCHE FORMADO			
Symbol	Address	Type	Comment
"AUTOMARCO_ON"	M10.0	Bool	
"SEMA_230V_INDUCTIVO"	M10.1	Bool	
"SEMA_230V"	M10.2	Bool	
"SEMA_230V_INDUCTIVO"	M10.3	Bool	
"SEMA_230V"	M10.4	Bool	
"SEMA_230V_INDUCTIVO"	M10.5	Bool	
"SEMA_230V_ON"	M10.7	Bool	
"SEMA_230V"	M10.8	Bool	
"SEMA_230V_INDUCTIVO"	M10.9	Bool	
Redwork 3: ENCENDER BOMBA DE AGUA			
ENCENDIDO DE BOMBA DE AGUA CUANDO EMPIEZA EL PROCESO DE CONTE			
Symbol	Address	Type	Comment
"AUTOMARCO_ON"	M10.0	Bool	
"ENCENDER_BOMBA_AGUA"	M10.2	Bool	
"OFF_BOMBA_AGUA_ON"	M10.3	Bool	
"SEMA_230V_INDUCTIVO"	M10.5	Bool	



Totally Integrated Automation Portal

Teils Cortadora de Mármore_ME/ TESIS [CPU 1214C DC/DC/DC] / Program blocks

APAGADO BOMBA DE AGUA [OB124]

APAGADO BOMBA DE AGUA Properties

General

Name	Number	LEN	Type	OB	Language	LAD
APAGADO BOMBA DE AGUA						

Hardware **Hardware**

Title	Module	Hardware	Comment	Family
APAGADO BOMBA DE AGUA	0.1	U001-001		

APAGADO BOMBA DE AGUA

Name	Data type	Initial value	Comment
in/Out			
in/Out_Call	Bool		Initial call of this OB
Parameters	Bool		-Data, if relevant data are available
Temp			
Comment			

Network 1:

INDICADOR DE CORRIENTE ALTA

Symbol	Address	Type	Comment
"I0.0_IN. ALTA CORRIENTE"	DI0.0	Bool	
"Q0.0_OUT. ALTA CORRIENTE"	DO0.0	Bool	

Network 2:

INDICADOR DE CORRIENTE BAJA

Symbol	Address	Type	Comment
"I0.1_IN. BAJA CORRIENTE"	DI0.1	Bool	
"Q0.1_OUT. BAJA CORRIENTE"	DO0.1	Bool	

Network 3:

BT DE DESENLAMAMIENTO PARA OFF BOMBA DE AGUA UNA VEZ LLEGADO AL 80% DEL CONTE

Symbol	Address	Type	Comment
"I0.2_IN. BT DESENLAMAMIENTO PARA OFF BOMBA DE AGUA"	DI0.2	Bool	
"Q0.2_OUT. BT DESENLAMAMIENTO PARA OFF BOMBA DE AGUA"	DO0.2	Bool	
"T1_TIEMPO DESENLAMAMIENTO PARA OFF BOMBA DE AGUA"	SDT0.0	Time	

Network 4:

adiciona] para regresar el caso en caso que no habilita el res.

Symbol	Address	Type	Comment
"I0.3_IN. RESERVA DE AGUA"	DI0.3	Bool	
"Q0.3_OUT. RESERVA DE AGUA"	DO0.3	Bool	
"I0.4_IN. RESERVA DE AGUA"	DI0.4	Bool	
"Q0.4_OUT. RESERVA DE AGUA"	DO0.4	Bool	

