

Tecnológico de Costa Rica
Área Académica de Ingeniería Mecatrónica



Diseño del sistema de control para la modernización del laboratorio de Hidráulica del ICE

Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de
Ingeniero en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura

Manfred Gerardo Quirós Campos

Cartago, 20 de junio de 2018

Carta de autenticidad

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.



Manfred Gerardo Quiros Campos

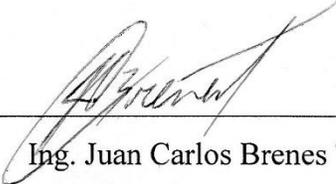
Ced: 2-0726-0776

Cartago, 20 de junio de 2018

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Área Académica de Ingeniería Mecatrónica
Proyecto de Graduación
Tribunal Evaluador

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



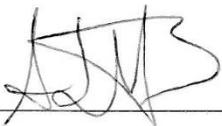
Ing. Juan Carlos Brenes Torres

Profesor Lector



Ing. Johanna Vanessa Muñoz Pérez

Profesora Lectora



Ing. Ana Lucía Morera Barquero

Profesora Asesora

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por el Área Académica de Ingeniería Mecatrónica.

Cartago, 20 de junio de 2018

Índice general

Índice de Figuras	v
Índice de Tablas	vii
Índice de Ecuaciones	ix
Dedicatoria	x
Agradecimiento	xi
Capítulo 1. Introducción.	1
1.1 Entorno del proyecto.	1
1.2. Definición del problema	3
1.2.1 Síntesis del problema	4
1.3 Enfoque de la solución.	4
1.4 Meta y Objetivos	5
1.4.1 Meta	5
1.4.2 Objetivo general	5
1.4.3 Objetivos específicos	5
Capítulo 2. Marco teórico	6
2.1. Descripción general del laboratorio a automatizar	6
2.2 Antecedentes bibliográficos	7
2.3 Hidrograma	7
2.3 Controlador Lógico Programable (PLC)	8
2.4 Control automático en procesos industriales.	9
2.4.1 Controlador proporcional, integral y derivativo (PID)	11
2.5 Comunicación industrial: Modbus TCP	12
Capítulo 3. Sistema de Control del Laboratorio de Hidráulica.	13

3.1 Descripción general de los equipos que se utilizan	13
3.1.1 Equipos suministrados por el ICE	13
3.2 Selección de los variadores de frecuencia.....	15
3.2.1 Modos de operación de las bombas.....	16
3.2.2 Variador de frecuencia Schneider Electric ATV630D37N4	17
3.2.3 Conexión de control del ATV630D37N4	19
3.3 Selección del PLC y sus módulos de entradas y salidas.....	20
3.3.1 Entradas Analógicas.....	21
3.3.2 Entradas digitales	23
3.3.3 Salidas Analógicas	24
3.3.4 Salidas Digitales	24
3.3.5 PLC Schneider Electric Modicon M340.....	25
3.3.5.1 CPU	26
3.3.5.2 Módulos de entradas analógicas.....	28
3.3.5.3 Módulos de entradas digitales	30
3.3.5.4 Módulos de salidas digitales	31
3.3.5.5 Módulo de salidas analógicas	32
3.3.5.6 Fuentes de alimentación.....	33
3.3 Modos de operación.....	35
3.3.1 Modo de operación local.	35
3.3.2 Modo operación manual	35
3.3.3 Modo AUTO.....	36
3.4 Definición y diseño de alarmas	38
3.5 Selección, diseño e implementación de interfaz humano máquina (HMI).....	40
3.5.1 Selección del HMI.....	40

3.5.2 Diseño de SCADA	42
3.6 Programación del PLC	45
3.6.1 Cumplimiento de condiciones	45
3.6.2 Lógica del proceso	48
3.6.4 Control de las válvulas	52
3.6.5 Lectura de sensores	53
3.6.6 Control de Variadores	54
Capítulo 4. Resultados y Análisis.	56
4.1 Modo manual y modo de operación local	56
4.3 Modo automático	60
4.3.1 Controlador PID	60
4.3.2 Controlador con ecuación retroalimentada	63
4.4 Validación del Proyecto	67
4.5 Plan de Mantenimiento	70
4.5 Análisis Financiero	71
Capítulo 5. Conclusiones y Recomendaciones.	75
5.1 Conclusiones.	75
5.2 Recomendaciones.	76
Referencias	77
Anexos	I
Anexo A. Carta de Aceptación por parte de la Empresa	II
Anexo B. HOJA DE INFORMACIÓN DEL PROYECTO	III
Anexo C. Manual de Usuario.	V
Anexo D. Documentación de programación del PLC.	XVII
Anexo E. Planos	XVIII

Anexo F. Diagrama de Instrumentación y Tubería: Nomenclatura y Simbología XIX
Anexo G. Diagrama de Instrumentación y Tubería: DTI (P&ID). XX

Índice de Figuras

Figura 1. Planta General. [2]	2
Figura 2. Hidrograma. [22].....	8
Figura 3. PLC, funcionamiento general. [17].....	9
Figura 4. Control de lazo abierto. [18]	10
Figura 5. Control de lazo cerrado. [18]	11
Figura 6. Controlador PID. [21]	11
Figura 7. Encendido de bombas por energía consumida. (Fuente propia)	17
Figura 8. Schneider Electric Altivar Process ATV 630. [5].....	18
Figura 9. Diagrama del circuito de control del variador VF2. [4].....	19
Figura 10. Diagrama del circuito de potencia del variador VF1. [4]	20
Figura 11. Arquitectura de control del laboratorio de hidráulica. [2].....	21
Figura 12. Diagrama de estructura y posicionamiento de módulos del PLC. [4].....	26
Figura 13. Modicon M340. [6]	26
Figura 14. Módulo BMXAMI0800. [7]	28
Figura 15. Módulo BMXAMI0410 [8]	29
Figura 16. Módulo BMXDDI3202K. [9]	30
Figura 17. Módulo BMXDDI1602. [10]	31
Figura 18. Módulo BMXDDO3202K. [11].....	32
Figura 19. Módulo BMXDDO1602. [12].....	32
Figura 20. Módulo BMXAMO0210. [13].....	33
Figura 21. Fuente de alimentación BMXCPS3020. [14]	34
Figura 22. Fuente de alimentación BMXCPS2010. [15]	34
Figura 23. Diagrama de Flujo del modo automático. (Fuente propia)	37
Figura 24. Diagrama de flujo del proceso de ejecución del modo automático. (Fuente propia).....	38
Figura 25. Diagrama de flujo de alarmas de válvulas. (Fuente propia).....	39
Figura 26. Diagrama de flujo de alarmas de sensores. (Fuente propia)	40
Figura 27. Dell OptiPlex 7040. [23].....	41
Figura 28. Monitor HIS-ML17 STAH. (Fuente Propia)	42
Figura 29. Diagrama de flujo del SCADA. (Fuente propia)	43

Figura 30. Configuración de comunicación Modbus TCP. (Fuente propia)	44
Figura 31. CE_Condiciones_EN, primera parte. (Fuente Propia)	46
Figura 32. CE_Condiciones_EN, segunda parte. (Fuente Propia)	47
Figura 33. VC_Validación_condiciones. (Fuente Propia)	48
Figura 34. LP_Logica_proceso (Primera parte). (Fuente Propia)	49
Figura 35. LP_Logica_proceso (Segunda parte). (Fuente Propia)	50
Figura 36. LP_Logica_proceso (Tercera parte). (Fuente Propia).....	51
Figura 37. LP_Logica_proceso (Cuarta parte). (Fuente Propia)	51
Figura 38. Diagrama de flujo del accionamiento de las válvulas. (Fuente propia)	52
Figura 39. Bloque de función de válvula. (Fuente Propia).....	52
Figura 40. Lógica de lectura de sensores. (Fuente propia).....	53
Figura 41. Bloque de función de sensor. (Fuente Propia)	54
Figura 42. Lógica de bloque de arranque de variadores. (Fuente propia)	54
Figura 43. Bloque de función de variadores. (Fuente propia)	55
Figura 44. Respuesta al control del caudal por medio de PID. (Fuente Propia)	61
Figura 45. Mejor resultado con controlador PID. (Fuente Propia).....	63
Figura 46. Gráfico de caudal vs frecuencia, configuración de bombas individual. (Fuente Propia)	64
Figura 47. Ecuación con retroalimentación para control de frecuencia. (Fuente Propia)	66
Figura 48. Bloques para control de frecuencia. (Fuente Propia)	66
Figura 49. Resultado de implementación del control con ecuación de segundo orden. (Fuente Propia)	67

Índice de Tablas

Tabla 1. Características del equipo ATV630D37N4. (Fuente Propia).....	18
Tabla 2. Lista de Entradas Analógicas. (Fuente Propia)	22
Tabla 3. Listas de Entradas Digitales. (Fuente propia).....	23
Tabla 4. Lista de Salidas Digitales. (Fuente propia).....	24
Tabla 5. Características del CPU BMXP342020. (Fuente Propia)	27
Tabla 6. Características del módulo BMXAMI0800. (Fuente Propia).....	28
Tabla 7. Características del módulo BMXAMI0410. (Fuente Propia).....	29
Tabla 8. Características del módulo BMXDDI3202K. (Fuente Propia)	30
Tabla 9. Características del módulo BMXDDI1602. (Fuente Propia)	31
Tabla 10. Descripción de Alarmas. (Fuente propia).....	44
Tabla 11. Verificación de comunicación y transmisión de señales de los sensores. (Fuente propia).....	56
Tabla 12. Verificación de funcionamiento de las válvulas desde el HMI. (Fuente Propia). 57	
Tabla 13. Confirmación con calibrador de lazo de señal de confirmación de válvula proporcional. (Fuente Propia).....	58
Tabla 14. Confirmación de ejecución de apertura de válvula proporcional. (Fuente Propia)	58
Tabla 15. Verificación de funcionamiento de variadores. (Fuente Propia).....	59
Tabla 16. Verificación de lógica en modo automático. (Fuente Propia)	60
Tabla 17. Pruebas de constantes del PID. (Fuente Propia).....	62
Tabla 18. Datos para obtener las curvas de mejor ajuste. (Fuente Propia).....	64
Tabla 19. Constantes usadas en el control automático. (Fuente Propia)	65
Tabla 20. Pruebas de validación del sistema. Fuente Propia)	68
Tabla 21. Hidrograma para obtención del porcentaje del error en el modelo 3. (Fuente propia).....	69
Tabla 22. Hidrograma para obtención del porcentaje del error en el modelo 1. (Fuente propia).....	70
Tabla 23. Plan de Mantenimiento. (Fuente Propia).....	70
Tabla 24. Costo de operadores del laboratorio sin sistema de control. (Fuente Propia)	71
Tabla 25. Costo aproximado del proyecto. (Fuente Propia).....	71

Tabla 26. Ahorro económico por prueba. (Fuente Propia).....	72
Tabla 27. Flujo de caja proyectado. (Fuente propia).....	73

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Valor anual neto. (VAN)	73
Ecuación 2. Tasa interna de retorno. (TIR)	73
Ecuación 3. Retorno sobre la inversión. (TIR).....	73

Dedicatoria

El proyecto de graduación realizado es la culminación de mi carrera como Ingeniero y va dedicado a mi familia que son los que han estado para darme su apoyo en todo momento, permitiéndome llegar hasta acá. Todo se los debo a mis padres, esto es una forma de agradecerles lo que han hecho por mí.

Agradecimiento

Mi familia es mi primer soporte, y agradezco su apoyo en toda mi carrera.

Agradezco a Dios, quien me ha guiado en todo momento.

Agradezco a todas las personas involucradas durante los años de universidad, compañeros de trabajos, compañeros de clase, profesores, personal administrativo tanto del Área Académica de Ingeniería Mecatrónica como del Tecnológico de Costa Rica. Sin todos ellos no hubiera llegado hasta este punto.

Agradezco al equipo de ControlSoft, que me abrieron las puertas para darme un proyecto y desarrollarlo. Me dieron una gran oportunidad, aprendiendo como desarrollar un proyecto de ingeniería.

Agradezco al ICE por haberme brindado el espacio y darme las facilidades en sus instalaciones para desarrollar e implementar el proyecto.

Capítulo 1. Introducción.

1.1 Entorno del proyecto.

Sistemas ControlSoft, se fundó en el año 2002 por tres ingenieros eléctricos graduados de la Universidad de Costa Rica. La empresa nace de una idea presentada en el Concurso Nacional de Emprendedores, actividad que promueve el Instituto Tecnológico de Costa Rica, en este concurso obtuvieron el segundo lugar en el área de servicios. En la actualidad la empresa tiene como objetivo brindar soluciones integrales a los procesos de manufactura industrial, ahora enfocando sus proyectos a la Industria 4.0.

Sistemas ControlSoft fue subcontratado para realizar la última etapa de modernización del Laboratorio Hidráulico del Centro de Servicio de Diseño del Instituto Costarricense de Electricidad (CSD-ICE). Este proceso de modernización consiste en cambiar las tres bombas con las que cuenta el laboratorio por tres de 40 hp con las mismas características, que a la vez debe contar con variadores de frecuencia para controlarlas. Se deben colocar electroválvulas e instrumentación (medidores de caudal, medidores de presión, medidores de nivel) en lugar de las válvulas manuales utilizadas en la actualidad. Por último, colocar un controlador y una interfaz humano-máquina para que desde un panel de control se pueda supervisar el arranque, la adquisición de datos de forma automática y facilitar la creación de reportes de pruebas.

El control del sistema se realizaba de manera manual, la apertura y cierre de las válvulas, el arranque de las bombas y la adquisición de datos, de modo que hay que movilizarse por todo el laboratorio para poner en funcionamiento el modelo en el que se realizarán las pruebas para obtener hidrogramas. Esto conlleva a que existan muchas pérdidas de tiempo, además de errores humanos en la toma y almacenamiento de los datos.

Este laboratorio está compuesto por tres modelos de estudio, en los modelos uno y dos se regula la velocidad de las bombas basados en el caudal deseado por el operador y en el modelo tres se debe regular basado en el caudal, en la presión o ambos. Además, el modelo

uno posee solamente una tubería de entrada de agua de 100 mm, el modelo dos posee cuatro tuberías, de 75 mm, 100 mm, 150 mm y 200 mm, y el modelo 3 una tubería de 200 mm, donde cada tubería posee una válvula y un sensor de caudal. Cuando se realiza una prueba, se debe de seleccionar el modelo y la tubería requerida.

Finalizada la implementación de la última etapa, se espera que los datos recolectados puedan ser almacenados por un tiempo de tres meses de manera que exista registro para realizar los informes. En la Figura 1 se muestra un plano del laboratorio en el cual se observa la ubicación de los modelos y donde se ubicará el panel de control. El proceso de modernización de este laboratorio lleva varios años en ejecución, así que existe documentación suficiente para conocer el proceso que se ha seguido por parte del ICE.

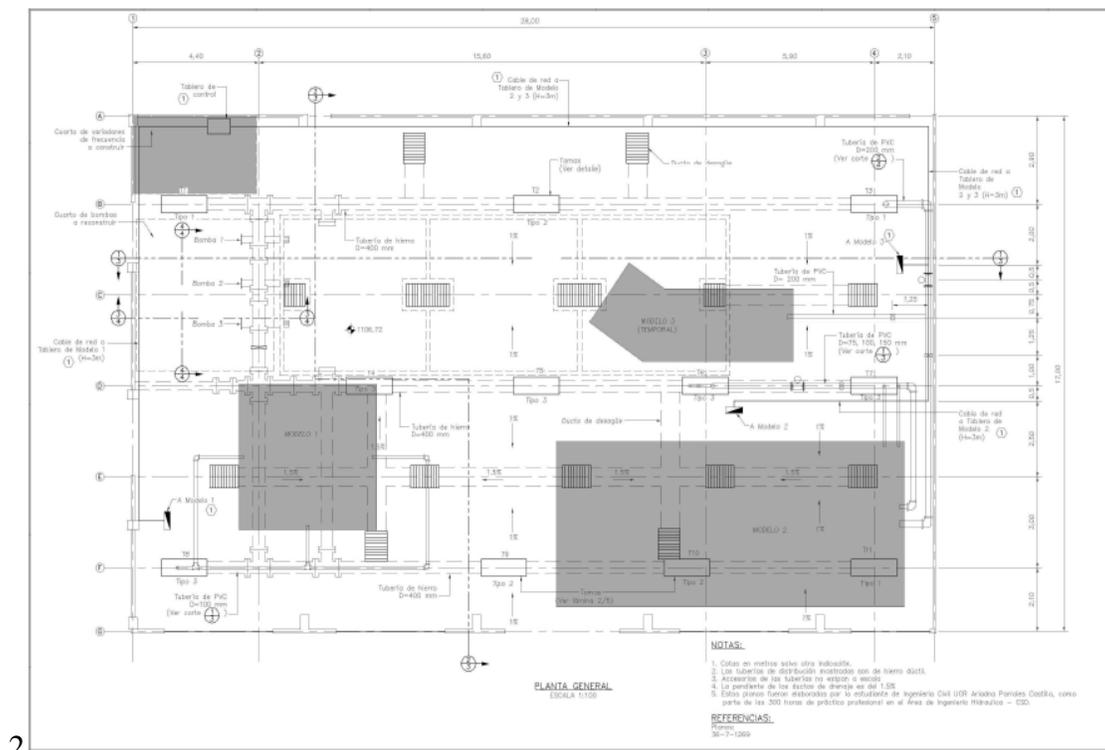


Figura 1. Planta General. [2]

Para la selección de los variadores, existe un informe de práctica profesional realizado en el 2015 por Ariadna Parrales Castillo [4]. Este informe posee datos importantes para la ejecución del proyecto en curso, uno de ellos es la obtención de las fórmulas para determinar la velocidad de las bombas para determinado caudal, tanto en configuración de encendido en serie como en paralelo, de manera que se analiza la eficiencia en diferentes casos. Este

informe recomienda dos puntos a tomar en cuenta para la implementación de los variadores, se recomienda que las bombas no trabajen a una frecuencia menor a los 20 Hz y la instalación de una válvula reguladora para el modelo tres, esto para el caso en que se desee trabajar con cargas altas.

Como se mencionó anteriormente, este proyecto pretende concluir un trabajo que tiene años en ejecución. Basándose en trabajos previos y tomando los instrumentos ya proporcionados por el ICE se van a determinar los equipos que faltan. Por otra parte, al ser un sistema para una entidad pública y que posee un gran interés por la eficiencia energética, es necesario presentar los consumos de energía, por ende, los variadores de frecuencia deben de proveer esta información.

1.2. Definición del problema

La función de este laboratorio es la adquisición de datos a diferentes caudales para la generación de informes. Todo este proceso se realiza en la actualidad de manera manual, lo cual dificulta la labor del investigador y genera retrasos en la adquisición de datos.

El laboratorio requiere de válvulas para el determinar el camino que el caudal va a tomar, esto basado en la selección del modelo que se va a estudiar en el momento. Además, para el control del caudal, es necesario determinar si se utilizan las bombas en serie o en paralelo, así como cuántas bombas se van a arrancar. Este proceso se hace de manera manual y quien determina la forma en que trabajan las bombas es el usuario. Además, no se asegura que el desgaste de las bombas sea uniforme.

Para realizar los informes es necesario tomar datos recopilados en el sitio, lo cual puede inducir en errores humanos. Además, se debe de tomar en cuenta que no es posible recopilar todos los datos de una vez. Por ello nace la importancia de automatizar el proceso y tener un registro de los datos obtenidos, así como la generación de hidrogramas discretos de caudales con el fin de tener datos en tiempo real proveídos por los instrumentos de medición seleccionados, y de esta manera evitar que el investigador se esté desplazando por el laboratorio. Uno de los requerimientos del ICE es que el desgaste de las tres bombas sea lo más homogéneo posible, esto por medio del consumo de energía acumulado de cada una de las bombas.

1.2.1 Síntesis del problema

Existe la necesidad de generar un sistema de control que permita automatizar el proceso de adquisición, almacenamiento y visualización de datos en el Laboratorio de Hidráulica del Instituto Costarricense de Electricidad.

1.3 Enfoque de la solución

Ya en este proyecto se ha venido trabajando, las bombas nuevas fueron compradas, al igual que los sensores y actuadores necesarios, esto porque el Instituto Costarricense de Electricidad así lo había planteado. La parte subcontratada es realizar el sistema de control de los equipos, con algunos requisitos básicos.

Dado que se debe diseñar e implementar el sistema de control, adquisición, procesamiento y visualización de datos, así como el almacenamiento de datos por un periodo mínimo de tres meses, se implementará la siguiente solución:

- Determinación de los requerimientos del cliente: Como primer paso se debe de escuchar la necesidad del cliente, así como los requerimientos mínimos que solicita, esto con el fin de definir si es factible su implementación.
- Valorar las opciones para la solución: Se debe de plantear una serie de posibles soluciones, las cuales logren cubrir las necesidades mínimas del cliente con posibilidad de mejoras en el futuro, tomando en cuenta cuáles ventajas y desventajas presenta cada una de ellas.
- Diseño del control automático: Se debe de plantear las variables a controlar de manera autónoma y cuáles el usuario puede manipular de manera remota, así como generar un modo manual, en caso de que el usuario quiera utilizarlo.
- Establecer una guía de posibles actualizaciones: Existe una limitante que evita que se implementen algunas soluciones de inmediato, no obstante, se pueden dar como posibles modernizaciones a corto y largo plazo, evitando así una rápida discontinuación del sistema.
- Establecer el plan de mantenimiento: Se debe de trazar un plan de mantenimiento de todo el sistema de control en general, que ayude a dar una mayor vida al sistema.

Dentro de la solución se desean dejar las previstas necesarias en caso de que en un futuro el ICE desee utilizar el sistema desde el celular u otro dispositivo móvil por medio de internet, sin necesidad de estar en el sitio. Esto es con el fin de que la modernización vaya más acorde a la filosofía de la empresa en la incursión a la industria 4.0.

1.4 Meta y Objetivos

1.4.1 Meta

El investigador que utilice el sistema tendrá la facilidad de visualizar, supervisar y obtener datos del proceso sin necesidad de estar al pendiente del control de los caudales o presiones en las que se están realizando las pruebas, para que al final se logre facilitar la generación de informes que sean de utilidad para las plantas hidroeléctricas que se simulan en los modelos, así como la posibilidad de conocer el consumo energético de las bombas.

1.4.2 Objetivo general

Diseñar un sistema de control que permita al usuario del sistema obtener datos en tiempo real permitiendo así reducir tiempos de desplazamiento y reduciendo el error humano en la toma de información.

1.4.3 Objetivos específicos

- Realizar el estudio previo del sistema requerido en el laboratorio.
- Diseñar un sistema de control automático para las variables que el usuario del sistema desee que sean automatizables, que permita la selección adecuada del modelo en estudio.
- Generar un análisis económico del desarrollo e implementación del sistema.
- Integrar el sistema de control con la instrumentación del laboratorio y los variadores de frecuencia de las bombas.
- Formular un plan de mantenimiento de corto y largo plazo para el sistema que asegure la correcta adquisición de datos.

Capítulo 2. Marco teórico

Es necesario comprender cómo es que el laboratorio realiza las pruebas, qué equipos están involucrados y cuáles de estos ya están instalados para realizar el sistema de control. Además, de algunos conceptos básicos utilizados para comprender la finalidad del proyecto como la solución propuesta.

2.1. Descripción general del laboratorio a automatizar

El laboratorio de hidráulica del ICE es utilizado para simular distintos escenarios a los que se ven expuestas las plantas hidroeléctricas, esto con los cambios de caudales de los ríos. Con la realización de este tipo de simulaciones se pueden determinar planes de acción para no sobrecargar las represas o que éstas se queden sin la suficiente cantidad de agua para la generación de la energía que se le demanda. Además, se puede determinar fallas que se vienen presentando en las estructuras y de esta manera generar un plan de mejora.

Para realizar las simulaciones, el laboratorio cuenta con tres modelos los cuales representan tres plantas hidroeléctricas. Además, cuenta con un sistema de suministro de agua que consta de un tanque de almacenamiento, tres bombas directamente acopladas a las tuberías de suministro de agua y una serie de válvulas que ofrecen diferentes configuraciones en el uso del sistema. La distribución del agua a cada modelo se realiza por medio de una red de tuberías por medio de tres tomas. Existe una tubería madre que se encuentra conectada a las 3 bombas. Además, el cuarto de control se encuentra en el mismo piso donde están los modelos.

En el proyecto de modernización se plantea sustituir las múltiples válvulas manuales que se tienen para elegir el modelo a utilizar para realizar pruebas. En total las válvulas que se reemplazarán, contando las presentes en el cuarto de bombas, son 14, de las cuales 13 son de solo apertura y cierre y una es proporcional. También se colocarán múltiples dispositivos de adquisición de datos, entre los cuales se encuentran transmisores de nivel de onda guiada, de presión diferencial, de presión diferencial de aire, de presión manométrica, de flujo magnético, anudares de flujo de aire y medidores de velocidad tubo Pitot.

2.2 Antecedentes bibliográficos

Este proceso lleva años en proceso, por lo que existen ya diversos documentos, entre los que se encuentra un informe de práctica profesional [3], planos de construcción y distribución del laboratorio, listas de requerimientos y hojas de datos de los equipos ya adquiridos por el ICE. La mayoría de estos informes y documentos son la base para la selección, compra e instalación y puesta en marcha del sistema. Entre la información, vale rescatar que se proporcionan ecuaciones para la determinación de la frecuencia a la que deben trabajar los variadores.

2.3 Hidrograma

El laboratorio de hidráulica del ICE basa sus operaciones en la generación de hidrogramas de un modelo a escala de embalses para el análisis de tendencias, problemas en las estructuras y mejoras de estos. Los hidrogramas son la representación gráfica de caudales por un periodo en alguna parte de la corriente [16]. En los embalses ya construidos se realizan estos hidrogramas, los cuales se traducen a un hidrograma a escala que concuerde al modelo que se tiene o construye en el laboratorio. Teniendo el hidrograma teórico y el modelo físico, se debe realizar las pruebas para obtener los datos que serán analizados.

Los hidrogramas realizados en los embalses son continuos, esto debido a que reflejan el comportamiento bajo las precipitaciones que hay. Estos gráficos continuos se deben cambiar a gráficos de columnas para su posterior reproducción en los modelos, ya que estos son los que se colocan en el sistema de control para que se ejecuten y obtengan datos. En estos se tienen caudales constantes por un periodo, tal y como se representa en la Figura 2.