Totally Integrated Automation Portal			
Symbol	Address	Type	Comment
"OFF_BOMBA_AGUA_DRY"	MAN&S	Bool	
"PULERA_CARGO_BOMBA"	MAN&S	Bool	
"SENOVA_FUOQ_INDUCTIVO"	MAN&S	Bool	
Network 6:			
ENCLOSURE BOMBA DE AGUA ON			
Symbol	Address	Type	Comment
"COMANDO_BOMBA_AGUA"	MAN&S	Bool	
"OFF_BOMBA_AGUA_DRY"	MAN&S	Bool	
Network 6:			
HABILITAR BOMBA PARA UN SEGUNDO ENCENDIDO			
Symbol	Address	Type	Comment
"COMANDO_BOMBA_AGUA"	MAN&S	Bool	
"SENOVA_FUOQ_INDUCTIVO"	MAN&S	Bool	
Network 7:			
Symbol	Address	Type	Comment
"HABILITADOR_BOMBA_CARGO"	MAN&S	Bool	
"PULERA_CARGO_BOMBA"	MAN&S	Bool	
"SENOVA_FUOQ_INDUCTIVO"	MAN&S	Bool	
Network 8:			
volver a encender bomba de agua			
Symbol	Address	Type	Comment
"HABILITADOR_BOMBA_CARGO"	MAN&S	Bool	
"PULERA_CARGO_BOMBA"	MAN&S	Bool	

Totally Integrated Automation Portal					
Tests Cortadora de Mármore _ ME / TESIS [CPU 1214C DC/DC/DC] / Program blocks ALARMAE_HMI [FC1]					
ALARMAE_HMI Properties					
General					
Name	ALARMAE_HMI	Number	1	Type	FC
Hardware	s7-300-1				
Information					
Icon		Number		Comment	300/300-1/FC1/ALARMAE_HMI/ALARMAE_HMI
Version	0.1	Used in			
ALARMAE_HMI					
Memory					
Input		Address		Comment	
Output		Address		Comment	
Temp		Address		Comment	
Constant		Address		Comment	
Return		Address		Comment	
ALARMAE_HMI		Start		Comment	
Network 1:					
Symbol	Address	Type	Comment		
"MOTORSTOP"	Q4.0	Bool			
"MOTORSTOP"	Q4.1	Bool			
Network 2:					
Symbol	Address	Type	Comment		
"MOTORSTOP"	Q4.0	Bool			
"MOTORSTOP"	Q4.1	Bool			
Network 3:					
Symbol	Address	Type	Comment		
"MOTORSTOP"	Q4.0	Bool			
"MOTORSTOP"	Q4.1	Bool			
"MOTORSTOP"	Q4.2	Bool			
Network 4:					
Symbol	Address	Type	Comment		
"MOTORSTOP"	Q4.0	Bool			
"MOTORSTOP"	Q4.1	Bool			
Network 5:					
Symbol	Address	Type	Comment		
"MOTORSTOP"	Q4.0	Bool			
"MOTORSTOP"	Q4.1	Bool			

Totally Integrated Automated Portal			
Symbol	Address	Type	Comment
'10.1'/'10.1'	10.1	Loop	
'10.100.100.100'/'10.100.100.100'	10.100.100.100	Loop	
Network 6:			
Symbol	Address	Type	Comment
'10.1'/'10.1'	10.1	Loop	
'10.100.100.100'/'10.100.100.100'	10.100.100.100	Loop	
Network 7:			
Symbol	Address	Type	Comment
'10.1'/'10.1'	10.1	Loop	
'10.100.100.100'/'10.100.100.100'	10.100.100.100	Loop	
Network 8:			
Symbol	Address	Type	Comment
'10.1'/'10.1'	10.1	Loop	
'10.100.100.100'/'10.100.100.100'	10.100.100.100	Loop	
Network 9:			
Symbol	Address	Type	Comment
'10.1'/'10.1'	10.1	Loop	
'10.100.100.100'/'10.100.100.100'	10.100.100.100	Loop	
Network 10:			
Symbol	Address	Type	Comment
'10.1'/'10.1'	10.1	Loop	
'10.100.100.100'/'10.100.100.100'	10.100.100.100	Loop	
Network 11:			
Symbol	Address	Type	Comment
'10.1'/'10.1'	10.1	Loop	
'10.100.100.100'/'10.100.100.100'	10.100.100.100	Loop	
Network 11:			

Terdaftar/Integrated		Anerkan Portal	
Symbol	Address	Type	Comment
"SERVA_APAKAS"	BARIS 6	Baris	
"SERVA_001"	BARIS 4	Baris	
Network 12:			
Symbol	Address	Type	Comment
"BOMBA_AKUM_001"	BARIS 5	Baris	
"BOMBA_DE_AKUM_001"	BARIS 3	Baris	
Network 13:			
Symbol	Address	Type	Comment
"BOMBA_AKUM_001"	BARIS 5	Baris	
"BOMBA_DE_AKUM_001"	BARIS 4	Baris	

Totally Integrated Automation Portal							
Teles Cortadora de Mármore _ ME / TESIS [CPU 1214C DC/DC/DC] / Program blocks PID [OB30]							
PID Properties							
General							
Name	PID	Number	00	Type	OB	Language	LAD
Hardware	s7-300-1						
Information							
Block		Number		Comment		Priority	
Version	0.1	Upper-Byte	00				
PID							
Name		Data type	Real	Initial value		Comment	
in_PV							
in_Set_Coil		Bool				Initial coil of this OB	
Event_Count		Int				Event discarded	
Temp							
Comment							
Network 1: PID							
Symbol	Address	Type	Comment				
"IN_ANALOG_IN_CV_0"	SA004	Int					
"IN_ANALOG_IN_CV_1"	SA005	Real					
"OUT_ANALOG_OUT_CV"	SA006	Real					
"OUT_ANALOG_OUT_CV_1"	SA007	Int					
"INT_POINT"	SA008	Real					
"START / STOP PV"	SA009	Bool					
Network 2:							
Symbol	Address	Type	Comment				
"IN_ANALOG_IN_CV_0"	SA004	Int					
"IN_ANALOG_IN_CV_1"	SA005	Real					
"OUT_ANALOG_OUT_CV"	SA006	Real	proportional gain				
Network 3:							
Symbol	Address	Type	Comment				
"IN_ANALOG_IN_CV_0"	SA004	Int					
"IN_ANALOG_IN_CV_1"	SA005	Real	max drive				
Network 4:							

Totally Integrated Automated Portal			
Symbol	Address	Type	Comment
"SW_BEG_00"	BAE04	Port	
"SW_Compact_1", "RelibusCH/Re- serv.01"		Port	Derivative class

Tutkijatoimiston Ajoneuvojen Portal								
Teasit Korttorein de Märmel _ ME / TESIS [CPU 1.214C DC/DCDC] / Program blocks PID_DAFOS [DB2]								
PID_DAFOS Properties								
General								
Name	PID_DAFOS	Number	2	Type	DB	Language	DB	
Manufacturer	siemens							
Information								
URL		urltype		Comment		Priority		
Version	0.1	Used software						
PID_DAFOS								
Name		Data type	Structure	Reset	Accessible from SIM	Visible in SIM	Response	Comment
▼ Basic								
SETPOINT	Real	Auto	False	Yes	True	False		
SET	Bool	Auto	False	Yes	True	False		

Totaly integratsi Anamarsen Portal							
Tezis Cortadora de Marmel _ ME / TESIS [CPU 1.214C DC/DCDC] / Program blocks SEÑAL_ANALOGA [08123]							
SEÑAL_ANALOGA Propiedades							
General							
Nombre	SEÑAL_ANALOGA	Number	123	Type	IO	Language	LAO
Modificación	u/2007/03						
Información							
Objeto	Table Program Array C++	Nombre		Comentarios		Posible	
Propiedades	0,1	Uso-definido					
SEÑAL_ANALOGA							
Nombre		Data type	Indicador de datos	Comentarios			
▼ I/P/A							
	u/101_cpl	Real		Initial call of this OB			
	Normaliza	Real		-Data. If normalized data are available			
	Temp						
	Comenzar						
Network 1: ADQUISICION DE VALOR DE CORRIENTE							
NORMALIZACION Y ESCALAMIENTO DE LA SENAL DE CORRIENTE							
Symbol	Address	Type	Comment				
TM_ANALOGA_L_EMB_SMAP	34904	Int					
TM_NORMAL_L_EMB_SMAP	34915	Real					
TM_SCAL_L_EMB_SMAP	34912	Real					