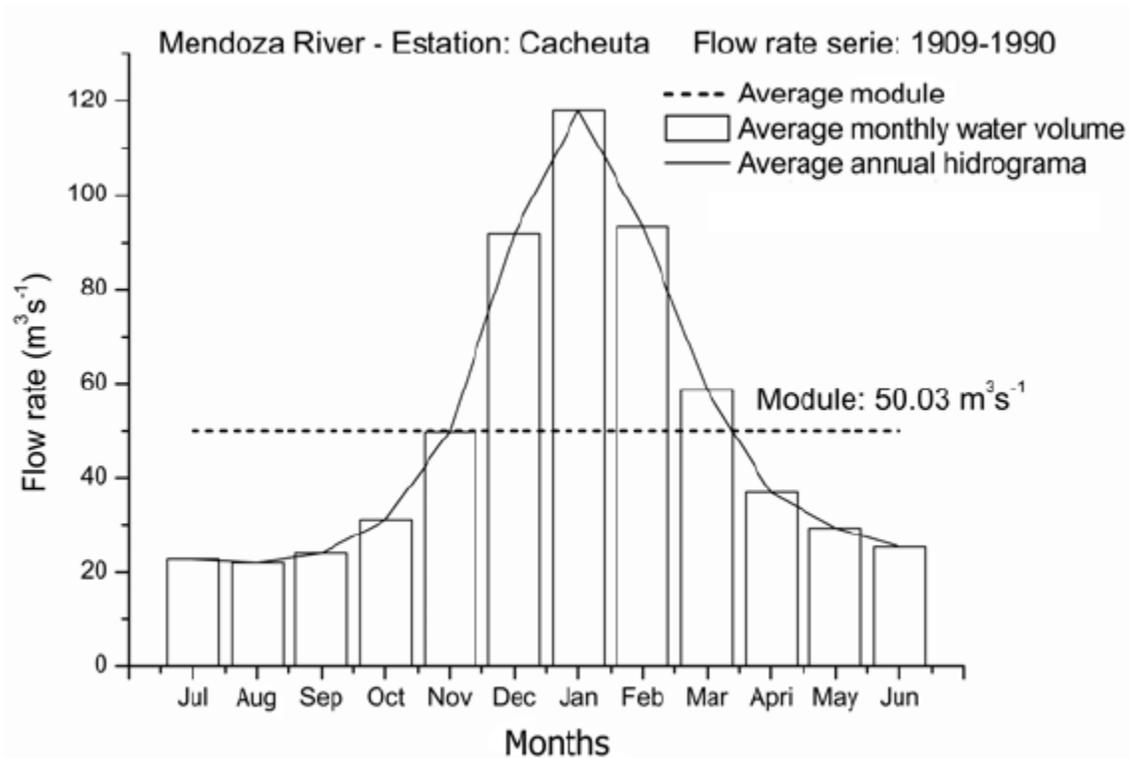


Figura 2. Hidrograma. [22]

2.3 Controlador Lógico Programable (PLC)

El PLC es el cerebro de este sistema, es el que recibe señales provenientes de sensores o contactores, ejecutan una lógica y emiten señales para controlar actuadores. Las secuencias programadas son fácilmente modificables, convirtiendo a estos equipos en uno de los utilizados a nivel industrial. Para realizar estas tareas cuenta con módulos de entradas, de salidas y de comunicación. En la actualidad, estos equipos permiten realizar comunicaciones de datos vía navegador web, conectándose con bases de datos SQL e incluso con bases de datos en la nube. [17] Existen muchas formas de utilizar los PLC, topología estrella, Maestro-Esclavo, entre otras. Los PLC's permiten controlar procesos muy grandes, con muchos sensores y actuadores, o que sean colocados a largas distancias, implementando comunicaciones inalámbricas entre los equipos. Estas conexiones se pueden realizar de muchas maneras, por ejemplo, topología estrella, Maestro-Esclavo, entre otras. Para el sistema de control que se está implementando solamente se usa un PLC, a este se conectan los sensores y contactores de confirmación a los módulos de entradas, las válvulas a los

módulos de salidas, y por medio de Modbus TCP los variadores de frecuencia y el HMI. En la Figura 3 se muestra cómo es que el PLC funciona de manera general.

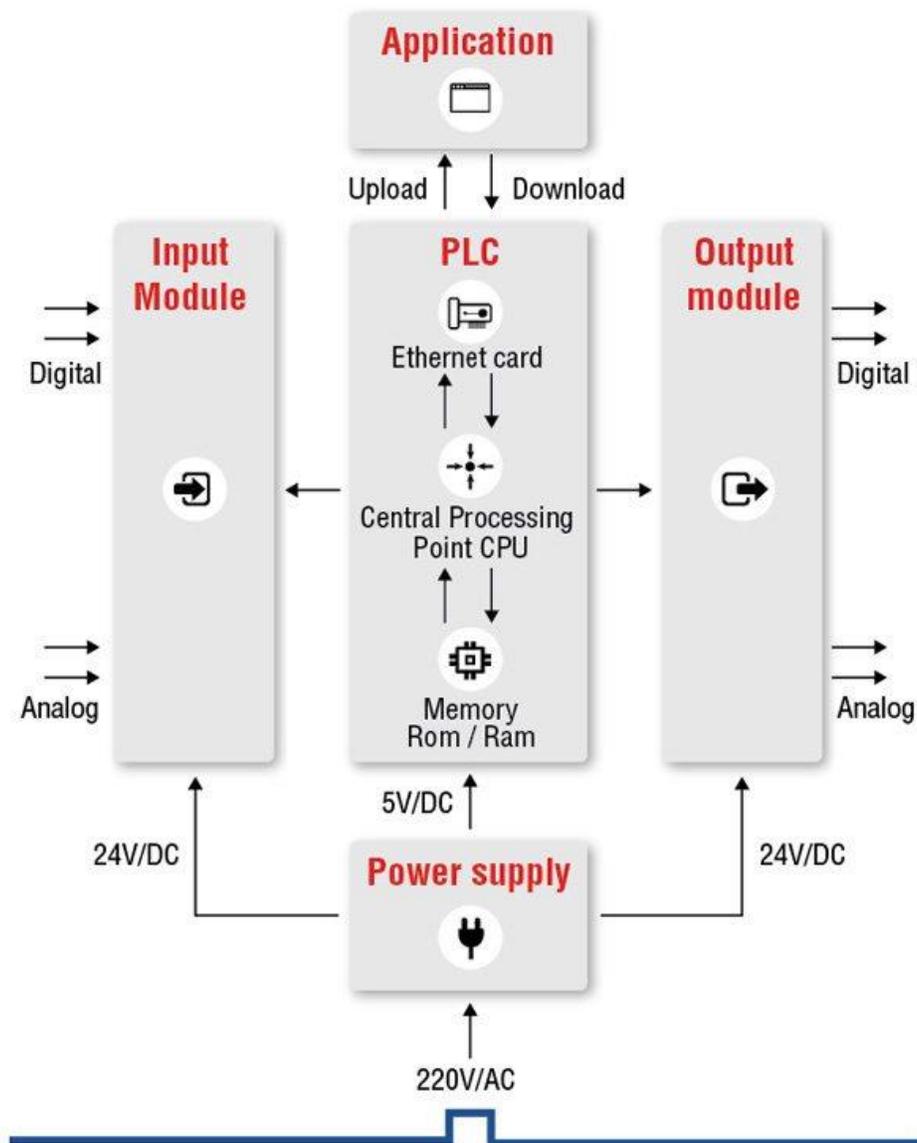


Figura 3. PLC, funcionamiento general. [17]

2.4 Control automático en procesos industriales.

El control automático se basa en utilizar lazos de control cerrados para mantener una variable de proceso en un valor deseado. Una de las principales características de utilizar un lazo de control cerrado es que minimiza el error existente. Pero para entender cómo funciona es necesario primeramente conocer qué es un lazo de control y cuáles tipos existen.

Un lazo de control o sistema de control es aquel que recibe una referencia y por medio de una unidad de control pone a funcionar un actuador para regular una variable, este último llamado proceso. La señal de referencia es aquella que se define como el valor deseado, por ejemplo, en el caso del control de temperatura de un congelador es el valor que el usuario introduce como deseado, digamos 5 °C. Luego la unidad de control es un algoritmo que se encarga de enviar una señal de control, utilizando el mismo ejemplo, es la encargada de encender y apagar el compresor las veces que sea necesario para mantener la temperatura deseada. Por último, el proceso es aquel que recibe la señal de control y pone a funcionar los actuadores necesarios para controlar la variable deseada, continuando con el congelador, es el compresor, condensador y ventilador, estos enfrían el aire. Para realizar este control, se tienen dos tipos de lazos:

- **Control de lazo abierto:** Para este caso la acción de control no está relacionada con la salida, es decir, no hay retroalimentación. Continuando con el ejemplo del congelador, implementando un control de este tipo no se tendría una señal que indique que la temperatura efectivamente esté en 5 °C. Un control de lazo abierto se ve en diagrama de bloques como en la Figura 4 . Este tipo de control es muy simple de diseñar, pero su control no es automático ya que no reacciona a las perturbaciones que se introduzcan en el sistema.

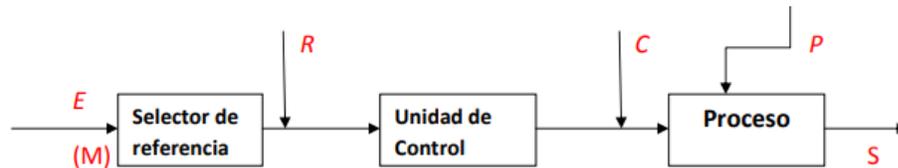


Figura 4. Control de lazo abierto. [18]

- **Control de lazo cerrado:** El control de este tipo posee una señal de retroalimentación directamente relacionada con la salida del proceso, con esto se puede reaccionar a perturbaciones y minimizar el error. Este tipo de control es más difícil de implementar y utiliza más componentes. En el caso del congelador se necesitaría un sensor de temperatura y que el valor que emite se esté comparando en todo momento con la temperatura deseada, haciendo que la unidad de control esté accionando los actuadores de acuerdo con el error obtenido. En la Figura 5 se ve el diagrama de bloques que representa este tipo de control.

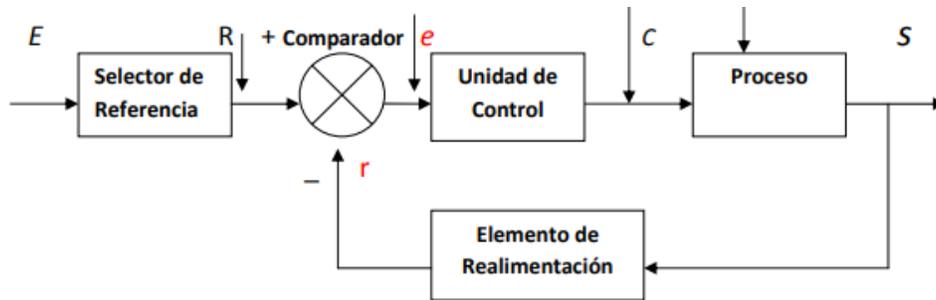


Figura 5. Control de lazo cerrado. [18]

2.4.1 Controlador proporcional, integral y derivativo (PID)

Los controladores PID son un tipo de control de lazo cerrado. Estos son ampliamente utilizados en la industria ya que poseen una estructura simple, pero esta misma simpleza se vuelve su debilidad ya que existen plantas en las cuales no se pueden utilizar de manera satisfactoria, es decir, plantas inestables. El PID consta de tres acciones: proporcional (P), Integral (I) y derivativa (D). Se pueden utilizar en distintas configuraciones P, I, PI, PD y PID. [19]

La acción de control proporcional se realiza en el bloque de función del PID por medio de la constante de ganancia K_p , que da una salida proporcional al error. Se puede usar en una planta estable.

La acción de control integral da una salida proporcional al error acumulado por medio de la constante K_i , lo que hace que el control sea lento. Su función principal es actuar a las perturbaciones.

La acción de control derivativa regula la velocidad de respuesta al error por medio de la constante K_d , esto para ejecutar el control de manera que se contemplen los retardos de los actuadores y sea posible el control.

La Figura 6 muestra como se ve un controlador PID, en este la unidad de control posee la función del PID.

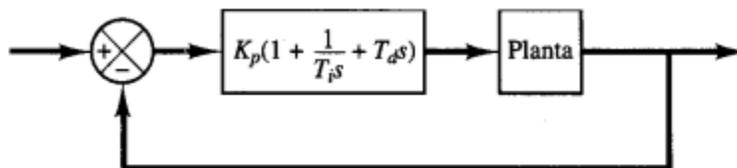


Figura 6. Controlador PID. [21]

2.5 Comunicación industrial: Modbus TCP

Este protocolo de comunicación fue introducido por Schneider con el fin de comunicar PLCs, computadores, HMI entre otros dispositivos por medio de una red. Los mensajes se envían como datos MODBUS por medio de intranet o internet usando protocolos TCP/IP. Es un mecanismo de comunicación de tipo maestro/esclavo, lo que facilita la transmisión de información entre dos terminales. Además, su facilidad de conectar dispositivos de distintas marcas y poder transmitir datos por medio de internet hace que sea muy útil en sistemas de continua expansión. Además, su programación es muy simple, en el caso de Schheneider se realiza por medio de bloques de mensajería.

El modelo de datos de MODBUS se basa en una serie de tablas con las siguientes características [20]:

- Entradas discretas: lectura de entradas y salidas de bit único.
- Salidas discretas: lectura y escritura de las salidas de bit único.
- Registros de entrada: lectura de registros de 16 bits por un sistema de entradas y salidas.
- Registro de salida: lectura y escritura de 16 bits alterables.

Capítulo 3. Sistema de Control del Laboratorio de Hidráulica.

En este capítulo se presentan las partes en las que el proyecto se divide. Esta división se realizó de manera que se pueda implementar e interconectar el sistema asegurando su correcto funcionamiento general. Primero se seleccionan los equipos que se van a utilizar, luego se desarrolla la programación y por último se implementa en el laboratorio. Además, en este capítulo se presenta la verificación y validación del sistema.

3.1 Descripción general de los equipos que se utilizan

Para llevar a cabo el sistema de control es necesario utilizar una serie de equipo tanto para el control y la programación de las rutinas, como para la realización de pruebas y calibración. En el laboratorio se colocan una serie de válvulas y sensores los cuales deben ser controlados de manera remota con la opción de ser controlados de manera local. Además, posee tres bombas que serán controladas por medio de tres variadores. Un PLC tendrá programadas las rutinas para ejecutar en modo automático, así como el control de las válvulas y variadores en modo manual. Todos estos equipos son escogidos cumpliendo los requerimientos solicitados por el ICE.

Esta parte está dividida en dos, los equipos que el ICE compró e instaló, y los que deben de ser adquiridos por parte de ControlSoft para ser instalados en el laboratorio, basado en los requerimientos brindados en los Apartados 8.1, 8.2 & 8.3 del Informe de diseño [2].

3.1.1 Equipos suministrados por el ICE

Para la modernización del laboratorio el ICE adquirió 14 válvulas marca EIM de un cuarto de vuelta serie HQ. Trece de ellas solo poseen la funcionalidad de apertura y cierre completa, y una posee un módulo de control proporcional. Con estas válvulas se controla el paso del agua por medio de las tuberías y las bombas, esto con el fin de seleccionar el modelo en estudio y la manera en que se van a utilizar las bombas, sea de forma individual, en serie o en paralelo. En el laboratorio existen tuberías de distintos tamaños lo que condiciona la compra de cada una de las válvulas.

Por otra parte, las señales de retroalimentación y visualización se obtienen por transmisores de caudal, presión y presión diferencial marca Rosemount, de velocidad marca ARMFIELD y de nivel de onda guiada marca SITRANS-LG200. Los números de parte y especificaciones de estos equipos están en el anexo F, específicamente en el plano de Diagrama de Instrumentación y Tubería: Nomenclatura y Simbología. En el anexo G, específicamente en el plano de Diagrama de Instrumentación y Tubería: DTI (P&ID), se puede observar la distribución de las válvulas, de los transmisores y los tamaños de las tuberías en las que están colocados.

Para efectos del proyecto no es necesario conocer todas las especificaciones de los equipos, se debe conocer la forma como el PLC recibe las señales. En cuanto a los transmisores de los medidores de caudal, presión, velocidad y nivel, envían una señal analógica dentro de un rango de 4 mA a 20 mA. Para la obtención de esta señal es necesario proveer al transmisor una alimentación de 24 VDC y luego por medio de otro cable se transmite al cerrar el lazo por medio del módulo del PLC. Ahora, las válvulas, excepto la proporcional, poseen 4 cables de señales y dos cables de alimentaciones de 24 VDC. Las 4 señales son digitales, dos de ellas son de confirmación, una de apertura y otra de cierre, y dos de control, una señal de abrir y otra de cerrar. Por último, la válvula proporcional no necesita que se le provea alimentación, le llegan dos señales analógicas enviadas por cuatro cables, dos para que envíe la posición de apertura que va de 4 mA a 20 mA y dos para que se envíe la señal para determinar la posición deseada. Todas las válvulas poseen una alimentación de 120 VAC para alimentar la parte de potencia y ejecutar las ordenes que recibe desde el PLC.

Otros de los equipos adquiridos son tres bombas con motores marca Baldor de 40 HP, que trabajan a una tensión de 480 VAC trifásico. Estas bombas son de alta eficiencia (94,1%) y ahorradoras de energía. Además, al ser todas iguales es más simple de controlar los caudales en el sistema manteniendo eficiencias altas. Los datos de placa de las bombas vienen dentro de las especificaciones técnicas brindadas por el ICE. [3]

3.2 Selección de los variadores de frecuencia

Para la realización del sistema de control, tanto el ICE como ControlSoft seleccionaron equipos de la marca Schneider Electric. En el laboratorio se encuentran tres bombas con las mismas características de placa, estos fueron suministrados por el ICE [3] y son los siguientes:

- Marca: Baldor Reliance Super E Motor.
- Número de Catálogo: EM4110T.
- Marco: 324T.
- Potencia: 40 HP.
- Clase: F.
- Frecuencia Nominal: 60Hz.
- Fases: 3.
- Voltaje nominal: 460 VAC.
- Corriente nominal: 48 A.
- Eficiencia: 94.1 %.
- Factor de Potencia: 0.82.
- Factor de servicio: 1.15.
- Envoltura: TEFC.

Además, cada variador debe poseer una eficiencia mayor o igual al 97,5%. El cuarto donde serán instalados los gabinetes posee un voltaje de alimentación en la acometida de 480 VAC trifásico. Éste llega a un interruptor de 3 polos de 225 A.

Sumándole a las características técnicas ya mencionadas, los variadores de frecuencia deben de poseer las siguientes protecciones incorporadas:

- Protección de falla a tierra.
- Protección de sobrecarga del motor.
- Protección por alto y bajo voltaje.
- Protección de sobre-corriente.
- Protección de cortocircuito.
- Protección contra transitorios de voltaje.

La información se debe de presentar en forma de texto en una pantalla LCD incorporada, junto con la función de autodiagnóstico. Esta información debe ser exportada al sistema de control para ser visualizada desde el HMI, junto con la siguiente información:

- Voltaje.
- Corriente.
- Potencia.
- Energía.
- Horas de operación.
- Frecuencia de operación.
- Estados de falla.

Esta información debe ser transmitida por cable ethernet, usando comunicación Modbus\TCP. Es importante el medidor de energía incorporado en los variadores, ya que éste debe ser utilizado en el PLC para la selección automática de bombas a utilizar. Todos estos requerimientos vienen descritos en Especificaciones Técnicas dadas por el ICE [3].

3.2.1 Modos de operación de las bombas

Para abastecer las necesidades de caudal y presión en las pruebas que se realizan en el laboratorio de hidráulica se plantean tres modos de operación de las bombas. Estas pueden encenderse individualmente o en parejas, en este segundo modo es posible que se usen conectadas en serie o en paralelo. Existen tres bombas en el laboratorio, a pesar de que por el momento solo se encenderán dos como máximo, pero el sistema está previsto para abastecer una demanda mayor de caudal en el futuro y que su implementación solo implique un cambio en programación del PLC. La selección del modo de encendido se hace desde el HMI, pero se debe de verificar el consumo de energía de las bombas y con esto encender la o las bombas que menos se han usado, esto para mantener un desgaste de estas lo más homogéneo posible. En la Figura 7 se muestra la manera en cómo selecciona el programa qué bombas encender.

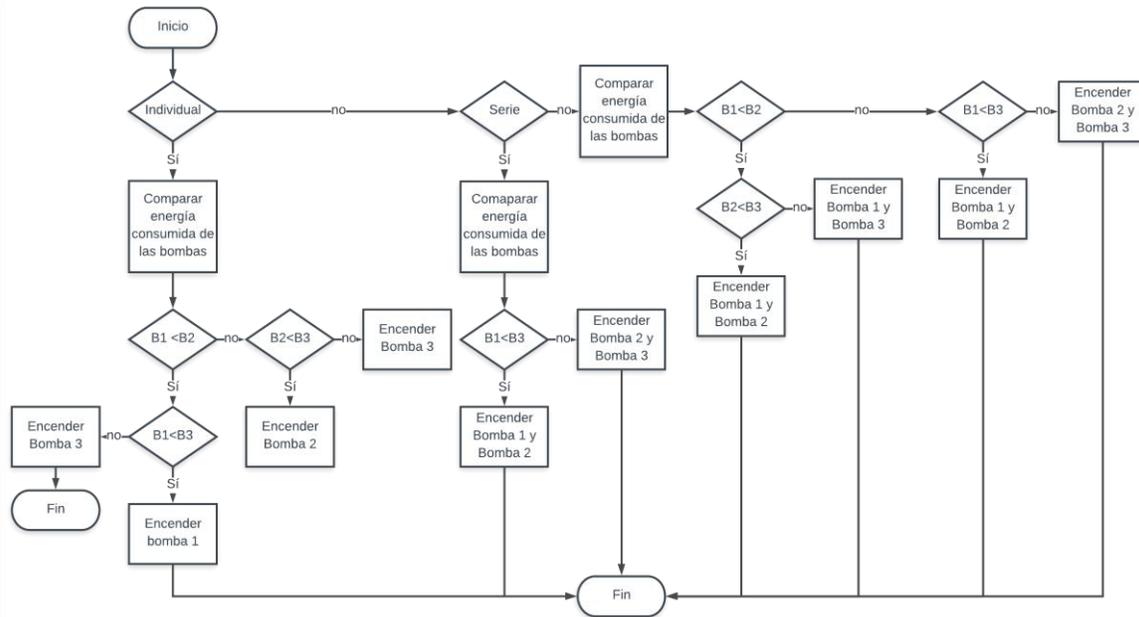


Figura 7. Encendido de bombas por energía consumida. (Fuente propia)

3.2.2 Variador de frecuencia Schneider Electric ATV630D37N4

Se tiene tres variadores ATV630D37N4 para bombas de hasta 50 HP, que se alimentan con 480 VAC, como el de la Figura 8. Además, posee una pantalla en donde se puede ingresar a un menú con varias programaciones sin necesidad de conectarse con algún software, en este caso se podría también usar SoMove. Este posee una conexión ethernet para conectar con Modbus TCP, con la posibilidad de ser colocada en la puerta del gabinete o en el variador, sin tener que dejarla siempre expuesta. Sus características se pueden ver en la Tabla 1, estas son extraídas del catálogo de Schneider Electric [5].



Figura 8. Schneider Electric Altivar Process ATV 630. [5]

Tabla 1. Características del equipo ATV630D37N4. (Fuente Propia)

Característica	Especificación
Suministro de frecuencia	50-60 Hz
Fases	3
Rango de voltaje	380-480 V
Potencia del motor	37 kW trabajo normal 30 kW trabajo pesado
Corriente de línea	57.3 A a 480 V trabajo normal 48.3 A a 480 V trabajo normal
Protocolo de puertos de comunicación	Ethernet Modbus serial Modbus TCP
Tipos de protección	Par desconectado seguro del motor Motor de ruptura de fase del motor Par seguro fuera de la unidad Unidad de sobrecalentamiento Unidad de protección de cortocircuito Impulsión de fase de motor Impulsión de sobrevelocidad Ruptura en la unidad del circuito de control Sobretensiones en el accionamiento del bus de CC Sobrecarga de la unidad de voltaje de salida

	Unidad de sobretensión de suministro de línea Unidad de pérdida de fase de suministro de línea Unidad de subtensión de suministro de línea Sobreintensidad entre la fase de salida y el accionamiento a tierra Motor de protección térmica Unidad de protección térmica
Resolución de frecuencia	Unidad mostrada, entrada analógica
Tipo de conector	RJ45 Ethernet/Modbus TCP en la terminal gráfica remota RJ45 Modbus serial en la terminal gráfica remota

3.2.3 Conexión de control del ATV630D37N4

En la Figura 9 y la Figura 10 se muestran los diagramas de conexión de control, del variador VF2, y potencia, del variador VF1. En esta se ve que existe un botón de paro de emergencia y una perilla de selección de dos modos de operación:

- Local: En este modo el encendido, paro y modificación de la frecuencia se realiza desde la pantalla y no recibe información por medio de Modbus TCP, solo envía.
- Remoto: El encendido, paro y modificación de la frecuencia se realiza por medio de Modbus TCP, esto por ser el protocolo de comunicación escogido.

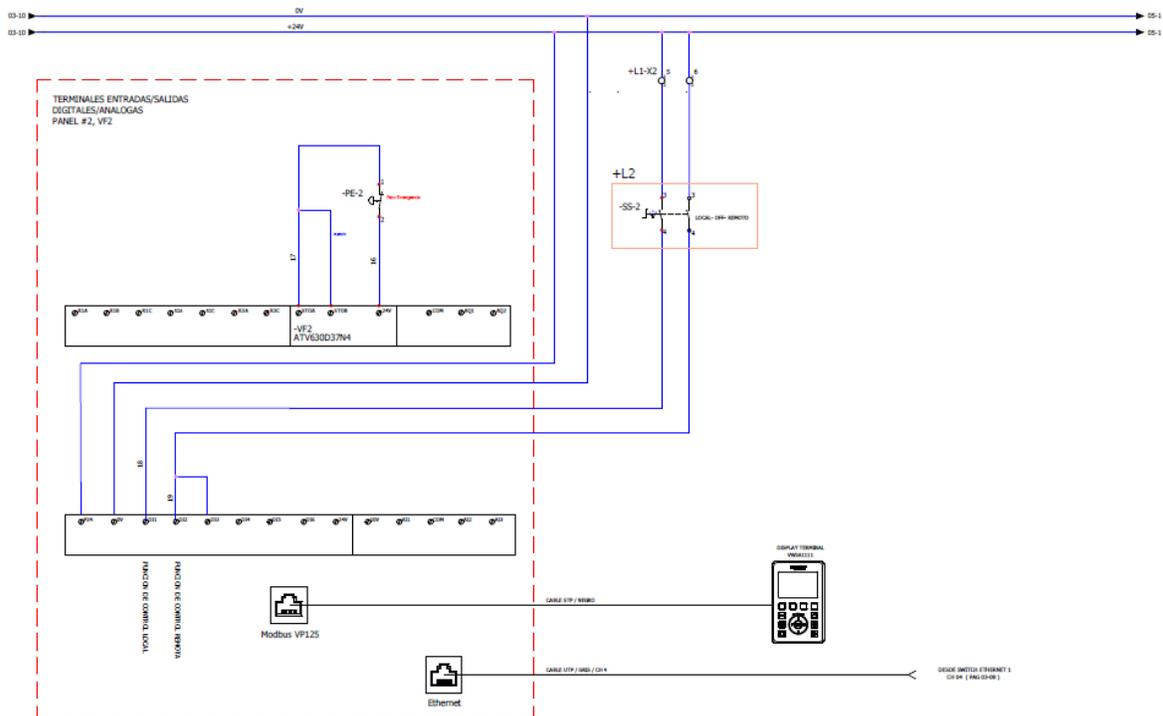


Figura 9. Diagrama del circuito de control del variador VF2. [4]

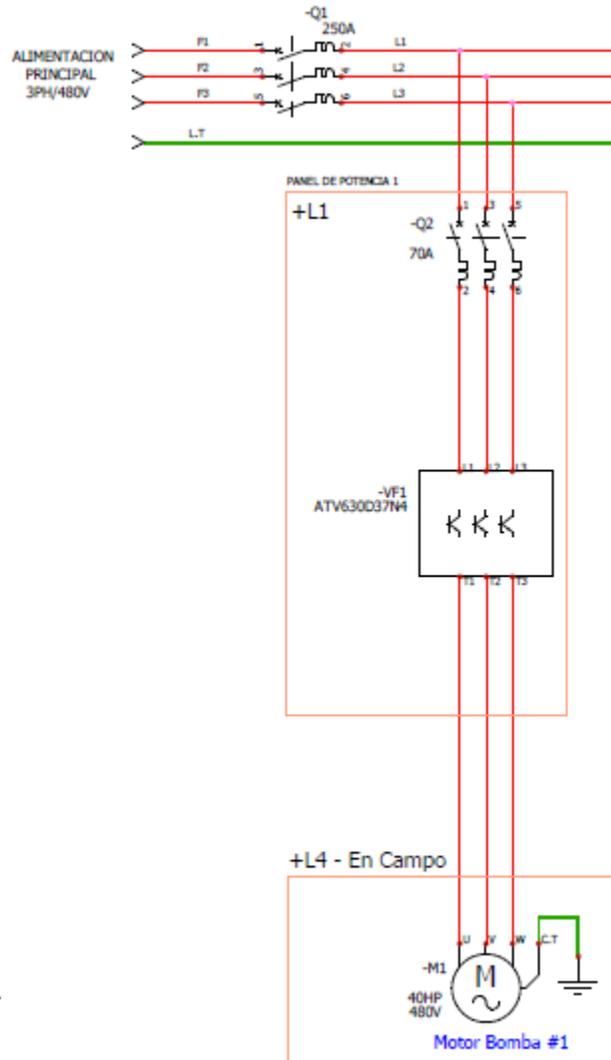


Figura 10. Diagrama del circuito de potencia del variador VF1. [4]

3.3 Selección del PLC y sus módulos de entradas y salidas.

Para este proyecto se debe seleccionar el PLC y sus módulos de acuerdo con los requerimientos del ICE [3]. Estos deben dejar la posibilidad de realizar una expansión en el futuro, por lo que el sistema debe quedar sobre diseñado. Las siguientes son las características principales que se deben cumplir:

- Comunicación Ethernet/IP.
- Contar con alimentación propia de 24 VDC.
- Posibilidad de añadir módulos de entradas y salidas.

- El área donde se ejecuta la aplicación tiene que ser salvada en la Memoria Flash interna o en una Memoria Flash externa (tipo extraíble).
- Debe soportar lazos de control PID.
- El formato de programación estará basado en la norma IEC 61131-3 Programming Industrial Automation System.
- Debe contar como mínimo con las siguientes entradas y salidas: 33 entradas analógicas, 2 salidas analógicas, 35 entradas digitales y 33 salidas digitales.

La arquitectura de control que se implementa en el laboratorio de hidráulica se presenta en la Figura 11, todo debe de estar comunicado por medio del protocolo Modbus TCP.

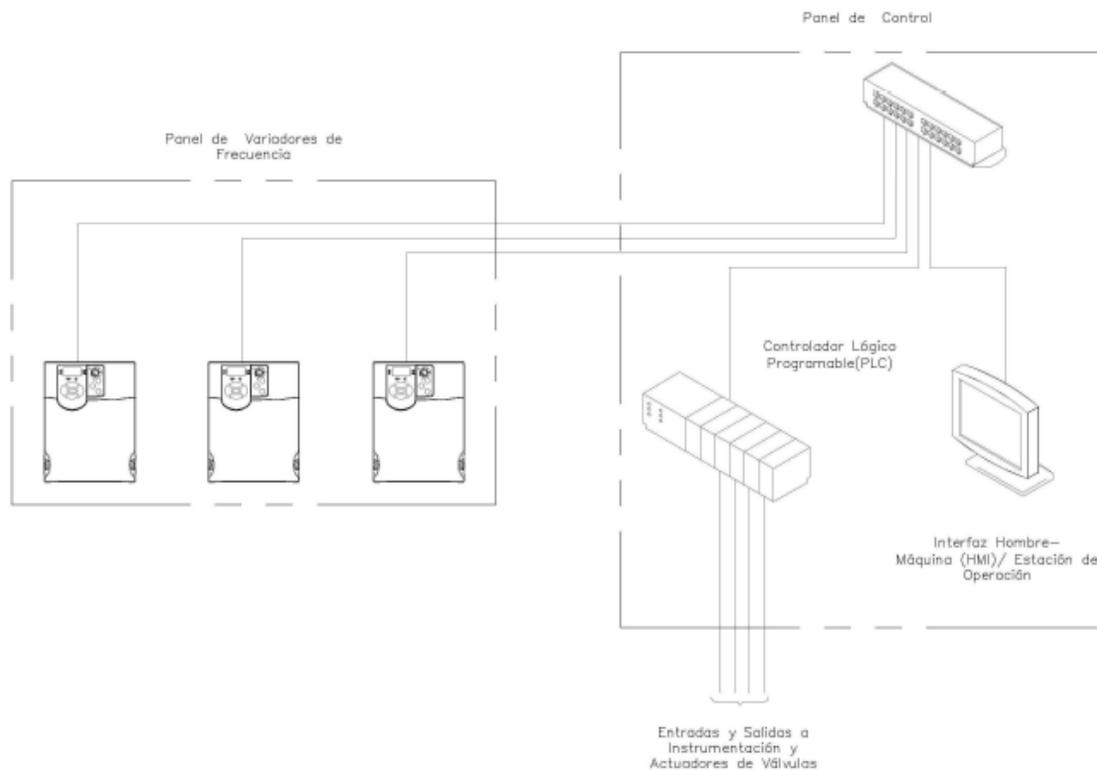


Figura 11. Arquitectura de control del laboratorio de hidráulica. [2]

3.3.1 Entradas Analógicas

Las señales que se reciben provenientes de los sensores y la válvula proporcional emiten una corriente que varía de 4 mA a 20 mA, esto de acuerdo con la calibración que

posean con respecto de la variable medida. A continuación, en la Tabla 2 se presentan las señales de entradas analógicas de campo, en total 25.

Tabla 2. Lista de Entradas Analógicas. (Fuente Propia)

Cantidad	Descripción	Identificación
5	Transmisor de flujo magnético	FIT 301
		FIT 601
		FIT 602
		FIT 6021
		FIT 801
2	Transmisor anubar de flujo de aire	FIT 3 ^a 01
		FIT 3 ^a 02
5	Transmisor de presión diferencial	DPIT 301
		DPIT 601
		DPIT 602
		DPIT 6021
		DPIT 801
2	Transmisor de presión diferencial de agua	DPIT A01
		DPIT A02
6	Transmisor de presión manométrica	PIT 301
		PIT 302
		PIT 601
		PIT 602
		PIT 6021
		PIT 801
1	Transmisor de nivel de Radar de onda guiada	LIT T001
3	Medidores de velocidad tubo Pitot	MV 01
		MV 02
		MV 03
1	Transmisor de posición de válvula regulable	ZT 301

3.3.2 Entradas digitales

Las señales de confirmación de apertura y cierre de las válvulas son las únicas entradas digitales, se presentan en la Tabla 3. Estas señales provienen de dos contactores.

Tabla 3. Listas de Entradas Digitales. (Fuente propia)

Cantidad	Descripción	Identificación
13	Contacto de confirmación de válvula completamente cerrada.	VM 010 C
		VM 011 C
		VM 012 C
		VM 020 C
		VM 021 C
		VM 023 C
		VM 030 C
		VM 031 C
		VM 302 C
		VM 601 C
		VM 602 C
		VM 6021 C
		VM 801 C
13	Contacto de confirmación de válvula completamente abierta.	VM 010 A
		VM 011 A
		VM 012 A
		VM 020 A
		VM 021 A
		VM 023 A
		VM 030 A
		VM 031 A
		VM 302 A
		VM 601 A
		VM 602 A
		VM 6021 A

		VM 801 A
--	--	----------

3.3.3 Salidas Analógicas

La válvula proporcional instalada en el laboratorio de hidráulica es controlada con una señal analógica que va de 0 mA a 20 mA. La identificación de la válvula proporcional es VM 301 y solo es necesaria una de las dos salidas analógicas solicitadas.

3.3.4 Salidas Digitales

Las salidas digitales disponibles son utilizadas para controlar la apertura y cierre de las válvulas y es necesario dos señales por válvula. La activación de éstas va a depender del estado de operación del sistema y del modelo de prueba seleccionado. En la Tabla 4 se definen las salidas que se utilizan para el sistema de control, son un total de 23 señales.

Tabla 4. Lista de Salidas Digitales. (Fuente propia)

Cantidad	Descripción	Identificación
13	Señal de cierre de la válvula.	VM 010 C
		VM 011 C
		VM 012 C
		VM 020 C
		VM 021 C
		VM 023 C
		VM 030 C
		VM 031 C
		VM 302 C
		VM 601 C
		VM 602 C
		VM 6021 C
		VM 801 C
13	Señal de apertura de la válvula.	VM 010 A
		VM 011 A
		VM 012 A

		VM 020 A
		VM 021 A
		VM 023 A
		VM 030 A
		VM 031 A
		VM 302 A
		VM 601 A
		VM 602 A
		VM 6021 A
		VM 801 A

3.3.5 PLC Schneider Electric Modicon M340

La escogencia del PLC se realiza cumpliendo los requerimientos y que posea una expansión fácil de realizar a futuro. El M340 se programa utilizando el software UNITY Pro, el cual posee un simulador integrado que permite observar el comportamiento del programa sin tener que descargarlo en el PLC. Este posee la facilidad de conectarse por medio de Ethernet, Modbus y USB. Se pueden usar 6 lenguajes de programación, de los cuales solo cuatro son los que se van a utilizar, diagramas de bloques funcionales (FBD), diagrama escalera (LD), diagrama de función secuencial (SFC) y texto estructurado (ST). Un punto importante es que trae incorporados bloques de función de tipo PID.

El PLC posee una tarjeta de memoria extraíble donde se almacena el programa, de esta manera es posible tener copias o distintos programas en varias tarjetas de memoria y utilizar un solo equipo, o en un eventual daño del CPU solamente se cambia el módulo y se inserta la tarjeta de memoria con el programa. Otra gran ventaja es su facilidad para sustituir módulos, sea por daño o por un reordenamiento.

A continuación, se presenta un diagrama de la estructura y posicionamiento de los módulos del PLC, esto en la Figura 12. Seguido de esto se describirán los módulos presentes en el equipo de control.

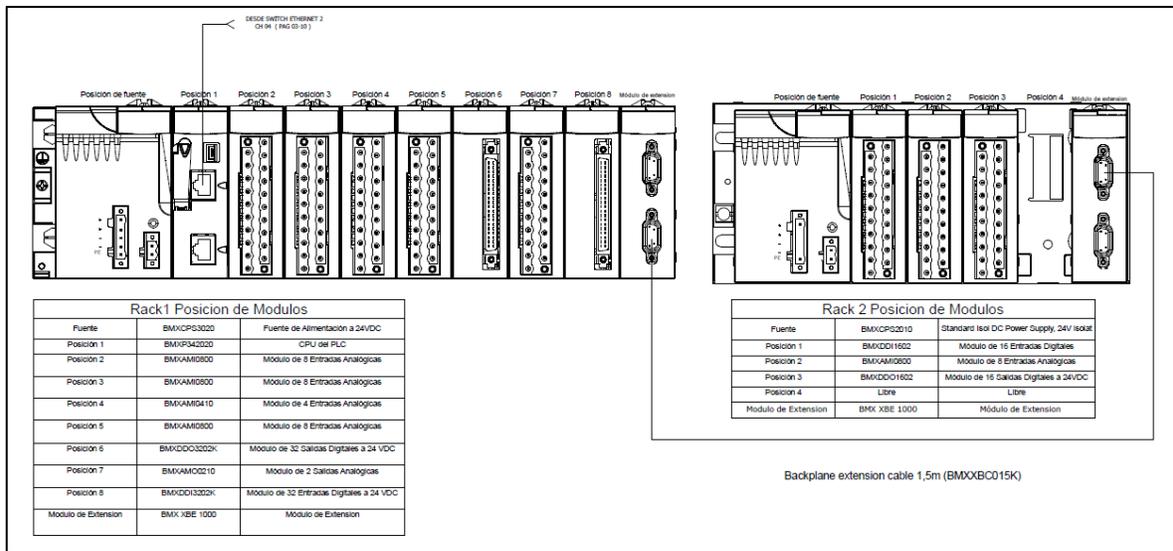


Figura 12. Diagrama de estructura y posicionamiento de módulos del PLC. [4]

3.3.5.1 CPU

La designación que tiene el CPU utilizado es BMXP342020 y en la Figura 13 se puede apreciar. Este es compacto y cumple con los requerimientos que se desean cumplir. Posee las siguientes características presentes en la Tabla 5, está realizada a partir del catálogo del producto [6].



Figura 13. Modicon M340. [6]

Tabla 5. Características del CPU BMXP342020. (Fuente Propia)

Características	Descripción
Capacidad del procesador de I/O discretas	1024 I/O configuración multi-rack 704 I/O configuración single-rack
Capacidad del procesador de I/O análogas	256 I/O configuración multi-rack 66 I/O configuración single-rack
Tipo de conexión	<ul style="list-style-type: none"> - Ethernet TCP/IP RJ45 10/100 Mbit/s 1 par trenzado - USB puerto 12 Mbit/s - No aislado serial link RJ45 modo de caracteres asíncrono en banda base RS232C duplex completo 0.3...19.2 kbit/s 2 pares blindados retorcidos - No aislado serial link RJ45 modo de caracteres asíncrono en banda base RS485 medio duplex 0.3...19.2 kbit/s 1 pares blindados retorcidos - No aislado serial link RJ45 Modbus master/slave RTU/ASCII asincrónico de banda base RS232C medio duplex 0.3...19.2 kbit/s 1 pares blindados retorcidos - No aislado serial link RJ45 Modbus master/slave RTU/ASCII asincrónico de banda base RS485 medio duplex 0.3...19.2 kbit/s 1 pares blindados retorcidos
Servicios de comunicación	<ul style="list-style-type: none"> - Gestión del ancho de banda, Ethernet TCP/IP - Editor de datos, Ethernet TCP/IP - Mensajería Modbus TCP, Ethernet TCP/IP - Visor de bastidor, Ethernet TCP/IP - Administrador de red SNMP, Ethernet TCP/IP
Descripción de memoria	<p>4096 kB de RAM interna RAM interna de 256 kB para datos RAM interna de 3584 kB para constantes y símbolos del programa Tarjeta de memoria suministrada (BMXRMS008MP) para la activación del servidor web estándar, class B10 Tarjeta de memoria suministrada (BMXRMS008MP) para copia de seguridad de programas, constantes, símbolos y datos</p>
Garantía de fábrica	18 meses

3.3.5.2 Módulos de entradas analógicas

Para suplir las 33 entradas analógicas son necesarios 5 módulos, 4 de 8 entradas y 1 de 4 entradas, dando como resultado 36 disponibles. Para los módulos de 8 entradas se tienen los BMXAMI080, estos son como el de la Figura 14 y sus características principales se encuentran en la Tabla 6, extraída del catálogo del producto [7].



Figura 14. Módulo BMXAMI080. [7]

Tabla 6. Características del módulo BMXAMI080. (Fuente Propia)

Característica	Descripción
Tipo de entradas analógicas	Corriente +/- 20 mA Corriente 0...20 mA Corriente 4...20 mA Voltaje +/- 10 V Voltaje +/- 5 V Voltaje 0...10 V Voltaje 0...5 V Voltaje 1...5 V
Conversión Analógica/Digital	16 bits
Resistencia de conversión interna	250 Ohm
Ciclo de tiempo de lectura rápida	1 ms + 1 ms x número de canales usados

Ahora hay un módulo de 4 entradas analógicas con la descripción BMXAMI0410 que se puede ver en la Figura 15, y en la Tabla 7, extraída del catálogo del producto [8].



Figura 15. Módulo BMXAMI0410 [8]

Tabla 7. Características del módulo BMXAMI0410. (Fuente Propia)

Característica	Descripción
Tipo de entradas analógicas	Corriente +/- 20 mA Corriente 0...20 mA Corriente 4...20 mA Voltaje +/- 10 V Voltaje +/- 5 V Voltaje 0...10 V Voltaje 0...5 V Voltaje 1...5 V
Conversión Analógica/Digital	24 bits
Resistencia de conversión interna	250 Ohm
Ciclo de tiempo de lectura rápida	1 ms + 1 ms x número de canales usados

3.3.5.3 Módulos de entradas digitales

Para suplir las 35 entradas digitales son necesarios 2 módulos, 1 de 32 entradas y 1 de 16 entradas, dando como resultado 48 disponibles. Para el módulo de 32 entradas se tiene el BMXDDI3202K, como el que se ve en Figura 16 y sus características principales se encuentran en la Tabla 8, extraída del catálogo del producto [9].



Figura 16. Módulo BMXDDI3202K. [9]

Tabla 8. Características del módulo BMXDDI3202K. (Fuente Porpia)

Característica	Descripción
Suministro de potencia del sensor	19 – 30 V
Impedancia de entrada	9600 Ohm
Compatibilidad de entrada	2 cables/3 cables sensor de proximidad conforme a IEC 60947-5-2
Voltaje de entrada discreta	24 VDC

Ahora hay un módulo de 16 entradas digitales con la descripción BMXDDI1602 que se puede ver en la Figura 17, y en la Tabla 9, extraída del catálogo del producto [10].



Figura 17. Módulo BMXDDI1602. [10]

Tabla 9. Características del módulo BMXDDI1602. (Fuente Propia)

Característica	Descripción
Suministro de potencia del sensor	19 – 30 V
Impedancia de entrada	6800 Ohm
Compatibilidad de entrada	2 cables/3 cables sensor de proximidad conforme a IEC 60947-5-2
Voltaje de entrada discreta	24 VDC

3.3.5.4 Módulos de salidas digitales

En cuanto a las salidas digitales se necesitan como mínimo 35, es por ello que se cuentan con dos módulos, uno posee 32 salidas y el otro 16 salidas. El primer módulo está identificado como BMXDDO3202K y el otro como BMXDDO1602, como se observan en la Figura 18 y la Figura 19 respectivamente. La salida que se usa para controlar las válvulas del laboratorio es un voltaje de 24 VDC. Además, poseen un tiempo de respuesta de 1.2 ms.



Figura 18. Módulo BMXDDO3202K. [11]



Figura 19. Módulo BMXDDO1602. [12]

3.3.5.5 Módulo de salidas analógicas

Solamente son necesarias dos salidas analógicas y el módulo escogido para esto es el BMXAMO0210. Este módulo, que se presenta en la Figura 20, posee tres tipos de salidas analógicas: corriente de 0-20 mA, corriente de 4 a 20 mA y voltaje +/- 10V, la cual se selecciona desde el software de programación.



Figura 20. Módulo BMXAMO0210. [13]

3.3.5.6 Fuentes de alimentación

La configuración que se va a utilizar posee dos racks, cada uno con una fuente de alimentación. Una de las fuentes es la BMXCPS3020, la cual tiene un voltaje primario de 24 a 48 VDC como la que se muestra en la Figura 21. Esta fuente alimenta el CPU, 4 módulos de entradas analógicas, 1 de entradas digitales, 1 de salidas analógicas y 1 de salidas digitales, en el rank 1. Además, a éste está conectado el módulo de extensión. Para el segundo rack se tiene el BMXCPS2010 el cual solo posee un voltaje primario de 24 VDC y alimenta un módulo de entradas digitales, un módulo de entradas analógicas, un módulo de salidas digitales y el módulo de extensión. Esta fuente es la que se presenta en la Figura 22. Ambas son físicamente similares.

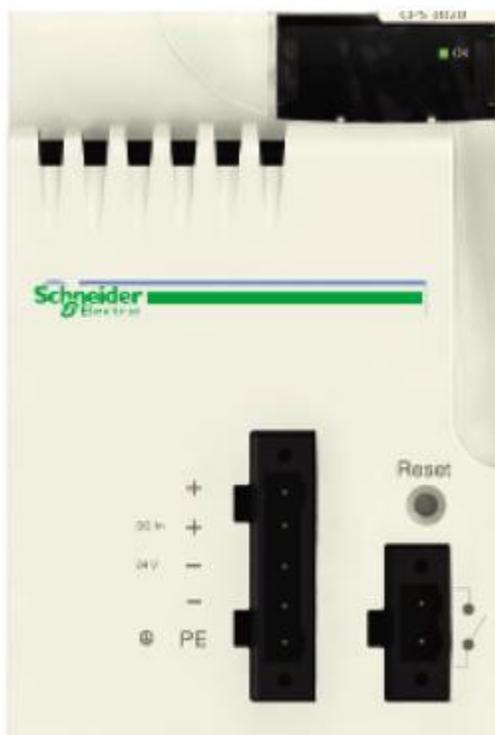


Figura 21. Fuente de alimentación BMXCPS3020. [14]



Figura 22. Fuente de alimentación BMXCPS2010. [15]

3.3 Modos de operación

El sistema de control debe brindar tres modos de operación al usuario: el modo automático (descrito de ahora en adelante como modo AUTO), el modo manual y modo local. En este apartado se hablará de cada uno de estos modos y se describirá su operación y alarmas involucradas. Cada modo de operación tiene su pantalla de operación en el HMI.

3.3.1 Modo de operación local.

Antes de realizar la modernización del laboratorio de hidráulica, cada válvula se debía accionar en campo, desplazarse hasta su ubicación y abrirla. Ahora que se poseen variadores de frecuencia se puede controlar la velocidad de las bombas, antes solamente se podían encender a 60 Hz. Para obtener los datos de caudales y presiones se debía desplazarse hasta donde se encontraban colocados los sensores. El modo de operación local trata de mantener un poco esta funcionalidad. Al seleccionar este modo se desactiva el control desde el HMI de los variadores de frecuencia y debe colocarse en modo local los selectores del gabinete para activar el control desde la pantalla de los variadores, donde no se puede acceder a la apertura y cierre de las válvulas de manera remota. Para abrir y cerrar las válvulas en modo local es necesario desplazarse al espacio físico donde están instaladas. En cuanto a la lectura de los sensores se puede realizar desde el HMI o desplazarse a donde están ubicados los sensores y verlos en los indicadores.

3.3.2 Modo operación manual

Este modo permite realizar todas las operaciones desde el HMI, pero sin involucrar el control automático de caudales. Cuando se selecciona, la apertura y cierre de las válvulas se puede realizar desde la pantalla táctil, al igual que el control de los variadores. Para que este modo se pueda utilizar los equipos deben de estar en modo remoto. El fin de poseer esta operación es poder realizar pruebas en las cuales todas las decisiones sean tomadas por el usuario sin tener que desplazarse por todo el laboratorio, no obstante, si están activadas las alarmas de no apertura y no cierre de las válvulas actúan las protecciones sobre las bombas para que no enciendan en seco. El modo de operación manual tiene un acceso a la lectura de sensores desde el HMI.

3.3.3 Modo AUTO

En este modo el usuario ingresa una serie de caudales de manera que se genere un hidrograma para que luego el PLC se encargue de seguirlo hasta obtener datos en tiempo real, los cuales deben ser almacenados. Como se tiene a disposición 3 modelos de estudio con tuberías de distintos diámetros, y tres bombas con tres modos de operación distintas, por lo tanto, se realiza la selección la cual queda a completa responsabilidad del usuario. En la Figura 23 se presenta un esquema que muestra la operación de este modo.

El seguimiento del hidrograma se realiza por medio de un temporizador y una asignación del caudal que se colocó al inicio. Para obtener el valor de caudal deseado se debe de variar la velocidad de las bombas y ésta cambia por rangos de tiempo. Es para ello que se utiliza una ecuación de ajuste con retroalimentación donde el control se realiza por medio de la diferencia existente entre el caudal deseado y el caudal obtenido. En la Figura 24 se muestra el proceso en ejecución por medio de un diagrama de flujo. En el modelo 3 hay dos tipos de funcionamiento, en uno la válvula proporcional se comporta como una válvula de apertura y cierre completa y en el otro se debe mantener una presión constante asignada durante la prueba, en este caso se debe controlar la apertura de manera proporcional y por medio de un control en escalera.