Totally Integrated Assessment Portal							
Teaís Cortadora de Mármer _ ME / TESIS [CPU 1214C DC/DC/DC] / Program blocks TIEMPO_CALCULADO_ON_H2O [08125]							
TIEMPO_CALCULADO_ON_H2O Propiedades							
General							
Name	TIEMPO_CALCULADO_ON_H2O	Number	120	Type	OB	Language	LAD
Networking Information							
File	Table Program Temp Cy-Clap	Folder		Comment		Family	
Version	0.1	User-defined ID					
TIEMPO_CALCULADO_ON_H2O							
Inputs							
Input	in/val_Call	Real		Initial call of this OB			
Parameter		Real		-Data, if relevant data are available			
Temp							
Comment							
Network 1:							
PORCENTAJE DE CORTE DE PIEDRA EN DONDE DEBE APAGAR BOMBA DE AGUA							
Symbol	Address	Type	Comment				
%CORTA_PIEDRA	SM005	Bool					
%CORTE_PIEDRA	SM004	Bool					
Network 2:							
ADQUISICION DE TIEMPO PARA DIFERENTE TAMAÑO DE PIEDRA.							
Symbol	Address	Type	Comment				
%CORTE_PIEDRA	SM005	Bool					
%RESULTADO_TIEMPO_X_PIEDRA	SM000	Bool					
%TIEMPO_PIEDRA	SM006	Bool					
Network 3:							
ADQUISICION DE TIEMPO PARA DIFERENTE TAMAÑO DE PIEDRA.							
Symbol	Address	Type	Comment				
%RESULTADO_TIEMPO_X_PIEDRA	SM000	Bool					
%TIEMPO_CORTA_PIEDRA	SM001	Bool					
Network 4:							
CONVERSION DE MILESEGUNDAS A SEGUNOS							
Symbol	Address	Type	Comment				
%TIEMPO_MILLISEGUNDAS	SM002	Bool					
%TIEMPO_CONVERTIDO	SM003	Bool					

Totally Integrated Automation Portal			
Network 3:			
CONVERSION DE DATOS REAL TIME, PARA ENCENDIDO DE BOMBA DE AGUA			
Symbol	Address	Type	Comment
"COMANDO_REAL_TIME"	SAND0	Real	
"COMANDO_TIME"	SAND0	Time	
Network 4:			
MONTAJA DE TIEMPO DE ENCENDIDO DE BOMBA DE AGUA			
Symbol	Address	Type	Comment
"COMANDO_TIME"	SAND0	Time	
"TIEMPO_ENCENDIDO_BOMBA_AQUA"	SAND0	Time	

Anexo 3: Manual de Operación del sistema

MANUAL DEL OPERADOR

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA MENCIÓN INDUSTRIAL



Titulo:

“MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE CORTE DE PIEDRAS DE MÁRMOL
MEDIANTE EL DISEÑO DE UN CONTROL PID PARA LA FÁBRICA MÁRMOLES
DEL ECUADOR”

AUTORES:

XIMENA ALEXANDRA PARRA ROMERO
JONATHAN WILLIAM PIONCE MENDOZA

TUTOR:

ING. VICENTE PEÑARANDA
FEBRERO 2020
GUAYAQUIL- ECUADOR

ÍNDICE

1. Objetivo.
2. Descripción del Sistema
3. Funcionamiento
 - 3.1. Pantallas de HMI
 - 3.2. Descripción de operación del sistema de corte.
 - 3.3. Paro de Emergencia

1. OBJETIVO

Facilitar al operador la manipulación del sistema de corte de piedra de mármol.

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Entre las facilidades que brinda el sistema implementado se tienen las siguientes:

- ✓ Ingreso de la longitud de la piedra.
- ✓ Marcha para dar arranque al sistema.
- ✓ Supervisión del proceso de corte.
- ✓ Visualización de estado de encendido de la bomba en HMI.
- ✓ Visualización del valor de corriente de consumo en tiempo real en HMI.
- ✓ Visualización de avisos y alarmas, las cuales son:
 - Térmico de motor de sierra
 - Térmico de motor de agua para enfriamiento.
 - Motores encendidos.
 - Señal de protección fuera de rango de coche
 - Paro de emergencia

3. FUNCIONAMIENTO

Para iniciar el proceso se debe verificar que tanto el tablero de fuerza como el tablero de control se encuentren energizados.