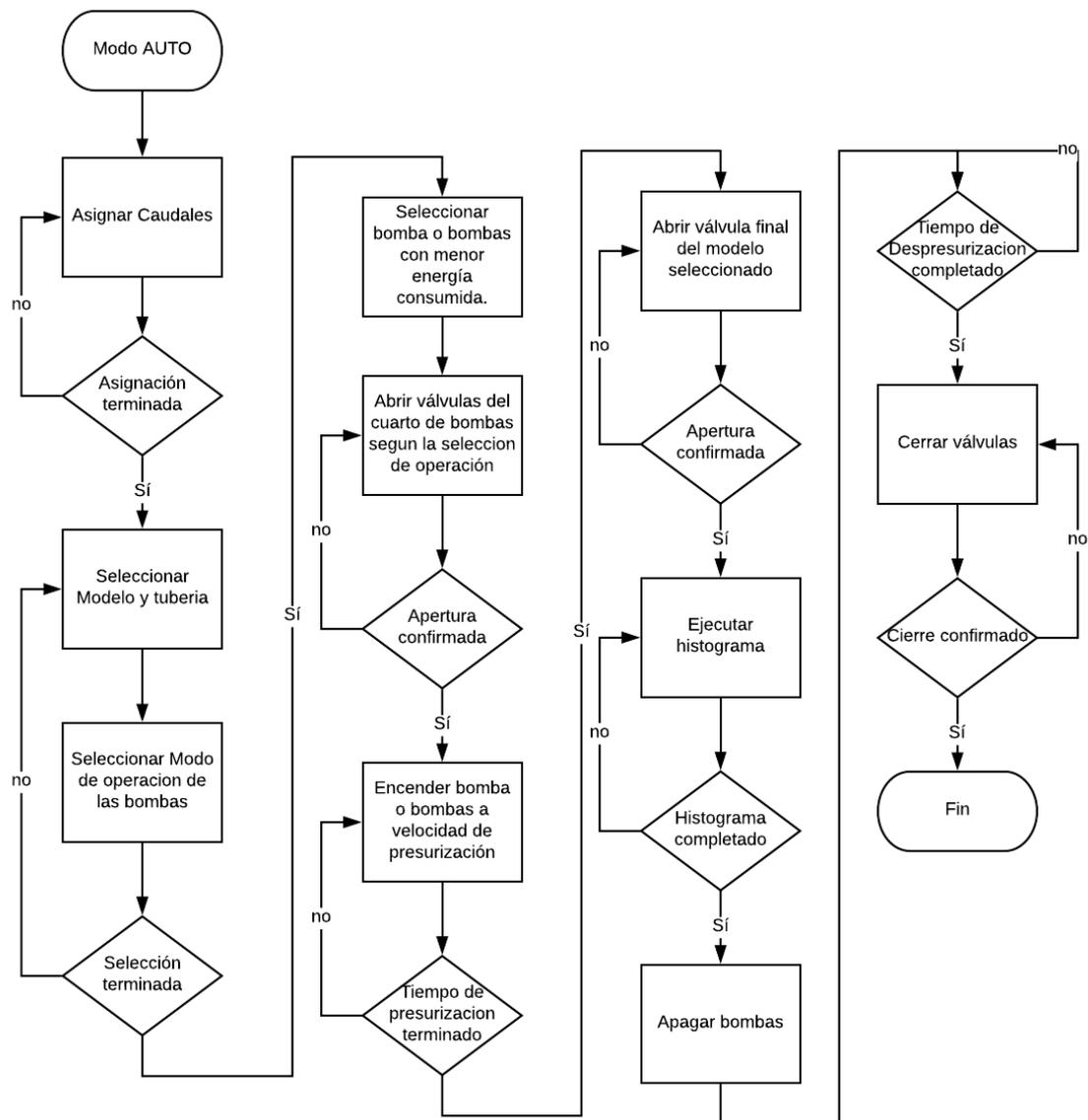


Figura 23. Diagrama de Flujo del modo automático. (Fuente propia)

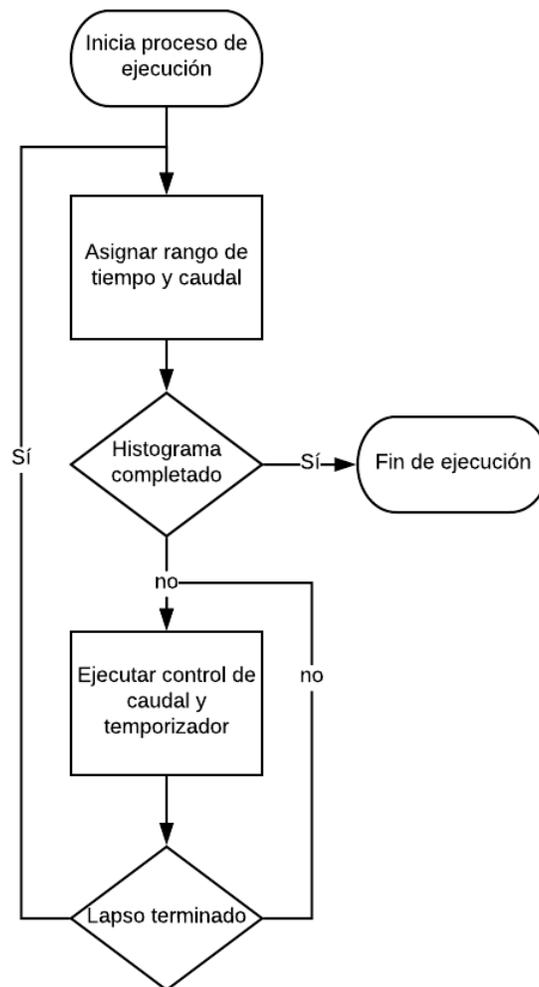


Figura 24. Diagrama de flujo del proceso de ejecución del modo automático. (Fuente propia)

3.4 Definición y diseño de alarmas

En el diseño del sistema de control deben colocarse alarmas de indicación y de restricción. Los sensores poseen rangos de operación en los cuales el fabricante asegura una lectura precisa con un margen de error aceptable. Las válvulas, por otro lado, no poseen ninguna señal que indique si entra en fallo, por lo que si no se obtienen la confirmación de apertura o cierre se generan alarmas para restringir algunas de las funciones. Las bombas no se deben de arrancar en seco, por lo que el sistema debe de asegurar que las válvulas de entrada y salida estén abiertas en el momento de enviar la señal de activación, y no ejecutarla si esta condición no se cumple. En la Figura 25 se presenta la manera en cómo se definen las

condiciones para activar una alarma en una válvula. En la Figura 26 se muestra las condiciones de activación de una alarma, pero en un sensor.

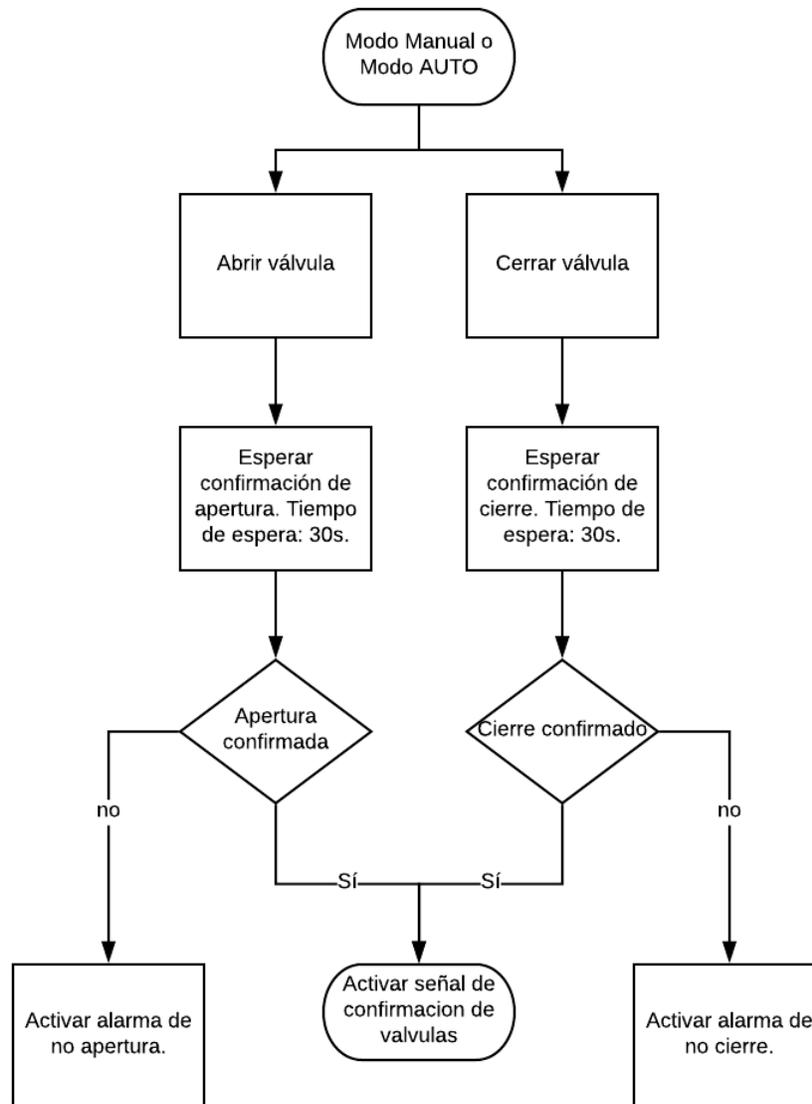


Figura 25. Diagrama de flujo de alarmas de válvulas. (Fuente propia)

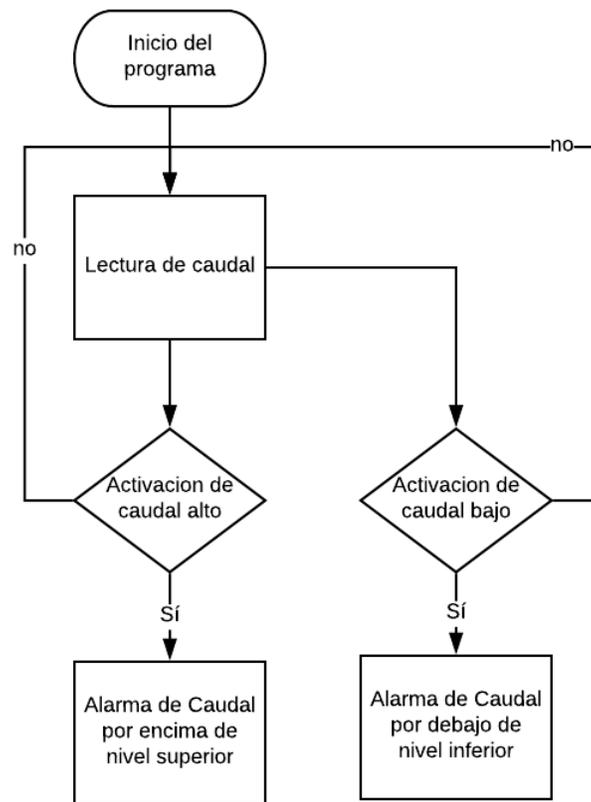


Figura 26. Diagrama de flujo de alarmas de sensores. (Fuente propia)

3.5 Selección, diseño e implementación de interfaz humano máquina (HMI).

El sistema debe tener una pantalla táctil de al menos 15 pulgadas en la cual se puedan visualizar alarmas, almacenar datos registrados, un esquema del laboratorio, pantallas de selección e información de variadores. Además, la navegación entre páginas no debe exceder los dos segundos. Estas páginas deben de verse lo más limpias posibles, sin saturarlas de información y con accesos a pestañas en tiempo de ejecución.

3.5.1 Selección del HMI.

Como ya se ha mencionado, este sistema debe de estar sobre diseñado para que se pueda expandir en un futuro. Por lo tanto, se va a utilizar Ignition como la plataforma para generar el SCADA. Este software puede ser utilizado en diferentes equipos y sin necesidad de pagar una licencia, no obstante, esto lo limita a dos horas el trabajo, pero con la posibilidad de reanudarlo. Las facilidades que este software ofrece se encuentran:

- Es un software universal, puede conectarse con equipos de distintas marcas.

- Es posible controlar el sistema de manera remota, por medio de IP.
- Es posible generar sistemas IoT.
- Posibilidad de generar alarmas complejas.
- Facilidad de generar reportes utilizando una base de datos industrial.
- Con un bajo costo de licencia se poseen conexiones, etiquetas, clientes y diseñadores.
- Su implementación es de bajo costo.

ControlSoft está mudando todos sus sistemas SCADA a Ignition, basado en las características anteriores. Un punto importante es que se puede controlar el sistema de manera remota por medio de internet, lo cual hace que en el momento de realizar actualizaciones o mejoras en el SCADA no se debe desplazar hasta el lugar físico donde se ubica el HMI. Esta característica ofrece reducción en los costos de mantenimiento y monitorización de los sistemas ya instalados. Otra gran ventaja que se obtiene es que el software se puede instalar en cualquier equipo de cómputo y trabajar desde ahí.

Para implementar este equipo se utilizó un CPU marca DELL OptiPlex 7040, como el de la Figura 27, y un monitor LCD táctil de 17 pulgadas de Hope Industrial System con la identificación HIS-ML17 STAH. Esta pantalla se alimenta con 120 VAC y se conecta con el CPU por medio de un cable serial y un cable USB, el segundo se utiliza para las funciones táctiles. Esta pantalla se ve en la Figura 28.



Figura 27. Dell OptiPlex 7040. [23]

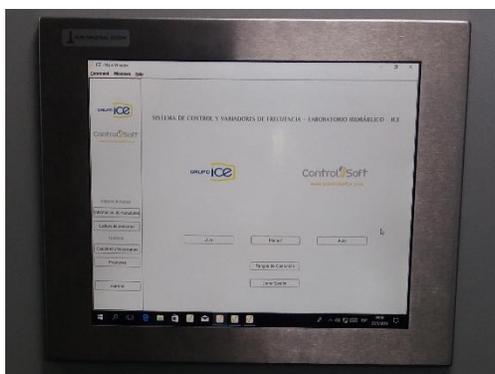


Figura 28. Monitor HIS-ML17 STAII. (Fuente Propia)

3.5.2 Diseño de SCADA

Para diseñarlo se definió el diagrama de flujo presente en la Figura 29. En éste se presenta cómo se navega en el HMI de manera general. Las pantallas y sus funciones se pueden ver en el anexo C, en éste se encuentra el manual de usuario con todas las pantallas y la descripción de las funciones presentes en ellas. Lo que son las alarmas, las gráficas, la información de los variadores y las lecturas en tiempo real de los sensores están a disposición todo el tiempo en la parte izquierda de la pantalla, a ésta se le llama menú en pantallas en el Manual de Usuario.

El software Ignition permite conectar los equipos de distintas marcas, en este caso los variadores de frecuencia y el PLC son marca Schneider Electric. Para comunicar todos los dispositivos se usa Modbus TCP. En Ignition se utiliza un servidor OPC en el cual se pueden agregar varios dispositivos, y por medio de etiquetas se puede transmitir con mucha facilidad información entre los equipos. Por lo tanto, en la Figura 30 se muestra un diagrama de flujo que representa la manera de cómo se transmite la información entre los equipos. Para realizar este mismo procedimiento en Unity Pro es necesario utilizar bloques de mensajería, lo cual hace que sea compleja su implementación.

Para representar que existe una alarma activa aparece una indicación de color rojo para que el usuario toque el botón de alarmas y revise cuál es la advertencia que se ha activado. Cuando se abre esta pestaña se encuentra la descripción de acuerdo con la identificación de los equipos según la nomenclatura dada por el ICE y el fallo o advertencia que se está dando. En la Tabla 10 se presenta una muestra de las diferentes alarmas que están definidas.

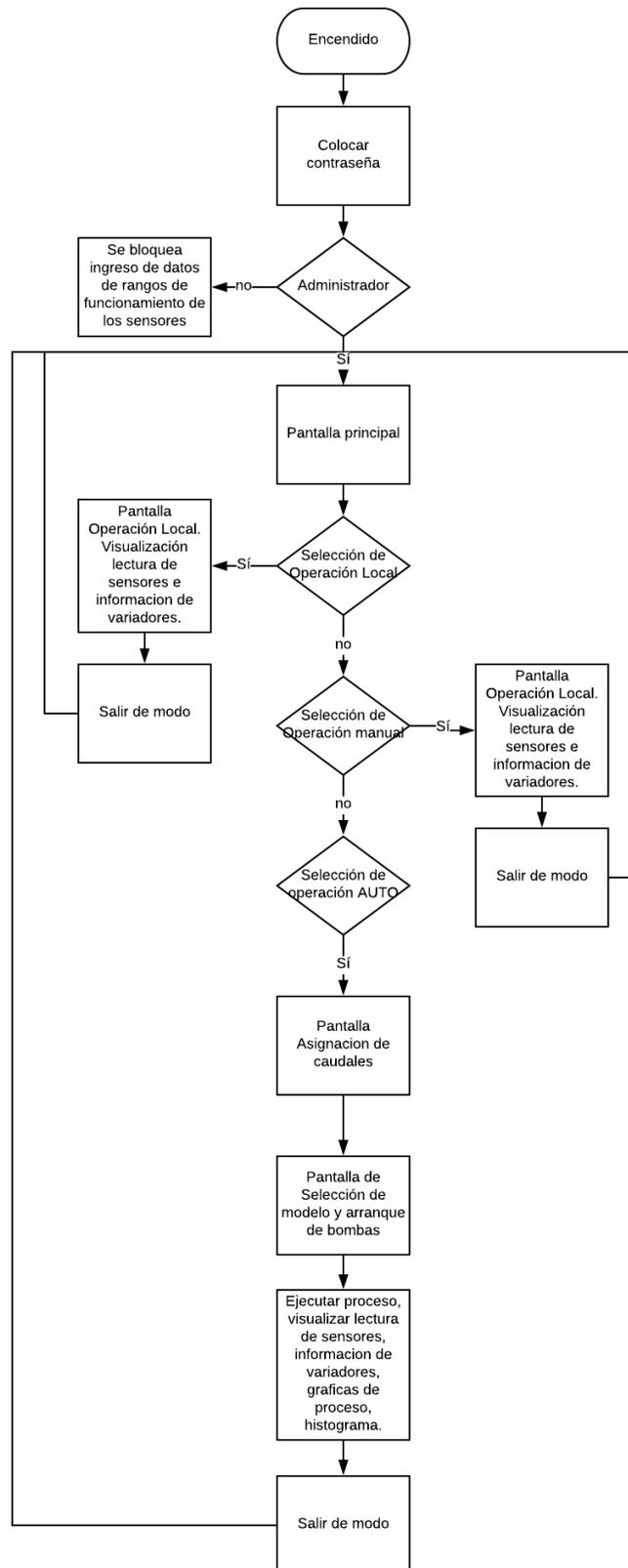


Figura 29. Diagrama de flujo del SCADA. (Fuente propia)

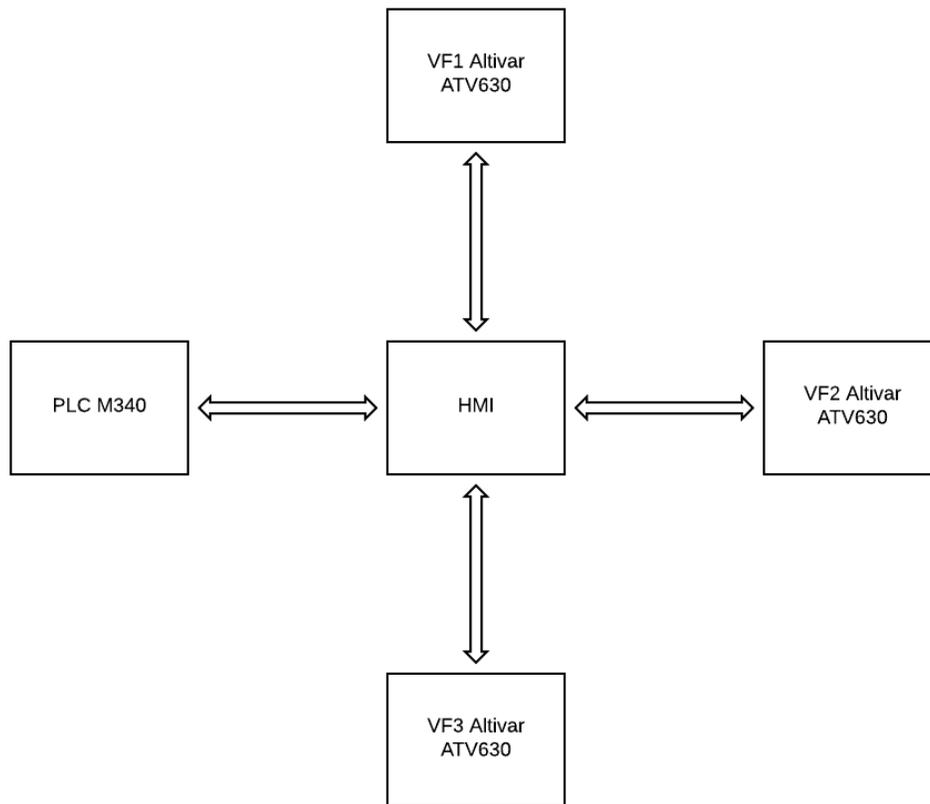


Figura 30. Configuración de comunicación Modbus TCP. (Fuente propia)

Tabla 10. Descripción de Alarmas. (Fuente propia)

Equipo	Tipo de advertencia
VM 010	NA: No Apertura NC: No Cierre
VM 302	NA: No Apertura NC: No Cierre
FIT 301	LA: Lectura Alta LB: Lectura Baja
FIT 3 ^o 1	LA: Lectura Alta LB: Lectura Baja
DPIT 301	LA: Lectura Alta LB: Lectura Baja
DPIT A01	LA: Lectura Alta LB: Lectura Baja
PIT 301	LA: Lectura Alta LB: Lectura Baja
LIT T001	LA: Lectura Alta LB: Lectura Baja
MV 01	LA: Lectura Alta LB: Lectura Baja

3.6 Programación del PLC

La programación del controlador Modicon M340 se realiza utilizando el software Unity Pro XL, el cual es parte de Schneider Electric. ControlSoft posee la licencia de este software. Como ya se había mencionado, este software provee la capacidad de simular el funcionamiento del PLC. Esto es de mucha ayuda para realizar verificaciones de funcionamiento antes de descargar el programa en el controlador.

Los lenguajes de programación escogidos para desarrollar la lógica son: diagramas de bloques funcionales (FBD), diagrama escalera (LD) y texto estructurado (ST), este último utilizado para generar bloques que contengan ecuaciones. La documentación completa del programa se encuentra en el anexo D, en este vienen las tablas de variables y las diferentes tareas. Por lo tanto, en este apartado se describirán los principales bloques para generar la lógica y cumplir los requerimientos.

3.6.1 Cumplimiento de condiciones

Para asegurar que el sistema en modo automático cumpla con las condiciones seleccionadas, el modelo de prueba y la configuración de arranque de las bombas, existe una lógica que primeramente lo verifica. Basado en el consumo energético de las bombas y la configuración seleccionada se van dando los pasos de activación a las válvulas y la activación del arranque de los variadores, así como las confirmaciones usadas en la lógica de proceso. Esto se puede ver en la Figura 31 y Figura 32, donde está la lógica implementada en el programa para este apartado.

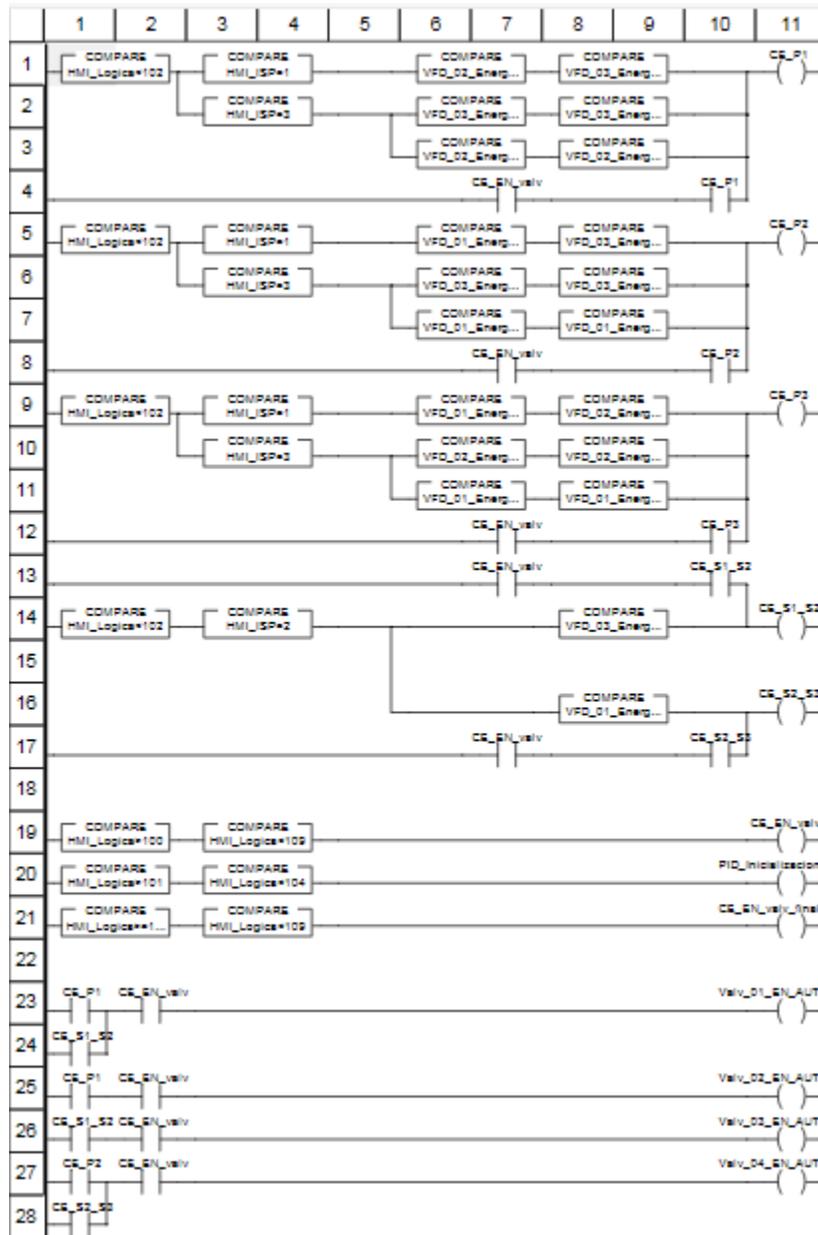


Figura 31. CE_Condiciones_EN, primera parte. (Fuente Propia)

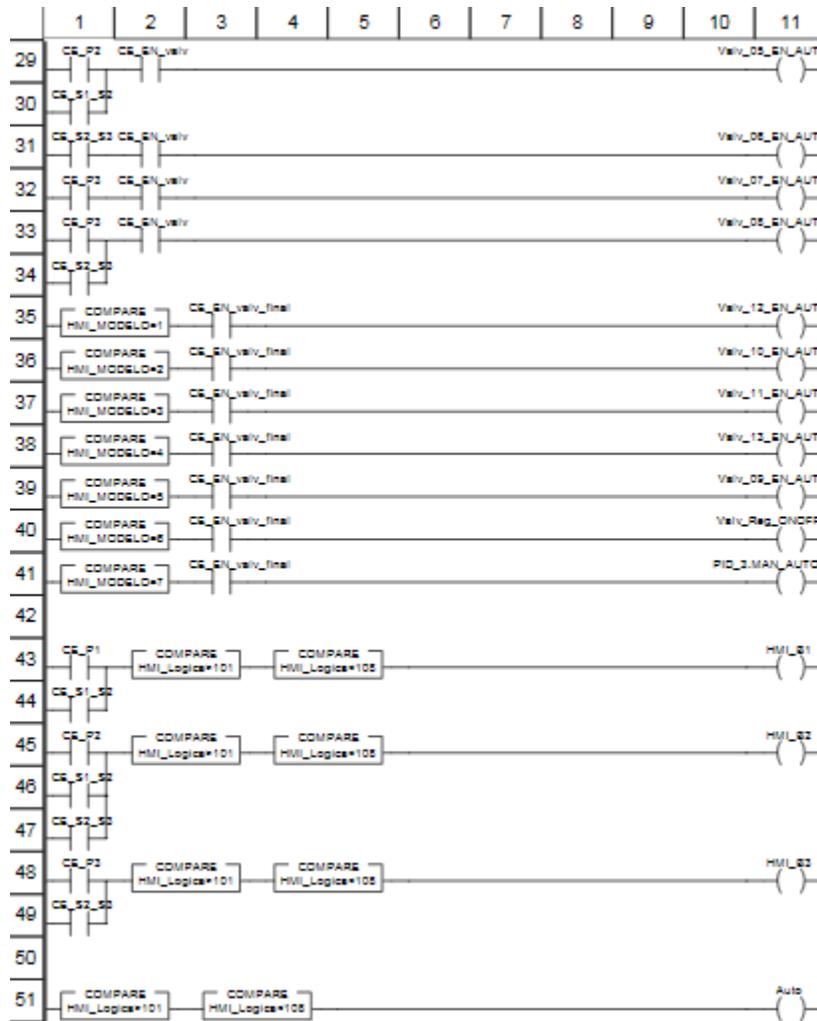


Figura 32. CE_Condiciones_EN, segunda parte. (Fuente Propia)

Es necesario validar estas condiciones. De acuerdo con las configuraciones seleccionadas por el usuario, se tiene una lógica para evitar que las bombas no arranquen en vacío. Además, se debe procurar que la válvula final esté completamente abierta antes de empezar con el seguimiento del histograma. En la Figura 33 se presenta esta lógica.

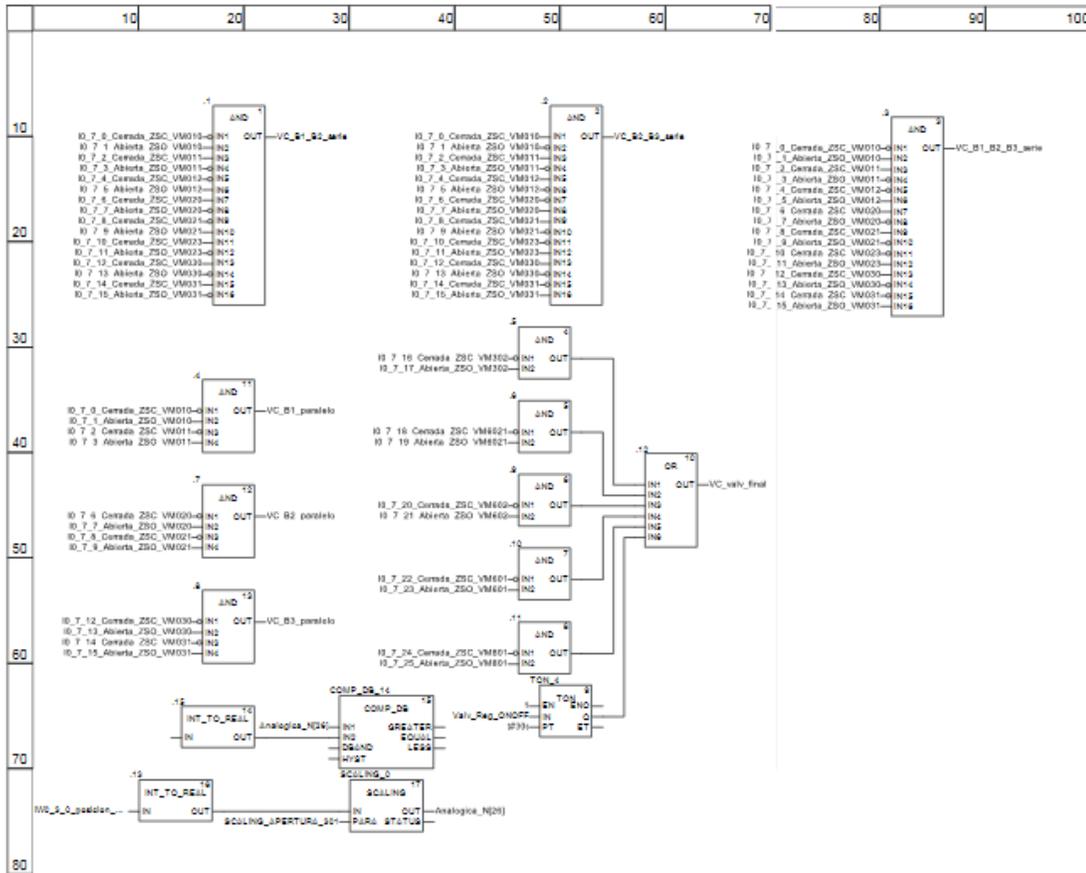


Figura 33. VC_Validación_condiciones. (Fuente Propia)

3.6.2 Lógica del proceso

Cuando se va a utilizar el modo automático, en el programa ingresa a una página llamada lógica de proceso. En éste se utilizan unas variables llamadas HMI_Logica que determinan en qué parte del proceso se encuentra. Inicialmente se debe de corroborar las condiciones de apertura de las válvulas de las bombas, en la configuración deseada. Luego se activan los variadores y se pone a trabajar las bombas a una velocidad para la presurización de las tuberías. Esta etapa dura 6 minutos controlados por medio de un temporizador. Terminado el tiempo de presurización, se envía la orden de abrir la válvula final del modelo seleccionado y se espera la confirmación de apertura. Luego se ejecuta el hidrograma deseado, en esta parte se tiene un proceso cíclico hasta que se completan los caudales asignados. Terminado este proceso se da un tiempo de despresurización de 6 minutos antes de cerrar las válvulas, en esta etapa ya las bombas están apagadas. Con esto finaliza el proceso

y se queda a la espera de una nueva selección. Esta lógica se ve en la Figura 34, Figura 35, Figura 36 y Figura 37.

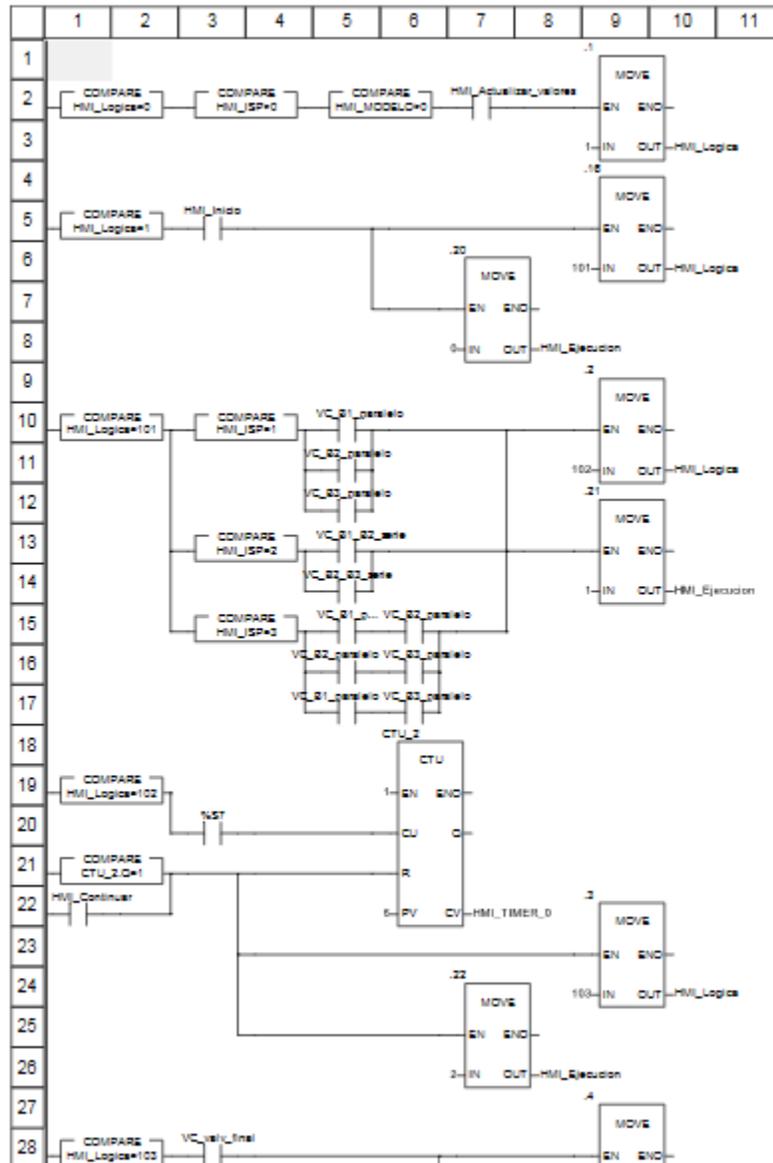


Figura 34. LP_Logica_proceso (Primera parte). (Fuente Propia)

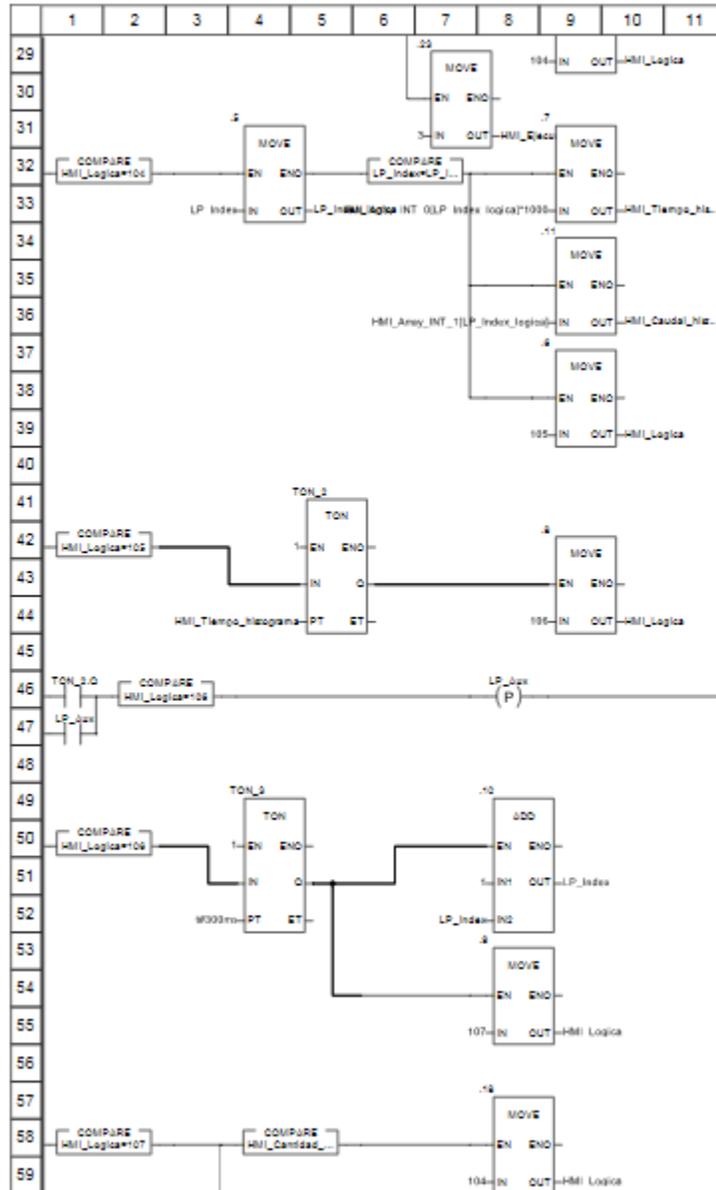


Figura 35. LP_Logica_proceso (Segunda parte). (Fuente Propia)

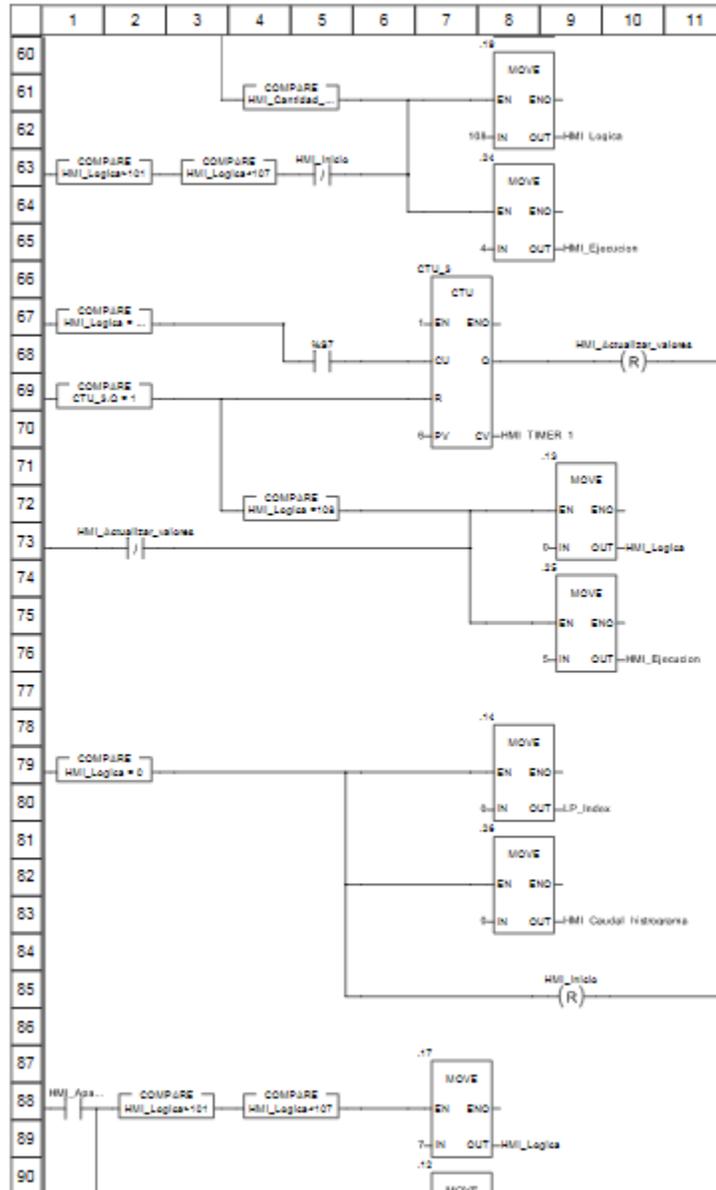


Figura 36. LP_Logica_proceso (Tercera parte). (Fuente Propia)

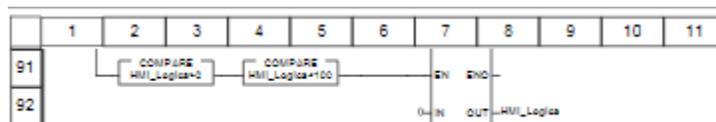


Figura 37. LP_Logica_proceso (Cuarta parte). (Fuente Propia)

3.6.3 Control de las válvulas

Las válvulas pueden abrirse o cerrarse de manera automática o manual. Esto hace que su control se realice por medio de un bloque que recibe las órdenes de ejecución, la selección del modo de operación y el tiempo que debe esperar el bloque para corroborar si se confirma la apertura o el cierre, según sea el caso. En la salida están las dos señales de ejecución, apertura y cierre, y las dos alarmas, no apertura y no cierre. Además, se tiene una señal que va para el HMI donde se determina el estado de la válvula: abierta, cerrada, en proceso de apertura/cierre. En la Figura 38 se muestra el proceso de ejecución por medio de un diagrama de flujo y en la Figura 39 cómo se ve uno de estos bloques en la lógica.

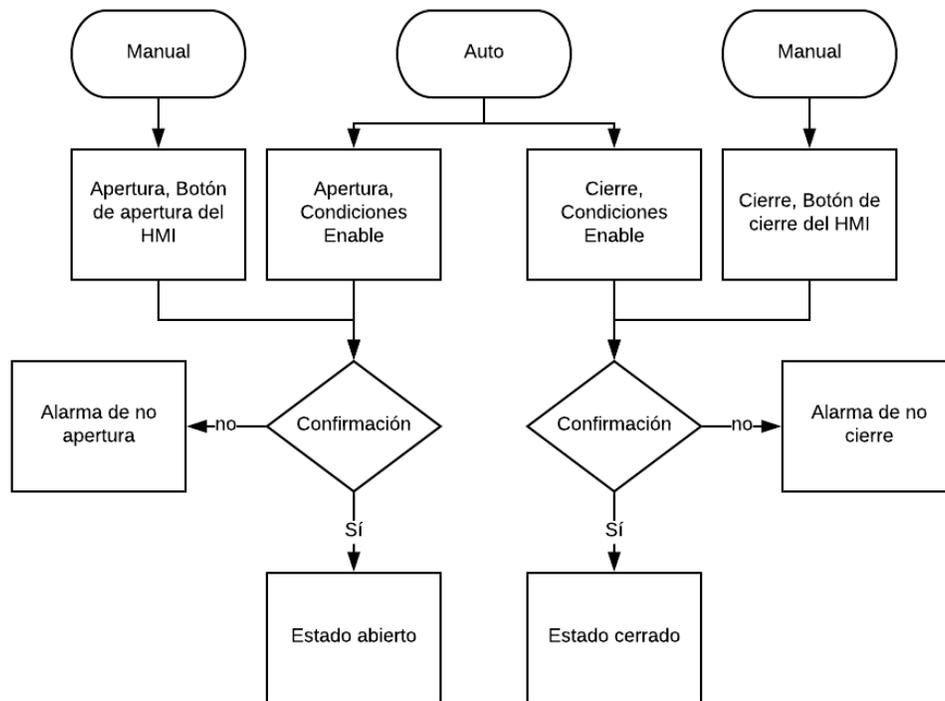


Figura 38. Diagrama de flujo del accionamiento de las válvulas. (Fuente propia)

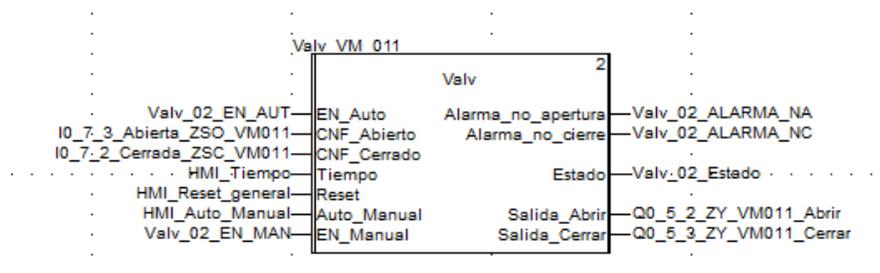


Figura 39. Bloque de función de válvula. (Fuente Propia)

3.6.4 Lectura de sensores

Los módulos del PLC reciben la señal y la transforman a cuentas, éstas van de 0 a 6000 cuentas. Para transmitir este dato al HMI se debe de escalar para pasarlo a una señal que va de 0 a 24, para obtener un valor en mA. Posteriormente se realiza un segundo escalamiento para convertir el dato en la variable física que se está midiendo. La razón de realizar dos escalamientos es para corroborar que la corriente concuerde con la lectura en el PLC. Lo siguiente es realizar una comparación con los límites definidos desde el HMI por el usuario, de esta manera se determina el rango de no activación de las alarmas. Por último, se guarda el dato en un espacio de memoria el cual el HMI va a acceder por medio de Modbus TCP. En la Figura 40 se muestra la lógica involucrada dentro de cada bloque del sensor, éste último representado en la Figura 41.

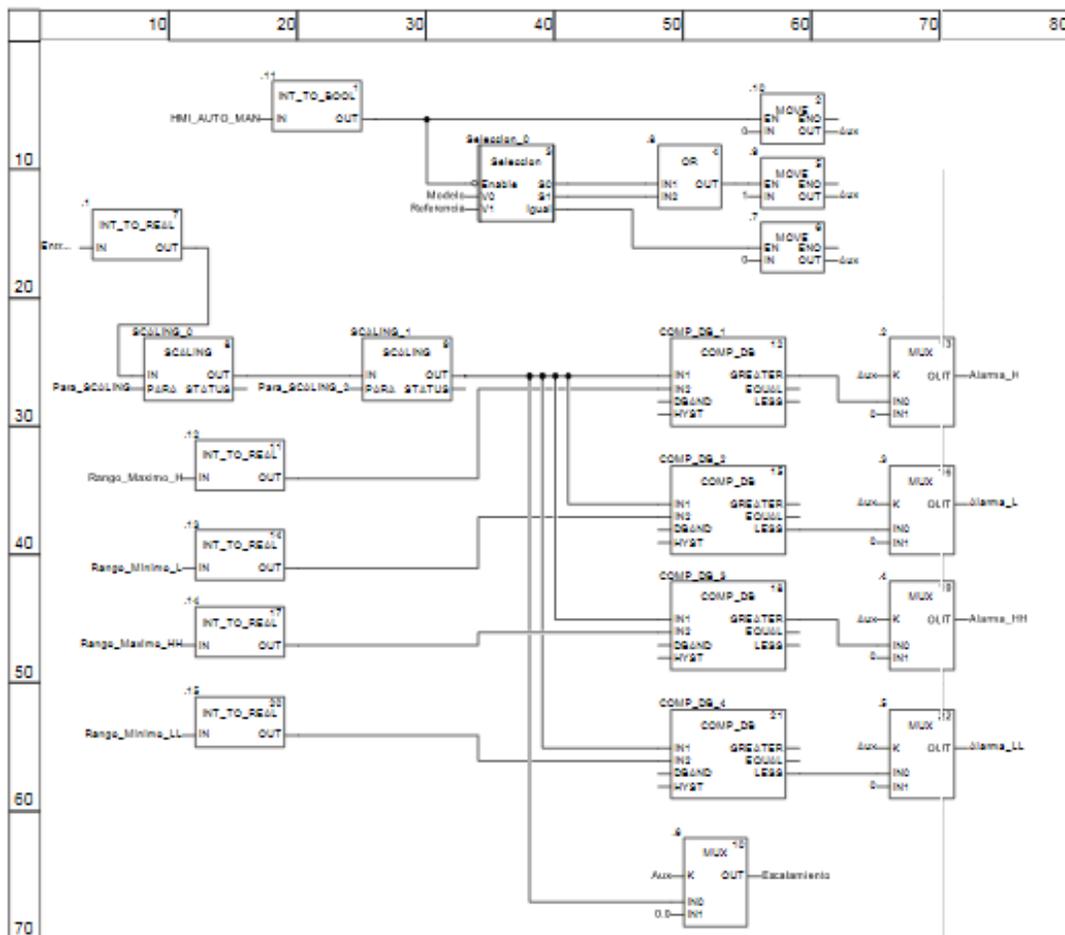


Figura 40. Lógica de lectura de sensores. (Fuente propia)

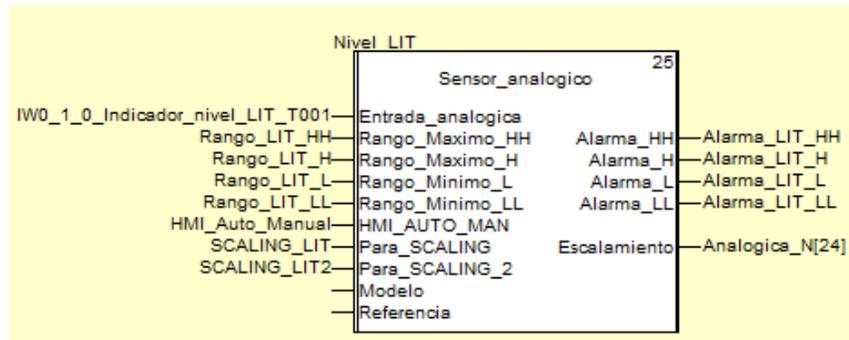


Figura 41. Bloque de función de sensor. (Fuente Propia)

3.6.5 Control de Variadores

El control de la activación y variación de la frecuencia en los variadores tiene dos modos. En el modo manual tanto la señal de activación como la frecuencia de operación proviene directamente de lo ingresado en el HMI. En el modo AUTO se realiza por medio de las confirmaciones y el control retroalimentado del caudal. Este control se va a describir en el apartado de resultados. En la Figura 42 se muestra la lógica del bloque de los variadores y en la Figura 43 se presenta uno de los 3 bloques usados, uno por cada variador.