3.1. Pantallas del HMI

El sistema consta de una pantalla principal en donde se puede observar un menú de visualización, que se detalla a continuación:

1. Tema
2. Proceso
3. Parámetros a operar.
4. Estado del sistema.

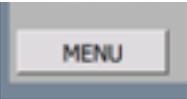
5. Tendencias.
6. Eventos y Alarmas.



En la pantalla Tema, se observa el título del proyecto, integrantes y tutor del mismo, también se encuentran 4 teclas que vienen desde la letra F1 a F4 las cuales al pulsar no generan ningún cambio de estado ya que no se encuentran configuradas.



Para ir a las diferentes pantallas que brinda el HMI se da clic en la opción MENÚ donde se dirige a la pantalla principal para poder escoger la opción deseada.



En la pantalla de Proceso se muestra el sistema en tiempo real del mismo y los valores de frecuencia y corriente.



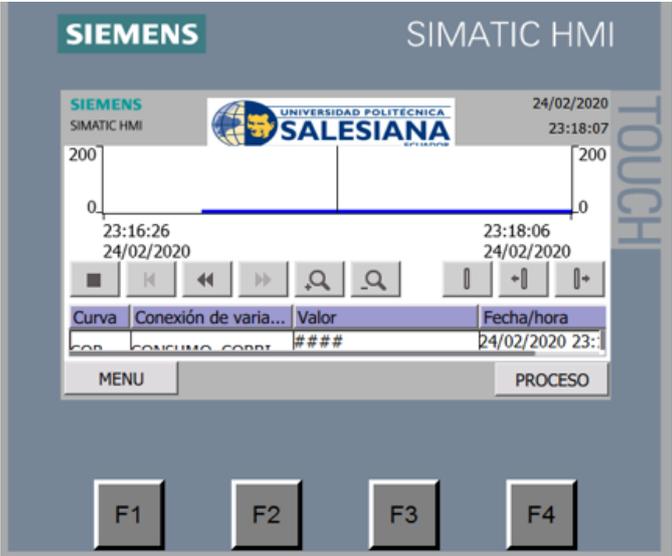
En esta pantalla Parámetros de Operación, el operador debe ingresar la distancia de la piedra, ya que las piedras son de diferente longitud, el tiempo patrón es un valor fijo que va por default.



La pantalla estado del sistema es de monitoreo, se visualizan las protecciones principales para que el proceso pueda iniciar.



En la pantalla de Tendencia se observan los gráficos de corriente y frecuencia del proceso.



En la pantalla se observan las alarmas y eventos que se generen al inicio, durante y final de proceso, como:

1. Sistema en automático.
2. Paro de emergencia activado.
3. Relé térmico de motor sierra activado, etc.



3.2.Descripción de operación del sistema de corte.

1. Se coloca la piedra en el coche que desplaza hacia la sierra.
2. Se debe verificar que el sistema esté en automático.
3. El coche debe estar al inicio del proceso, ya que existe un sensor inductivo donde indica el punto de partida del proceso.
4. Se debe ingresar la longitud de la piedra en la mímica denominada PARÁMETRO A OPERAR.
5. Una vez ingresado el valor de la longitud de la piedra el operador debe verificar que no haya ningún riesgo.
6. Una vez que el área este ok, se debe pulsar el botón de marcha del sistema.
7. El operador debe pulsar marcha para iniciar el corte, el proceso empieza de manera automática con el encendido de la sierra, sistema de enfriamiento y desplazamiento de la plancha con la piedra.

8. Una vez finalizado el proceso de corte, el controlador envía una señal para que el coche empiece a retroceder.
9. Cuando el coche este llegando al punto de partida este debe ser detectado por el sensor inductivo, el cual envía la señal y para el sistema de corte.
10. Cuando el sistema de los motores apagado el operador puede retirar el producto terminado (plancha de mármol).
11. Una vez retirada la plancha el operador debe empujar la piedra hacia el tope de la base para el siguiente corte.
12. El operador debe inspeccionar que no haya ningún riesgo para iniciar el proceso una vez más.

3.3.Paro de emergencia.

Existe un pulsador de paro de emergencia, este debe ser utilizado únicamente en caso que ocurra un evento que obligue al sistema a detenerse sin que el proceso haya culminado.