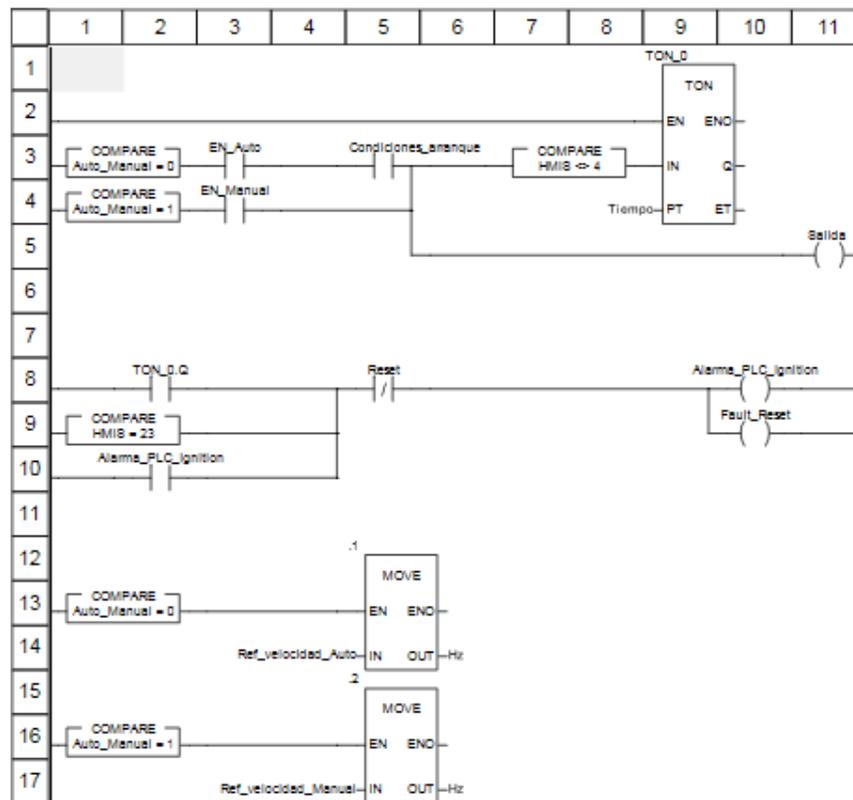


Figura 42. Lógica de bloque de arranque de variadores. (Fuente propia)

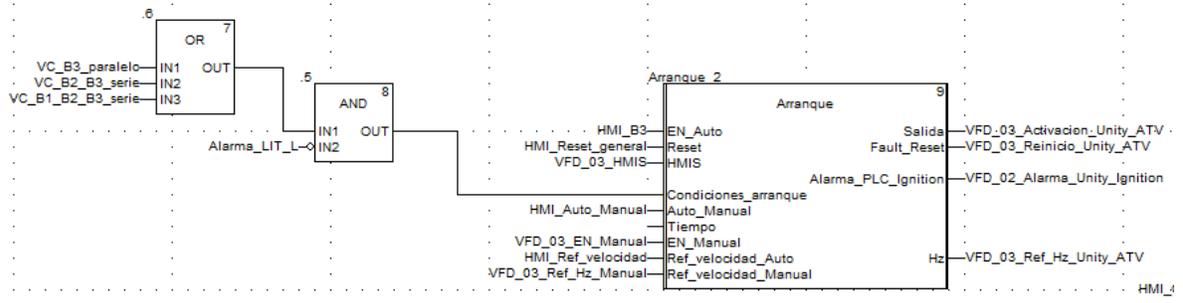


Figura 43. Bloque de función de variadores. (Fuente propia)

Capítulo 4. Resultados y Análisis.

4.1 Modo manual y modo de operación local

Una de las ventajas que este proyecto posee es que las pruebas se pueden realizar en campo esto porque el alcance llega hasta la implementación. Parte del control realizado es sobre válvulas y sensores que habían sido adquiridos por parte del ICE. Estas señales se simularon con Unity Pro XL para ver su funcionamiento general y la transmisión de datos a Ignition. Posteriormente se debe corroborar que las conexiones se hayan realizado correctamente. Para realizar estas pruebas de comunicación, entre las conexiones de los sensores y el PLC, se utilizó un calibrador de lazo y se anotaron los resultados directamente visualizados desde la pantalla de visualización del HMI, estos están presentes en la Tabla 11. Estos valores se encuentran en litros por segundo (l/s) con una incertidumbre de 0.5 l/s. La incertidumbre en los valores visualizados en la pantalla se obtiene con un promedio, debido a la variación de la señal analógica que emiten los transmisores de caudal ya instalados.

Tabla 11. Verificación de comunicación y transmisión de señales de los sensores. (Fuente propia)

Sensor	4mA	8mA	12mA	16mA	20mA	Resultado
FIT-801	4,55	15,9	27,2	38,54	49,4	Aprobado
LIT-T001	0	25	50	75	100	Aprobado
FIT-601	10	32,5	55,02	77,52	100	Aprobado
FIT-602	5	16,24	27,5	38,74	49,99	Aprobado
FIT-6021	2,44	7,88	13,16	18,27	23,12	Aprobado
FIT-301	20	65	110,04	155,04	200,04	Aprobado
PIT-302	-1	-0,23	0,55	1,33	2,1	Aprobado
PIT-801	-1	-0,22	0,55	1,33	2,1	Aprobado
DPIT-801	-25	-12,5	0,01	12,51	25,01	Aprobado
DPIT-601	-25	-12,51	0	12,47	24,98	Aprobado
DPIT-602	-25	-12,5	0,01	12,51	25,01	Aprobado
DPIT-6021	-25	-12,5	0,01	12,51	25,01	Aprobado
DPIT-301	-25	-12,5	-0,01	12,51	25,02	Aprobado
PIT-601	-1,77	-1	-0,23	1,33	2,1	Aprobado
PIT-602	-1,77	-1	-0,23	1,33	2,1	Aprobado
PIT-6021	-1,77	-1	-0,23	1,33	2,1	Aprobado
PIT-301	-1,77	-1	-0,23	1,33	2,1	Aprobado
FIT-3°01	9,92	19,54	29	38,22	47,1	Aprobado
FIT-3°02	49,96	87,46	124,96	162,35	199,93	Aprobado
DPIT-A01	-3	-1,5	0	1,5	3	Aprobado
DPIT-A02	-3	-1,5	0	1,5	3	Aprobado

MV-01	4	8	12	16	20	Aprobado
MV-02	4	8	12	16	20	Aprobado
MV-03	4	8	12	16	20	Aprobado

Para corroborar que las válvulas reaccionan a las señales de ejecución y que emite las confirmaciones, se utilizó el modo de operación manual. Este permite abrir y cerrar las válvulas de forma remota. Esta prueba ayuda a verificar que la conexión esta correcta, que la alimentación es la adecuada y que las válvulas están correctamente ajustadas para enviar las señales de confirmación. En la Tabla 12 se presenta que las pruebas tuvieron su aprobación de funcionamiento.

Tabla 12. Verificación de funcionamiento de las válvulas desde el HMI. (Fuente Propia)

Válvula	Orden de Abrir	Orden de Cerrar	Confirmación de apertura	Confirmación de cierre
VM-801	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado
VM-601	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado
VM-602	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado
VM-6021	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado
VM-302	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado
VM-301	NOTA	NOTA	NOTA	NOTA
VM-010	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado
VM-011	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado
VM-020	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado
VM-021	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado
VM-030	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado
VM-012	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado
VM-023	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado
VM-031	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado

Se observa que existe la palabra *NOTA* en las confirmaciones de apertura y cierre y en las órdenes de abrir y cerrar de la válvula VM 301, esto se debe a que estas señales son analógicas, es decir varía de 0 mA a 20 mA de acuerdo con la apertura correspondiente de la válvula. La prueba de confirmación se realizó como las de los sensores, utilizando el calibrador de lazo antes de realizar la prueba con la señal de confirmación de la válvula conectada. Las pruebas simuladas fueron exitosas como se presenta en la Tabla 13, no obstante, la tarjeta de la válvula posee un daño que no permite obtener la confirmación de posición, está en proceso de corrección. Por otro lado, para abrir la válvula se utilizó el modo

manual de funcionamiento del sistema, ya que este permite colocar un porcentaje de apertura y convertirlo en una señal analógica. Para corroborar la apertura correcta se utilizó el indicador mecánico que posee la válvula, y los resultados se presentan en la Tabla 14. Esta válvula solamente abre un cuarto de vuelta, por lo tanto, los valores indicados en esta tabla son la fracción de la apertura de la válvula.

Tabla 13. Confirmación con calibrador de lazo de señal de confirmación de válvula proporcional. (Fuente Propia)

Corriente ingresada	Posición leída desde el HMI
0 mA	0 %
4 mA	20 %
8 mA	40 %
12 mA	60 %
16 mA	80 %
20 mA	100 %

Tabla 14. Confirmación de ejecución de apertura de válvula proporcional. (Fuente Propia)

Porcentaje de apertura ingresada	Indicador de la válvula
0 %	0
25 %	1/16
50 %	1/8
75 %	3/16
100 %	1/4

Los resultados de estas pruebas validan el funcionamiento del modo manual y modo local, ya que en ambos es posible observar la lectura de los sensores y se puede ver el estado de las válvulas. Además, en el modo manual es posible activar la apertura y cierre de las mismas, así como simular fallos y ver si se reportan. Para realizar esta prueba se des-energiza la válvula y se envía la orden, sea de apertura o cierre según corresponda, para luego esperar 30 segundos y ver si la alarma aparece. Esto se realizó junto con la simulación de una alarma de señal de un sensor alta. En ésta se utiliza el calibrador de lazo para generar una señal superior a 20 mA, en este caso de 24 mA, y observar si se registra. Ambas pruebas fueron

exitosas, dando como resultado la verificación de funcionamiento del modo manual y modo local.

4.2 Variadores de frecuencia

Utilizando el modo manual se realizó la verificación de comunicación y funcionamiento de los variadores de frecuencia. Las bombas no se pueden arrancar en seco, por ende, primero se deben cargar de agua las tuberías abriendo todas las válvulas instaladas en el cuarto de bombas. Las válvulas finales se mantendrán cerradas, ya que para esta prueba el agua no va a llegar a presurizar las tuberías. Lo que se hace es colocar un valor de frecuencia en la casilla designada para cada variador en el HMI, para este caso se usa 30 Hz. Luego se abren las válvulas de manera que el funcionamiento de las bombas sea en paralelo, es decir se abren las válvulas VM 010, VM 011, VM 020, VM 021, VM 030 y VM 031, y se cierran las VM 012 y VM 023. Se verifica en las pantallas de los variadores que el valor se asignó y se procede a activarlos desde el HMI, donde se monitorizan las variables requeridas. La Tabla 15 muestra los resultados de las pruebas realizadas.

Tabla 15. Verificación de funcionamiento de variadores. (Fuente Propia)

Prueba	Resultado VF1	Resultado VF1	Resultado VF1
Frecuencia transmitida al variador	Correcta	Correcta	Correcta
Señal de activación transmitida	Variador arranca	Variador arranca	Variador arranca
Tensión en HMI	Transmitida	Transmitida	Transmitida
Corriente en HMI	Transmitida	Transmitida	Transmitida
Potencia en HMI	Transmitida	Transmitida	Transmitida
Energía Consumida en HMI	Transmitida	Transmitida	Transmitida
Velocidad en HMI	Transmitida	Transmitida	Transmitida
Estado de variador en HMI	Transmitida	Transmitida	Transmitida
Frecuencia ejecutada, transmitida al HMI	Correcta	Correcta	Correcta

4.3 Modo automático

Ya teniendo verificado el funcionamiento de todos los equipos instalados y no instalados en el laboratorio, se puede realizar la verificación del modo automático. Por ende, se procede a colocar un valor de caudal por un tiempo de 5 minutos, seleccionar una modelo y una combinación de las bombas. Luego se ejecuta la rutina y se observa su comportamiento tanto en el HMI como en Unity Pro XL, en donde se puede observar en tiempo real el comportamiento del programa en el PLC. Todo esto se realiza con los variadores apagados, esto para primeramente ver las órdenes que el PLC emite y que si una de estas no cumple con lo establecido o es incorrecta no genere ningún daño en los equipos. En la Tabla 16 se presenta la verificación de funcionamiento de la lógica de proceso.

Tabla 16. Verificación de lógica en modo automático. (Fuente Propia)

Proceso	Correcto	Incorrecto
Apertura de válvulas	X	
Señal de activación de los variadores y asignación de frecuencia	X	
Presurización	X	
Apertura de válvula final	X	
Asignación de tiempo y caudal	X	
Seguimiento de tiempo, asignación de frecuencia a variadores	X	
Apagado de variadores	X	
Despresurización	X	
Cierre de válvulas	X	

4.3.1 Controlador PID

El control de la frecuencia de los variadores en modo automático debe estar vinculado con el caudal asignado, esto para poder seguir el hidrograma deseado y tener datos para ser usados posteriormente. La implementación de este controlador se realiza por medio de un bloque PID integrado en el PLC, al cual hay que definirle las constantes K_p , K_i y K_d . Para ajustar las constantes se enciende la bomba 1 y se revisa el caudal medido por el sensor FIT 801 en el momento que esté estable, esto se realiza a una frecuencia de 35 Hz. Ya teniendo el valor de este caudal se apaga la bomba y se procede a obtener una respuesta a una señal de impulso, esto para determinar el tiempo que dura en llegar al caudal deseado. Teniendo esta

información se determinan las constantes usando el Método Basado en la curva de reacción, teniendo como resultado las siguientes constantes:

- $K_p = 4.62$
- $T_i = 24 \text{ s}$
- $T_d = 6 \text{ s}$

Teniendo estas constantes se prueban en modo automático. El resultado obtenido se observa en la Figura 44, donde hay una parte del gráfico con eje horizontal de tiempo y eje vertical de caudal.

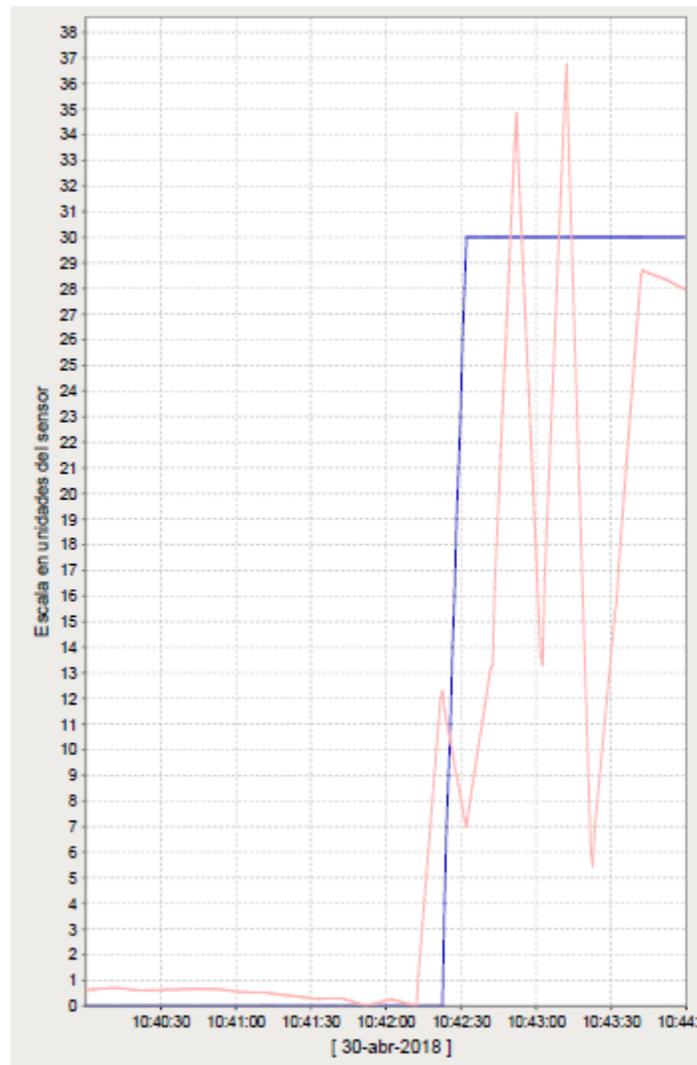


Figura 44. Respuesta al control del caudal por medio de PID. (Fuente Propia)

La línea azul es el caudal que se desea y la línea roja el caudal obtenido. Se observa que se oscila con una amplitud grande, este comportamiento se presenta cuando el ajuste de

las constantes es incorrecto. Por lo que se procede a probar diferentes valores de constantes, usando el método de ajuste manual. En la Tabla 17 se muestran los diferentes valores de constantes utilizados.

Tabla 17. Pruebas de constantes del PID. (Fuente Propia)

Kp	Kd	Ki	Correcto	Incorrecto
4.62				X
90				X
0.9				X
1.3				X
1.5				X
1.7				X
2.1				X
2.3				X
2.5				X
2.7				X
1.9	0.001 – 0.1			X
	0.1 – 1			X
	1.3	0.1 – 0.8		X
		0.01		X

Estos resultados descartan completamente el uso de un PID. Las razones que hace que se descarte son las siguientes:

- El variador de frecuencia posee un tiempo de aceleración y desaceleración ya definidas que acumula un error en el tiempo de ejecución de la orden emitida por el PLC, esto hace que la amplitud de la oscilación no disminuya.
- Se puede disminuir la amplitud de la oscilación, pero no llegar a un error de 5 % que es el deseado.
- Esta prueba solo se realizó con una bomba y el modelo 1, los valores que se obtienen no son aplicables a otro modelo.

El mejor resultado obtenido con el bloque de PID se muestra en la Figura 45, donde hay una parte del gráfico con eje horizontal de tiempo y eje vertical de caudal.

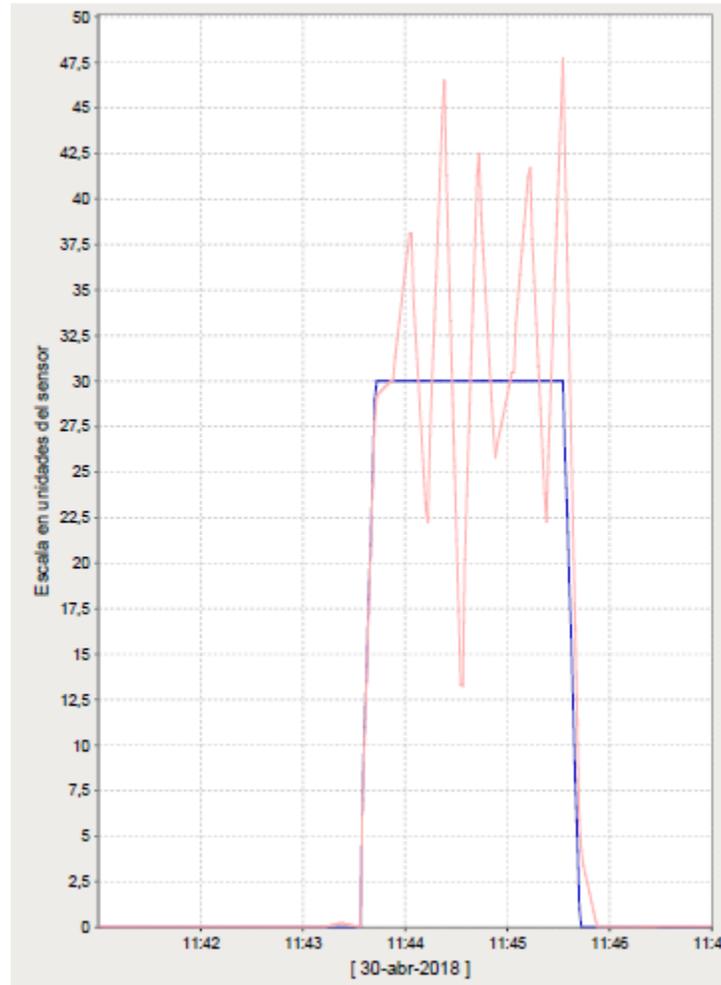


Figura 45. Mejor resultado con controlador PID. (Fuente Propia)

4.3.2 Controlador con ecuación retroalimentada

Para controlar finalmente el caudal en modo automático se utiliza una ecuación de segundo orden que ajusta la frecuencia que se asigna a los variadores. Se realiza con la diferencia existente entre el caudal deseado y al caudal obtenido con la regulación. Para obtener las constantes de la ecuación de segundo orden se realiza el siguiente procedimiento:

- Poner a funcionar las bombas en las distintas configuraciones y en los distintos modelos de prueba.
- Variar la frecuencia cada 5 Hz, empezando donde el caudal es 0 l/s y el sistema está presurizado.

- Con los datos de caudales respecto a la frecuencia colocada se generan ecuaciones de segundo orden.
- Se obtienen las constantes.

En la Tabla 18 se muestran los distintos datos promedio que se usan para obtener las curvas de mejor ajuste del modelo dos con la tubería de 100 mm, con una incertidumbre de ± 0.5 l/s. La Figura 46 muestra la curva que se obtiene con una bomba funcionando. Por último, en la Tabla 19 se muestran las distintas constantes que se utilizan para el control del caudal en el modo automático, los bloques para generar este control se ven en la Figura 47 y Figura 48.

Tabla 18. Datos para obtener las curvas de mejor ajuste. (Fuente Propia)

Configuración de las bombas	Individual	Paralelo	Serie
Frecuencia (Hz)	Caudal (l/s)	Caudal (l/s)	Caudal (l/s)
20			0
25	0	0	23,3
30	10,2	10,7	32,7
35	24,4	25,9	41,3
40	31,9	33,9	49,6
45	38,7	41,2	
50	45,2	48,1	
55	51,2		

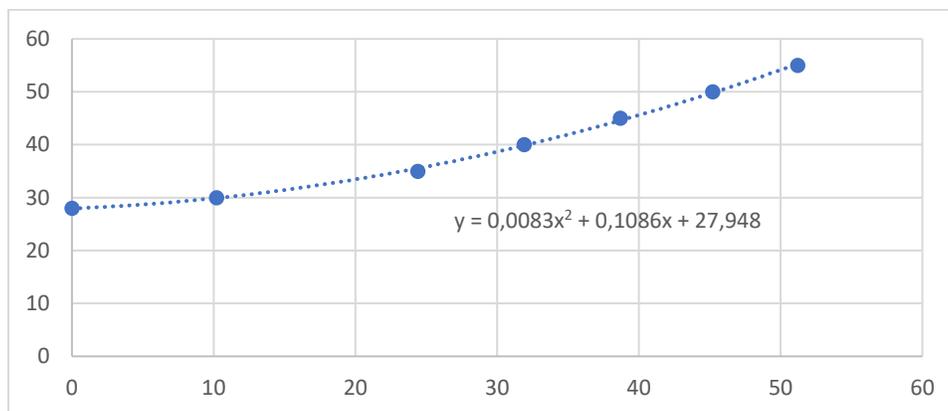


Figura 46. Gráfico de caudal vs frecuencia, configuración de bombas individual. (Fuente Propia)

Tabla 19. Constantes usadas en el control automático. (Fuente Propia)

Modelo, tubería, configuración de bombas	Constantes
Modelo 1, 100 mm, Individual	a = 0.0077 b = 0.1911 c = 25.009
Modelo 1, 100 mm, Paralelo	a = 0.0078 b = 0.1417 c = 25.066
Modelo 1, 100 mm, Serie	a = 0.0066 b = 0.126 c = 17.932
Modelo 2, 75 mm, Individual	a = 0.0218 b = 0.3656 c = 26.332
Modelo 2, 75 mm, Paralelo	a = 0.0209 b = 0.3555 c = 26.399
Modelo 2, 75 mm, Serie	a = 0.0198 b = 0.1204 c = 20.039
Modelo 2, 100 mm, Individual	a = 0.0083 b = 0.1086 c = 27.948
Modelo 2, 100 mm, Paralelo	a = 0.0051 b = 0.2591 c = 25.520
Modelo 2, 100 mm, Serie	a = 0.0066 b = 0.0855 c = 19.913
Modelo 2, 150 mm, Individual	a = 0.0015 b = 0.1487 c = 27.674
Modelo 2, 150 mm, Paralelo	a = 0.0015 b = 0.073 c = 27.926
Modelo 2, 150 mm, Serie	a = 0.0017 b = 0.1085 c = 19.938
Modelo 2, 200 mm, Individual	a = 0.0019 b = 0.0246 c = 27.307
Modelo 2, 200 mm, Paralelo	a = 0.0014 b = -0.0218 c = 26.987
Modelo 2, 200 mm, Serie	a = 0.0021

	b = 0.0294 c = 19.253
Modelo 3, 200 mm, Individual	a = 0.0013 b = 0.1618 c = 16.444
Modelo 3, 200 mm, Paralelo	a = 0.0009 b = 0.0713 c = 18.792
Modelo 3, 200 mm, Serie	a = 0.0009 b = 0.2095 c = 11.165

```

IF Enable = TRUE THEN

    OUT := Const 3;

ELSE

    X := Qset - K;

    K := Qpv - Qset;

    OUT := Const 1*X*X + Const 2*X + Const 3;

END_IF;

```

Figura 47. Ecuación con retroalimentación para control de frecuencia. (Fuente Propia)

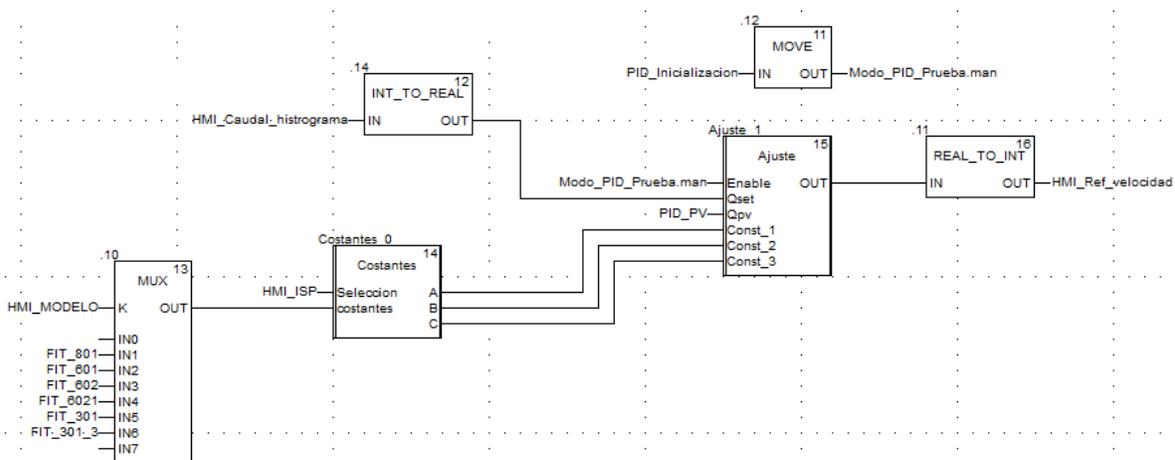


Figura 48. Bloques para control de frecuencia. (Fuente Propia)

Al utilizar este control se obtienen los resultados deseados. Los errores obtenidos son menores al 5 %, por lo que se da por verificado el modo automático, tanto en la lógica como

en el control. En una ejecución del programa en este modo se obtiene el resultado que se observa en la Figura 49.

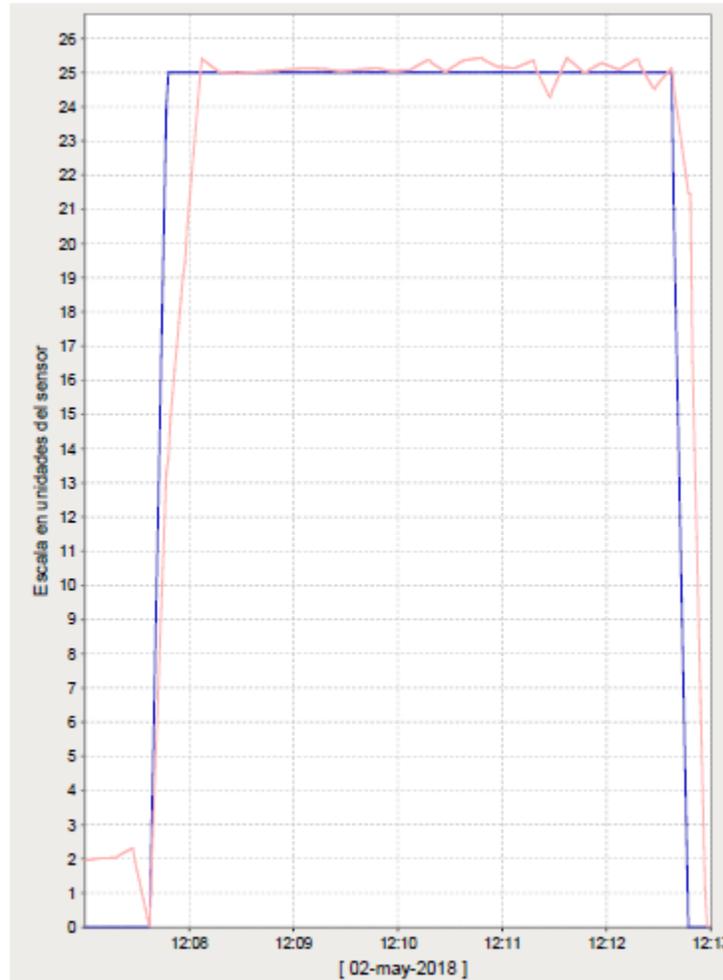


Figura 49. Resultado de implementación del control con ecuación de segundo orden. (Fuente Propia)

4.4 Validación del Proyecto

Se llevó a cabo un procedimiento de validación del sistema implementado por completo, este se presenta en la Tabla 20. Con esta lista se verifica el cumplimiento de los requerimientos solicitados, de manera que pueda ser entregado y se puedan sacar conclusiones y recomendaciones.

Tabla 20. Pruebas de validación del sistema. Fuente Propia)

Prueba	Resultado	Observaciones
Operación Local del modelo 1 con bomba 1 descargando un caudal de 25 l/s durante 5 minutos: monitorización de los instrumentos fijos LIT T001, FIT 801 y VM 801 en la HMI, verificación del caudal en el medidor FIT 801 y análisis del registro de señales.	Aprobado	
Operación Manual del modelo 1 con bombas 1 y 2 en paralelo, descargando un caudal de 25 l/s durante 5 minutos: monitorización de los instrumentos fijos LIT T001, FIT 801 y VM 801 en la HMI, verificación del caudal en el medidor FIT 801 y análisis del registro de señales.	Aprobado	
Operación automática del modelo 1 con dos bombas en serie, descargando un caudal de 25 l/s durante 5 minutos: monitorización de los instrumentos fijos LIT T001, FIT 801 y VM 801 en la HMI, verificación del caudal en el medidor FIT 801 y análisis del registro de señales.	Aprobado	
Operación automática del modelo 2 con tubería de 100 mm con una	Aprobado	Se realizó en el modelo 1 debido a un daño en el modelo 2. Se realizó, por lo

bomba, descargando un hidrograma de caudales de 10, 20, 30, 40 y 50 l/s durante 5 minutos cada uno: monitorización de los instrumentos fijos LIT T001, FIT 603 y VM 602 en la HMI, verificación del caudal en el medidor FIT 602 y análisis del registro de señales.		tanto: monitorización de los instrumentos fijos LIT T001, FIT 801 y VM 801 en la HMI, verificación del caudal en el medidor FIT 801 y análisis del registro de señales.
Operación automática del modelo 3 con una bomba, descargando un caudal de 50 l/s durante 10 minutos: monitorización de los instrumentos fijos LIT T001, FIT 301 y VM 301 en la HMI, verificación del caudal en el medidor FIT 301 y análisis del registro de señales.	Aprobado	

Para comprobar la exactitud del caudal en el seguimiento del hidrograma se realizó una prueba con el modelo 3 utilizando una sola bomba. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 21, en los cuales se muestran los caudales deseados y los caudales obtenidos visto desde el HMI con una incertidumbre de ± 0.5 l/s.

Tabla 21. Hidrograma para obtención del porcentaje del error en el modelo 3. (Fuente propia)

Caudal deseado (l/s)	Caudal obtenido (l/s)	Porcentaje de error (%)
34	33,5	1,47
40	39,8	0,50
45	45,4	0,89
50	50,5	1,00
57	57,4	0,70
62	61,6	0,65
68	67,4	0,88

Luego se realizó otra prueba con el modelo 1, realizando un histograma más pequeño. En la Tabla 22 se presentan los resultados, con una incertidumbre de ± 0.5 l/s y obtenidos desde el HMI.

Tabla 22. Hidrograma para obtención del porcentaje del error en el modelo 1. (Fuente propia)

Caudal deseado (l/s)	Caudal obtenido (l/s)	Porcentaje de error (%)
20	20,4	2,00
30	31,4	4,67
40	40,2	0,50
50	49,4	1,20

Con estos datos se comprueba que el porcentaje de error sea menor al 5 %.

4.5 Plan de Mantenimiento

Los equipos instalados por parte de ControlSoft son: variadores de frecuencia, PLC, HMI, Gabinetes y cableado de control. El plan de mantenimiento de estos equipos está pensado para 5 años, tiempo que está definido en los requerimientos por parte del ICE. A continuación, se enlista en la Tabla 23 las inspecciones que se deben de realizar en ese periodo.

Tabla 23. Plan de Mantenimiento. (Fuente Propia)

Inspección	Cada 6 meses	Cada 12 meses
Revisión de cableado, daños, rasgaduras.		X
Revisión de gabinetes, estado, cableado interno, estado de los equipos.		X
Revisión de medición de sensores, error menor a 5 %	X	
Actualización de software, Windows 10	X	
Revisión de variables de los variadores de frecuencia		X
Chequeo de funcionalidad total del sistema		X

4.5 Análisis Financiero

La modernización del laboratorio de hidráulica del ICE se realiza con el fin de alcanzar una reducción del tiempo que se dura adquiriendo datos. Cuando todas las válvulas eran manuales, la regulación del caudal se realizaba controlando la apertura de éstas. La adquisición de datos se realizaba por medio de los sensores colocados en cada una de las tuberías, y había que desplazarse hasta este lugar para realizar la lectura. Se puede deducir que para regular el caudal era necesario tener 3 personas en el laboratorio, y el tiempo que se gastaba era muy alto. Además, era muy difícil realizar un hidrograma, ya que entre cada cambio de caudal se perdía alrededor de 5 minutos. Al final, para realizar una sola prueba, que contenga un hidrograma de 15 caudales, por un lapso de 5 minutos cada uno, tomaba alrededor de 180 minutos y era necesario que las tres personas se encuentran presentes en todo momento. A continuación, un costo aproximado de tener a estas 3 personas realizando una prueba se encuentra en la Tabla 24, estos datos son basados en los salarios aproximados dependiendo del cargo de las personas que laboran actualmente en el laboratorio.

Tabla 24. Costo de operadores del laboratorio sin sistema de control. (Fuente Propia)

Cargo	Salario Aproximado Mensual	Costo Por 3 horas de trabajo
Ingeniero a cargo	\$ 2300	\$ 36
Ingeniero	\$ 1500	\$ 24
Técnico	\$ 1000	\$ 16
Total	\$ 4800	\$ 76

El costo del sistema de control que se ha implementado, tomando en cuenta los equipos y los servicios profesionales brindados, se encuentran en la Tabla 25. Al igual que los datos presentes en la Tabla 24 son costos aproximados, ya que esta información es confidencial de las empresas.

Tabla 25. Costo aproximado del proyecto. (Fuente Propia)

Descripción	Costo
PLC, módulos I/O, accesorios	\$ 36000
Variadores de Frecuencia	\$ 16000
Unity Pro XL	\$ 1986

Ignition	\$ 9950
Servicios técnicos	\$ 6000
Servicios profesionales	\$ 25000
Dell Latitude e6410	\$ 400
Otros (Gabinetes, cableado, CPU, Pantalla)	\$ 15000
Total	\$ 110336

Ahora con el sistema implementado y operando en modo automático, se procede a realizar el mismo hidrograma de 15 caudales por un lapso de 5 minutos cada uno. Ahora ingresar los datos en el sistema toma 5 minutos, y el tiempo de ejecución es de 90 minutos, lo cual es la mitad del tiempo que antes se necesitaba. Otra ganancia es que solo se necesita de un operario y éste puede estar realizando otras funciones mientras se ejecuta la prueba. Basado en estos datos, el costo en operarios del sistema sería de \$ 18, se toma en cuenta el ingeniero a cargo y solo una hora y media de tiempo para ejecutar la prueba. En la Tabla 26 se presenta el ahorro económico que genera la implementación de sistema de control en el laboratorio.

Tabla 26. Ahorro económico por prueba. (Fuente Propia)

Descripción	Costo
Costo anterior	\$ 76
Costo actual	\$ 18
Ahorro por prueba	\$ 58

Tomando en cuenta estos datos se procede a realizar el análisis por medio de los indicadores de valor neto actual (VAN), tasa interna de retorno (TIR) y retorno sobre la inversión(ROI). Para esto se va a utilizar como ingreso el costo anterior por prueba y como gasto el costo actual por prueba, tomando en cuenta que se van a realizar 80 pruebas por mes. Además, se va a tomar en cuenta que el aumento salarial anual es de 6 % y la tasa de descuento de 14 %, este es asumido. A continuación, los valores iniciales que se utilizan:

- Inversión inicial: \$110 336
- Ingreso anual: \$72 960
- Egreso anual: \$17 280

Con estos datos se realiza la Tabla 27 en la cual se muestra los ingresos, egresos y los costos de mantenimiento durante 5 años.

Tabla 27. Flujo de caja proyectado. (Fuente propia)

Descripción	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos (\$)	72 960	77 337	81 977	86 895	92 108
Egresos (\$)	17 280	18 316	19 414	20 578	21 812
Mantenimiento (\$)	1 500	1 590	1 685	1 786	1 893
Total (\$)	54 180	57 431	60 878	64 531	68 403

$$VAN = \sum_{i=1}^n \frac{\text{Ingreso anual}}{(1 - \text{tasa})^i} - \text{Inversion} = 9620$$

Ecuación 1. Valor anual neto. (VAN)

El VAN obtenido es mayor a 0 lo que indica que el proyecto es rentable, esto se obtiene con la Ecuación 1. Ahora, para obtener la tasa interna de retorno se usa la Ecuación 2, ésta da la mayor tasa de descuento para que el proyecto sea rentable. Para obtenerla se iguala el VAN a 0 y se obtiene la tasa de descuento.

$$0 = \sum_{i=1}^n \frac{\text{Ingreso anual}}{(1 - TIR)^i} - \text{Inversion}$$

Ecuación 2. Tasa interna de retorno. (TIR)

$$TIR = 44.77\%$$

Por último, el retorno sobre la inversión se calcula con la Ecuación 3. Este dato da como resultado la rentabilidad de la inversión.

$$ROI = \left(\frac{\text{Utilidad neta}}{\text{Inversion}} \right) \times 100 = \left(\frac{55680}{110336} \right) \times 100 = 50.46\%$$

Ecuación 3. Retorno sobre la inversión. (TIR)

El indicador ROI da un resultado que indica que la rentabilidad del proyecto es de aproximadamente el 50%. Este dato es alentador, pero no toma en cuenta el tiempo y es por lo tanto que se usa el VAN y el TIR. Estos dos indicadores presentan a este proyecto como muy rentable, ya que el VAN es mayor a 0 y el TIR del 44.77%. Esto lo que indica es que el proyecto es mayor a la tasa mínima requerida, con esto el proyecto se da como aceptado.

Para el ICE lo más importante es reducir los tiempos que tardan realizando los estudios de los modelos y de esta manera poder recibir más y generar nuevos modelos. Como se puede ver, el tiempo de realizar una prueba se redujo a la mitad aproximadamente, no

obstante, la precisión es más alta y la adquisición de datos es mucho más fácil y puede ser almacenada. Además, las personas que laboran en el laboratorio se pueden turnar para verificar que el sistema realice correctamente la prueba, facilitándoles trabajar en otras actividades. Todos los datos aquí presentados son aproximados, no obstante, no se encuentran lejos de la realidad, por ende, la recuperación de la inversión se acerca mucho a la realidad.

Capítulo 5. Conclusiones y Recomendaciones.

5.1 Conclusiones.

- La automatización del laboratorio de hidráulica permitió una disminución en los tiempos de ejecución de cada prueba de un 50 % aproximadamente, esto debido a que ahora toma solamente una hora y media en ejecutar un hidrograma en lugar de 3 horas.
- EL proyecto es rentable, esto debido a que el VAN es mayor a cero y se tiene un TIR de 44.77%, lo que demuestra que la recuperación de la inversión realizada en menos de dos años de uso, tomando en cuenta los supuestos usados.
- La continua adquisición de datos de energía consumida que presentan los variadores de frecuencia hace que el sistema de control busque un consumo de energía uniforme de las 3 bombas, además de una constante vigilancia al consumo individual. Una pérdida de eficiencia hace que el consumo energético se eleve, por lo tanto, se determina un desgaste de las bombas. Al estar usando las bombas de manera que el consumo de energía sea lo más igualitario posible, se asegura un desgaste lo más uniforme posible.
- Al necesitarse menos tiempo para la adquisición de los datos, se pueden realizar más cantidad de estudios al año, permitiendo recibir más proyectos en el laboratorio, esto justificando la inversión realizada.
- Las pruebas de validación dieron un resultado positivo, con errores menores al 5 %. Esto hace que la confiabilidad de los datos sea alta.
- Los datos se pueden extraer por medio de documentos de Excel directamente de la base de datos, esto facilita la generación de hidrogramas para los informes.
- El mantenimiento que se le debe dar al sistema que se diseñó e implemento es muy simple y no requiere de mucho tiempo al año, estas son cuatro revisiones, una actualización de software y un chequeo de funcionalidad, distribuido de acuerdo con las consideraciones de los fabricantes entre 6 y 12 meses.

5.2 Recomendaciones.

- Para la regulación de la presión en la tubería de 200mm en el modelo 3 se recomienda usar una válvula neumática, ya que la válvula proporcional que se tiene es muy lenta para reaccionar a la acción de control.
- Es necesario que la tubería del modelo 3 posea una altura a la salida que permita que ésta se llene completamente y no posea aire. Esto mejoraría el control de caudales bajos.
- Para mejorar la adquisición de datos, se puede implementar módulos de entradas con protocolo HART, esto mejoraría la adquisición de datos.
- Para implementar controladores PID, se necesita realizar un análisis más profundo de los modelos y obtener sus ecuaciones. Se recomienda realizar un proyecto con este enfoque para determinar si es posible su uso.
- Se recomienda capacitar al personal que va a utilizar el equipo.

Referencias

- [1] Alfaro, R. S. *Propuesta Básica para el mejoramiento del sistema de bombeo del Laboratorio Hidráulico del Instituto Costarricense de Electricidad*. San José, Costa Rica, 2012
- [2] S.N. *Apartados 8.1, 8.2 & 8.3 del Informe de diseño. Proyecto de Modernización del Laboratorio de Hidráulica-ICE*. San José, Costa Rica, 2016
- [3] SN. *Especificaciones y requisitos técnicos. Sistema de control y variadores de frecuencia*. ICE. San José, Costa Rica, 2017.
- [4] Mora, G. *Proyecto ICE: Laboratorio Hidráulico – CSD*. ControlSoft. Heredia, Costa Rica, 2018.
- [5] Sitio oficial de Schneider Electric. Variador de frecuencia ATV630. Disponible en: <https://www.schneider-electric.com/en/product/ATV630D37N4/variable-speed-drive-atv630---37kw-50hp---380...480v---ip21-ul-type-1/?range=62317-altivar-process-atv600&node=761786913-drive-products>
- [6] Sitio oficial de Schneider Electric. CPU BMXP342020. Disponible en: <https://www.schneider-electric.com/en/product/download-pdf/BMXP342020>
- [7] Sitio oficial de Schneider Electric. Módulo entradas analógicas BMXAMI0800. Disponible en: <https://www.schneider-electric.com/en/product/download-pdf/BMXAMI0800>
- [8] Sitio oficial de Schneider Electric. Módulo entradas analógicas BMXAMI0410. Disponible en: <https://www.schneider-electric.com/en/product/download-pdf/BMXAMI0410>
- [9] Sitio oficial de Schneider Electric. Módulo entradas digitales BMXDDI3202K. Disponible en: <https://www.schneider-electric.com/en/product/download-pdf/BMXDDI3202K>
- [10] Sitio oficial de Schneider Electric. Módulo entradas digitales BMXDDI1602. Disponible en: <https://www.schneider-electric.com/en/product/download-pdf/BMXDDI1602>
- [11] Sitio oficial de Schneider Electric. Módulo salidas digitales BMXDDO3202K. Disponible en: <https://www.schneider-electric.com/en/product/download-pdf/BMXDDO3202K>

- [12] Sitio oficial de Schneider Electric. Módulo salidas digitales BMXDDO1602. Disponible en: <https://www.schneider-electric.us/en/product/download-pdf/BMXDDO1602>
- [13] Sitio oficial de Schneider Electric. Módulo salidas analógicas BMXAMO0210. Disponible en: <https://www.schneider-electric.us/en/product/download-pdf/BMXAMO0210>
- [14] Sitio oficial de Schneider Electric. Fuente BMXCPS3020. Disponible en: <https://www.schneider-electric.us/en/product/download-pdf/BMXCPS3020>
- [15] Sitio oficial de Schneider Electric. Fuente BMXCPS2010. Disponible en: <https://www.schneider-electric.com/en/product/download-pdf/BMXCPS2010>
- [16] SN. *Hidrogramas*. México, SF. Disponible en: <http://clima.dicym.uson.mx/paglabhidra/ARCHIVOS/DENNIS/Tipos%20de%20hidrogramas.pdf>
- [17] UNITRONICS. *What is the definition of "PLC"?*. Disponible en: <https://unitronicsplc.com/what-is-plc-programmable-logic-controller/>
- [18] Uriarte, J. *Tema 1. Sistema Automáticos y de Control*. España. 2011. Disponible en: <http://ieshuelin.com/huelinwp/download/Tecnologia/Tecnologia%20industrial/3-SISTEMAS-DE-CONTROL-AUTOMATICO.pdf>
- [19] Mazzone, V. *Controladores PID*. Universidad Nacional de Quilmes. Argentina, 2002. Disponible en: <http://www.eng.newcastle.edu.au/~jhb519/teaching/caut1/Apuntes/PID.pdf>
- [20] Ruiz, A; Barandica, A; Guerrero, F. *Implementación de una Red MODBUS/TCP*. Colombia, 2004. Disponible en: http://poligramas.univalle.edu.co/index.php/ingenieria_y_competitividad/article/view/2277/3027
- [21] Ogata, K. *Ingeniería de control moderna*. Pearson Education, 1998.
- [22] S.N. *Hidrogram of Mendoza River*. S.F. Disponible en: https://www.researchgate.net/figure/Hidrogram-of-Mendoza-River-Sample-preparation-and-analysis-Water-samples-were_fig1_263921592
- [23] Dell. *Catálogo de productos*. Disponible en: <http://www.dell.com/en-us/work/shop/7000-series/7050/spd/optiplex-7050-desktop>

Anexos

Anexo A. Carta de Aceptación por parte de la Empresa

Anexo A

Carta de Aceptación por parte de la Empresa

12 enero 2018

Ingeniera

Arys Indira Carrasquilla Batista

Coordinadora

Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica
Instituto Tecnológico de Costa Rica

Estimada Ingeniera:

Por este medio, me permito comunicarle que hemos aceptado al estudiante Manfred Gerardo Quirós Campos, cédula 207260776, carnet ITCR 201229838, en nuestra empresa para realice el proyecto titulado *Diseño del sistema de control para la modernización del laboratorio de Hidráulica del ICE* a realizarse en un lapso mínimo de 16 semanas calendario.

Hago de su conocimiento que hemos leído y aprobado el Anteproyecto que nos ha presentado el Sr. Quirós. Dicho documento cumple con los requerimientos de nuestra empresa y haremos todos los esfuerzos posibles por aportar los recursos necesarios para su exitosa conclusión.

Además, le informo que hemos recibido una copia del documento "Normas de Proyecto de Graduación para empresas" del programa de Licenciatura de Ingeniería Mecatrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica, en el cual se detallan todos los aspectos a considerar durante este proceso.

Atentamente,



Ing. César Barquero

Gerente General

Tel: +506 8826-9141 / +506 2244-4496

ControlSoft
www.scontrolsoftcr.com

Anexo B. HOJA DE INFORMACIÓN DEL PROYECTO

Datos del estudiante:

Nombre: Manfred Gerardo Quirós Campos

Cédula: 207260776 **Carné ITCR:**201229838

Dirección de su residencia: 800 metros al norte del centro regional del INA, contiguo al plantel de buses, Cirrí sur, Naranjo

Teléfono de residencia: 2451-0821

Teléfono celular: 8748-3219

Correo electrónico: m160694@gmail.com

Información del proyecto:

Nombre del Proyecto: Diseño del sistema de control para la modernización del laboratorio de Hidráulica del ICE

Información de la empresa:

Nombre: Sistemas ControlSoft

Actividad Principal: Soluciones integrales a los procesos de manufactura industrial

Zona: Heredia, Santo Domingo

Dirección: Oficinas Santa Rosa, Oficina #33

Teléfono: 2244-9643

Información del encargado/asesor en la empresa:

Nombre: César Barquero

Puesto que ocupa: Gerente general

Departamento: Gerencia general

Profesión: Ingeniero

Teléfono: 8826-9141

Correo electrónico: cbarquero@scontrolsoftcr.com

Anexo C. Manual de Usuario.



Manual de Operación del Sistema

Elaborado por:
Manfred G. Quirós



Introducción

Este manual, narra cómo se debe acceder a las diferentes ventanas de operación e información por medio del **HMI**. En este se puede observar la manera correcta de manipular el sistema y realizar tanto un control de manera automática, como de manera manual y local. Además de la funcionalidad de las ventanas de información, accesibles en todos los modos de funcionamiento.

Entre la información importante para visualizar las diferentes pantallas, se encuentra la definición de los colores. Tanto en las válvulas y bombas, como los botones de selección de modelo, operación de las bombas y encendido de los variadores, funcionan con el siguiente código de color:

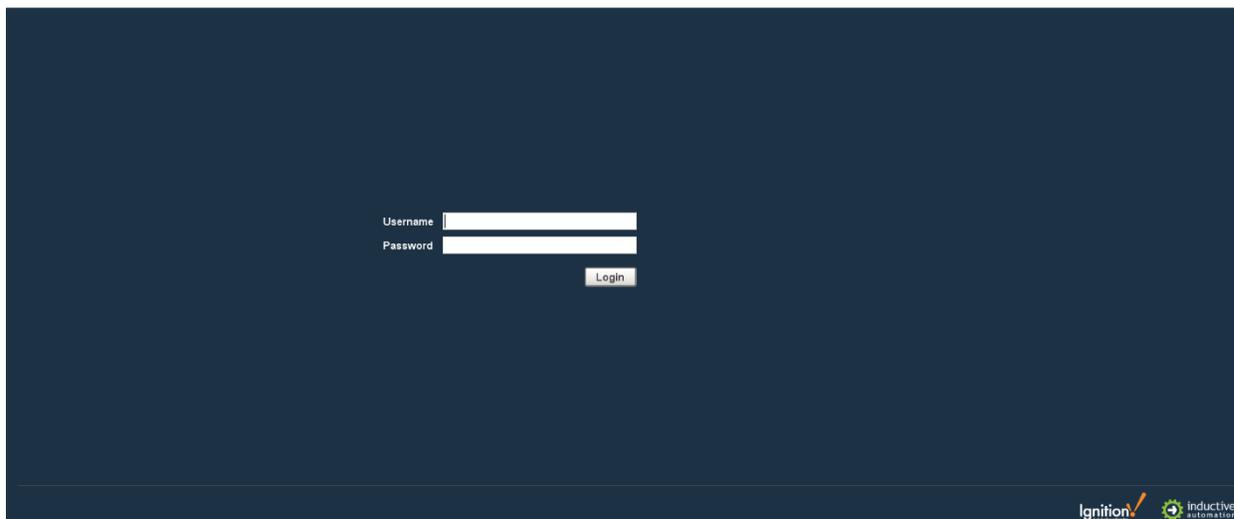
- **Blanco:** cuando alguno de los íconos antes mencionados está en blanco significa que están activados, abiertos o seleccionados.
- **Gris:** en caso contrario al anterior, gris significa que esta desactivado, cerrado o no seleccionado.

Para abrir el programa se debe de dar doble click con el dedo o dispositivo para uso con pantalla táctil en el icono que dice ICE.

Acceso

Ice

- □ ×



Al iniciar la aplicación encontraremos la pantalla mostrada anteriormente en la que debemos de ingresar el usuario y la contraseña para acceder. Para este sistema se tienen dos usuarios, un administrador y un operador, en este manual solo se presenta la contraseña del operador. El ingeniero a cargo tiene la contraseña del administrador.

- **Username: Administrador**
- **Password: *******

- **Username: Operador**
- **Password: *******

Procedimiento

Pantalla principal



En esta pantalla encontramos los siguientes accesos:

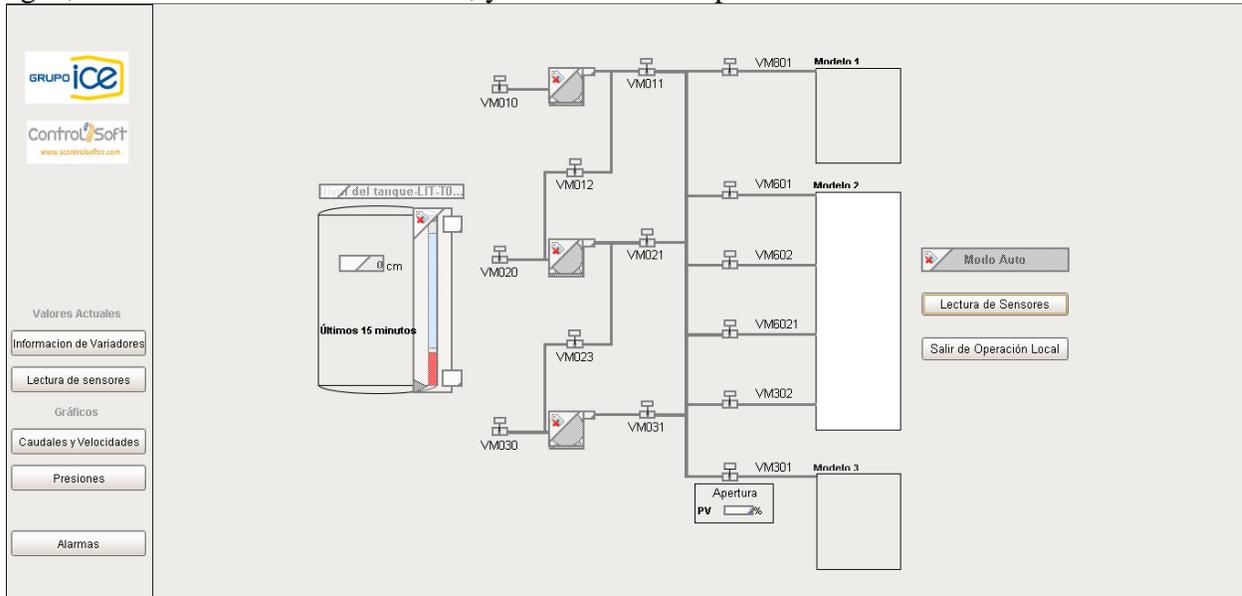
- **Local:** acceso a la pantalla de operación local, solo para visualización.
- **Manual:** acceso a la pantalla de operación manual, control de apertura y cierre de válvulas, control de velocidad y encendido de los variadores.
- **Auto:** acceso a las pantallas para la operación automática, asignación de caudales tipo histograma, selección de modelo y tubería, selección de trabajo de bombas, visualización en tiempo real.
- **Rangos de operación:** acceso a la pantalla de asignación de valores que definen los rangos de operación de los sensores, define los encendidos de las alarmas. Este acceso puede solo ser modificado si se ingresa como *Administrador*.
- **Cerrar Sesión:** cierra la sesión.

Además, a la izquierda de la pantalla se encuentra un menú de accesos a ventanas emergentes, por el cual se puede ingresar a estas ventanas en cualquier momento. Los accesos son los siguientes:

- **Información de Variadores:** Esta ventana presenta el estado en el que se encuentran los variadores. Además, permite modificar y operar los variadores en modo manual.
- **Lectura de sensores:** este modo permite la lectura del nivel del tanque y los sensores, en todo momento y en cualquier modo de operación.
- **Caudales y velocidades:** El acceso muestra un gráfico en donde se pueden ver los caudales y velocidades.
- **Presiones:** Esta ventana muestra un gráfico en donde se pueden ver las presiones.
- **Alarmas:** en este acceso se muestran las alarmas en su momento de activación.

Modo Local

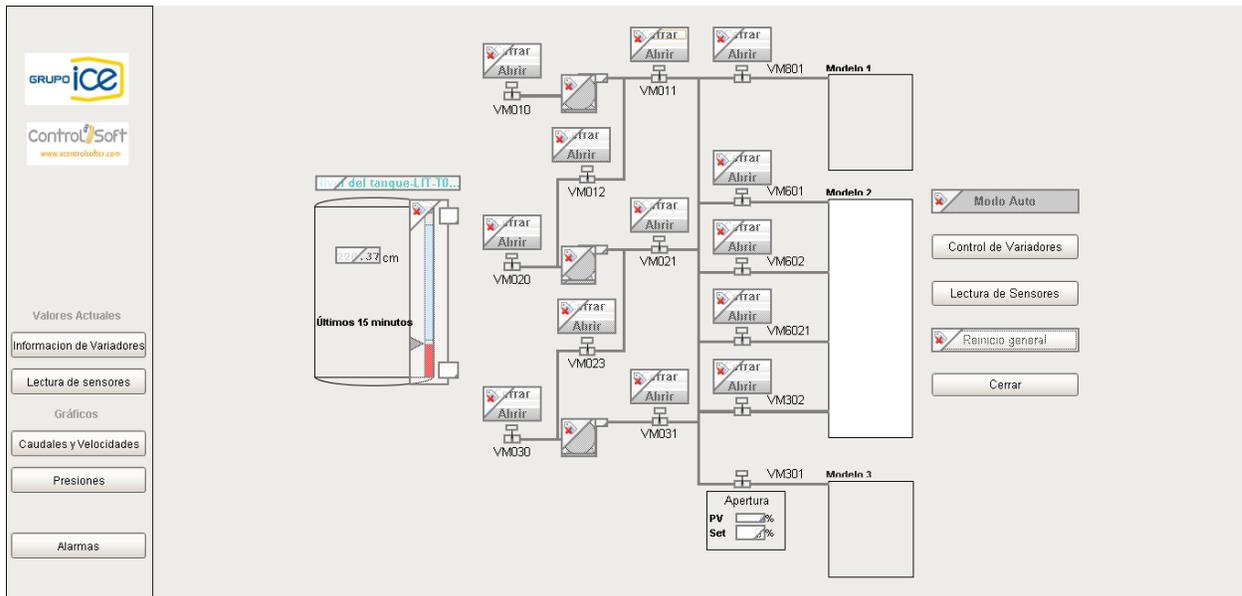
En este modo se puede visualizar la apertura y el cierre de las válvulas, el nivel del tanque de agua, el acceso a lectura de sensores, y salir del modo operación local.



Modo Manual

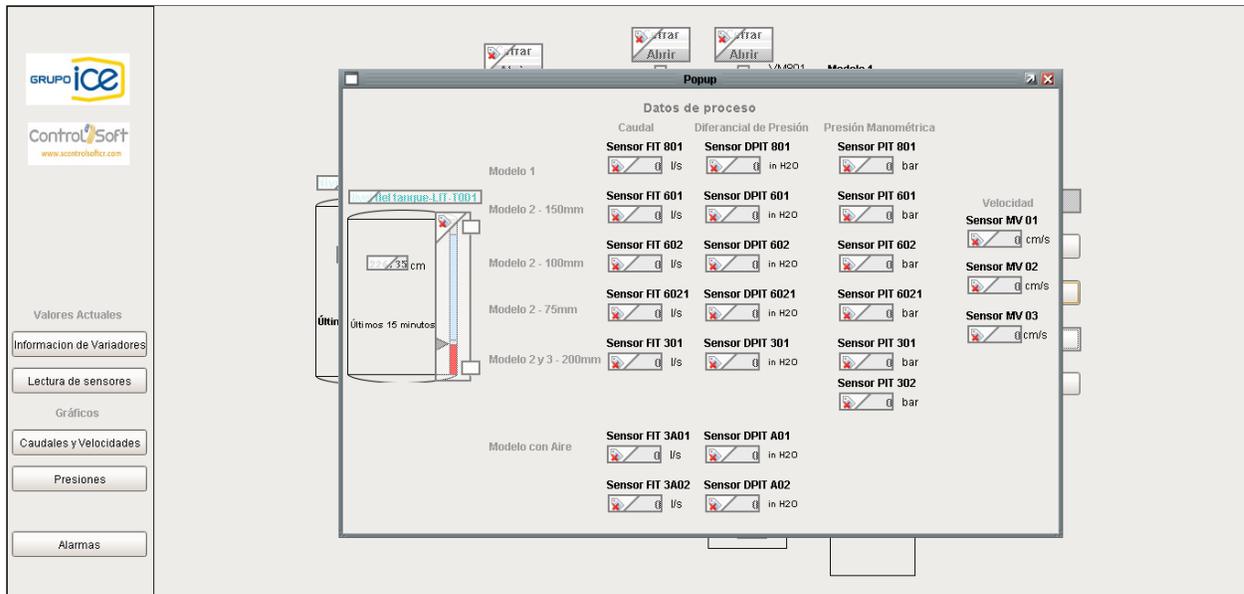
En este modo se puede visualizar y controlar:

- la apertura y el cierre de las válvulas,
- el nivel del tanque de agua,
- el acceso datos de proceso,
- el acceso y cambio a la información de los variadores,
- el reinicio general (en caso de alarma, presione el botón *Reinicio general* para reiniciar el modo manual y verificar que la alarma fue resuelta), y salir de la ventana manual.



Lectura de Sensores

Esta ventana emergente presenta los datos en tiempo real de los sensores y el nivel del tanque. Se puede ingresar desde la pantalla de operación local y manual, también desde el menú que se encuentra al lado izquierdo de la pantalla. Para todas las opciones anteriores, ingrese por medio del botón de **Lectura de Sensores**.



Modo Auto

Δt (s)	Q(l/s)

Gráfico de Caudal (l/s) vs Tiempo (s):

Tiempo (s)	Caudal (l/s)
0 - 50	10
50 - 100	20
100 - 150	30
150 - 200	40
200 - 300	50

En la primera pantalla del modo automático, se asignan los caudales.

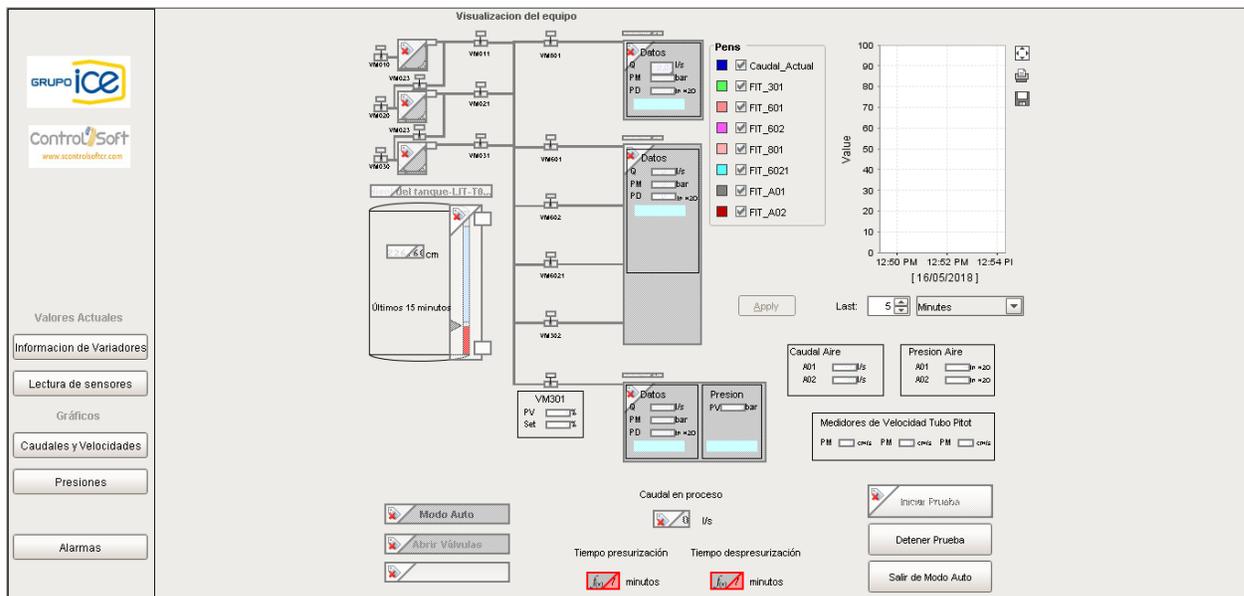
- Para dicha asignación, coloque cuántos valores de caudales se van a usar en el histograma.
- Para esto, primero presione *ENTER* sobre la casilla que se encuentra a la izquierda del botón de **Crear Tabla**.
- Luego, presione el botón **Crear Tabla**.
- Después en la tabla ya creada, ingrese los valores de los caudales y los cambios de tiempo.
- Al finalizar, presione el botón de **Asignar Valores**.
- Verifique en el gráfico que el histograma esté de acuerdo a los nuevos valores.
- Para continuar con la selección del modelo y funcionamiento de las bombas, presione el botón de **Selección de Modelo**.
- Si desea cancelar la selección y volver a la pantalla principal presione el botón para **Salir de Modo Auto**.

En la siguiente pantalla se selecciona el modelo y la tubería que se va a utilizar, además puede indicar la forma de operación de las bombas que desea. Esta pantalla también, encontrará los botones de **Volver a Asignación** de caudales, **Selección Terminada** y el de **Salir de Modo Auto**.

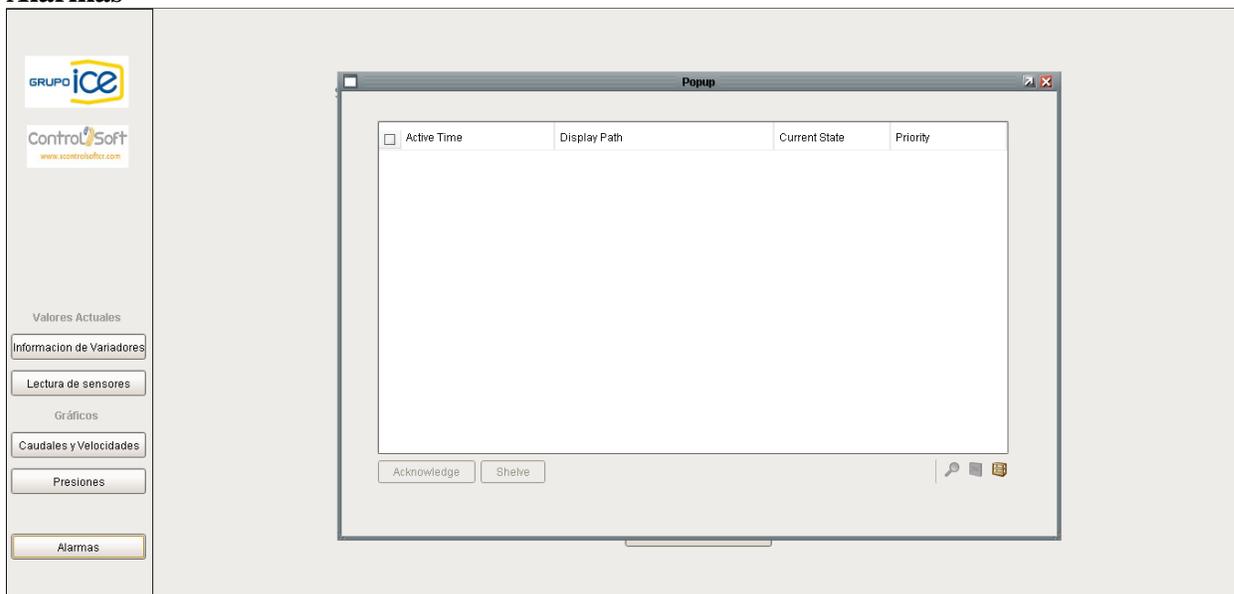


Cuando haya terminado de seleccionar lo que desea, se ingresa a la pantalla de visualización. En esta pantalla se muestra una barra de proceso y tres botones:

- **Salir del Modo Auto**
- **Inicio de Prueba**, presione para ejecutar la prueba
- **Detener Prueba**, presione cuando requiera detener la prueba, sea por un error de datos o por un error de campo. Al presionar entra en despresurización.



Alarmas



En la ventana de alarmas se muestran las alarmas y sus estados. De existir una alarma activa, aparece encima del botón **Alarmas** un indicativo parpadeante de color rojo para que se le preste importancia. Las descripciones van de acuerdo con el nombre que tienen las válvulas y los sensores en el plano.

Información de Variadores

The screenshot displays the 'Información de Variadores' software interface. The main window is titled 'Popup' and contains three columns for VF1 - Bomba 1, VF2 - Bomba 2, and VF3 - Bomba 3. Each column has an 'Autotuning' button, a 'Frecuencia de Referencia (Hz)' input field, and a 'Presione para Encender' button. Below these are rows for Tension (V), Corriente (A), Potencia (HP), Energia (kWh), Frecuencia (Hz), and Velocidad (rpm). The 'Corriente (A)' and 'Frecuencia (Hz)' fields show a red 'f.o./-0.1' error. The left sidebar contains navigation buttons: 'Valores Actuales', 'Información de Variadores', 'Lectura de sensores', 'Gráficos', 'Caudales y Velocidades', 'Presiones', and 'Alarmas'.

En la ventana se muestra la información de los variadores y se pueden controlar desde la misma.

- En la parte superior de la ventana se muestra el estado en el que se encuentran los variadores, dentro de lo cual se reporta las fallas.
- Para controlar los variadores, primero escriba la frecuencia con la que se desea trabajar en el variador que se va a utilizar
- Luego, presione el botón que dice **Presione para Encender**.
- Para detener el variador, utilice el botón **Presione para Apagar**.

Caudales y velocidades; Presiones

The image displays two screenshots of a software interface for monitoring sensors. The interface is divided into a sidebar on the left and a main content area on the right.

Sidebar (Left):

- Logos for GRUPO ice and ControlSoft.
- Buttons: Valores Actuales, Información de Variables, Lectura de sensores, Gráficos, Caudales y Velocidades (highlighted), Presiones, Alarmas.

Top Screenshot (Flow and Velocities):

- Sensores:**
 - Asignación de Caudal
 - FIT_301
 - FIT_601
 - FIT_602
 - FIT_801
 - FIT_6021
 - FIT_A01
 - FIT_A02
 - LIT-T001
 - MV_01
 - MV_02
 - MV_03
- Graph:** Y-axis: Escala en unidades del sensor. X-axis: Time (16/05/2018).
- Time Selection:** 16/05/18 12:55 PM - 16/05/18 01:05 PM.
- Calendar Views (Feb 2018):**

lun	mar	mié	jue	vie	sáb	dom
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28				

Bottom Screenshot (Pressures):

- Sensores:**
 - DPIT_301
 - DPIT_601
 - DPIT_602
 - DPIT_801
 - DPIT_6021
 - DPIT_A01
 - DPIT_A02
 - PIT_301
 - PIT_302
 - PIT_601
 - PIT_602
 - PIT_801
 - PIT_6021
- Graph:** Y-axis: Value. X-axis: Time (16/05/2018).
- Time Selection:** 16/05/18 12:55 PM - 16/05/18 01:05 PM.
- Calendar Views (Feb 2018):**

lun	mar	mié	jue	vie	sáb	dom
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28				

Estas dos pantallas emergentes presentan gráficas con respecto al tiempo: una de caudales y velocidades y la otra de presiones. Se pueden ver los datos en tiempo de ejecución o históricos, por medio de selección de fechas y horas. Además, se pueden de imprimir y guardar en formato **.xls**.

Anexo D. Documentación de programación del PLC.

Anexo E. Planos

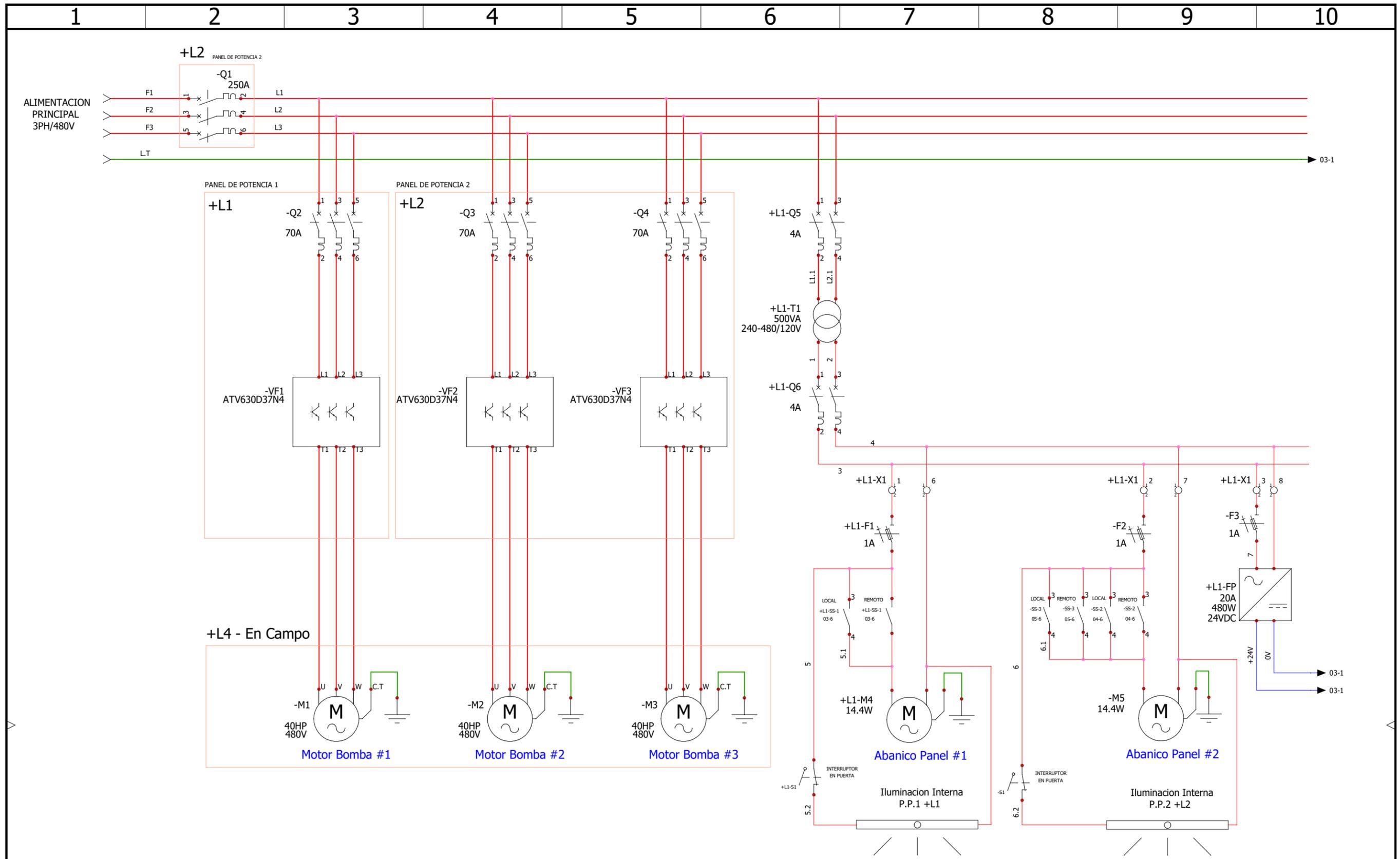
Anexo F. Diagrama de Instrumentación y Tubería: Nomenclatura y Simbología

Anexo G. Diagrama de Instrumentación y Tubería: DTI (P&ID).

PROYECTO ICE

LABORATORIO HIDRAULICO - CSD

Comentarios		
	ControlSoft S.A Ofibodegas Sta Rosa, bodega #33 Sto Domingo de Herredia Costa Rica	Índice : 0
Contrato n° : ICE IN - L003	Dibujado por: Gerardo Mora Revizado/Aprobado por: Ing. Cesar Barquero	Hoja : 01



elecworks

ControlSoft S.A
 Ofibodegas Sta Rosa, bodega #33
 Sto Domingo de Herredia
 Costa Rica

LABORATORIO HIDRAULICO - CSD
 DIAGRAMA DE ALIMENTACION GENERAL CIRCUITO DE POTENCIA PANELES 1 Y 2

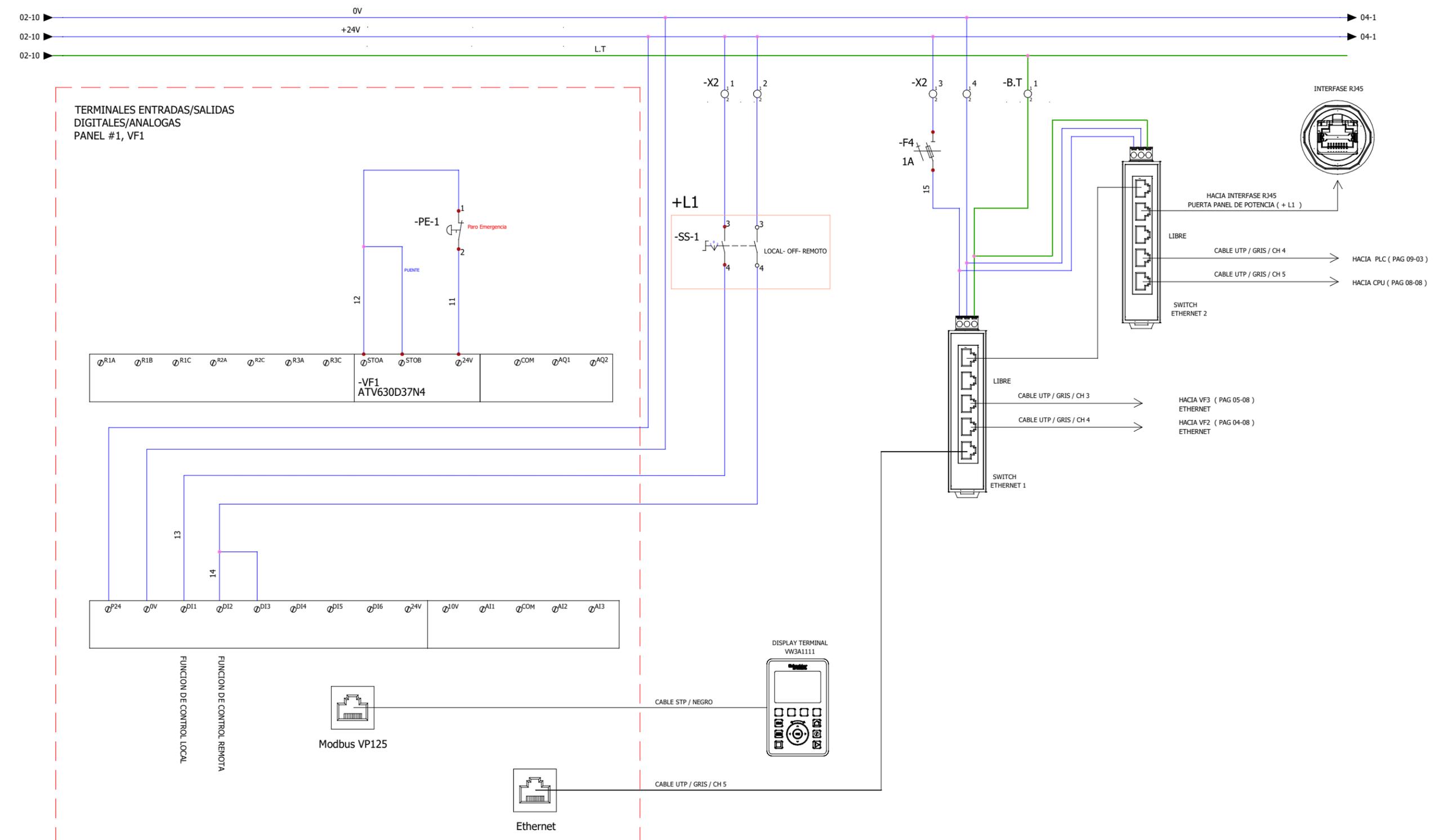
FECHA: 01/12/2017
 ESCALA: N/A
 DWG. NO:
 AREA: INGENIERIA DE PROYECTOS
 Dibujado por:
 Gerardo Mora

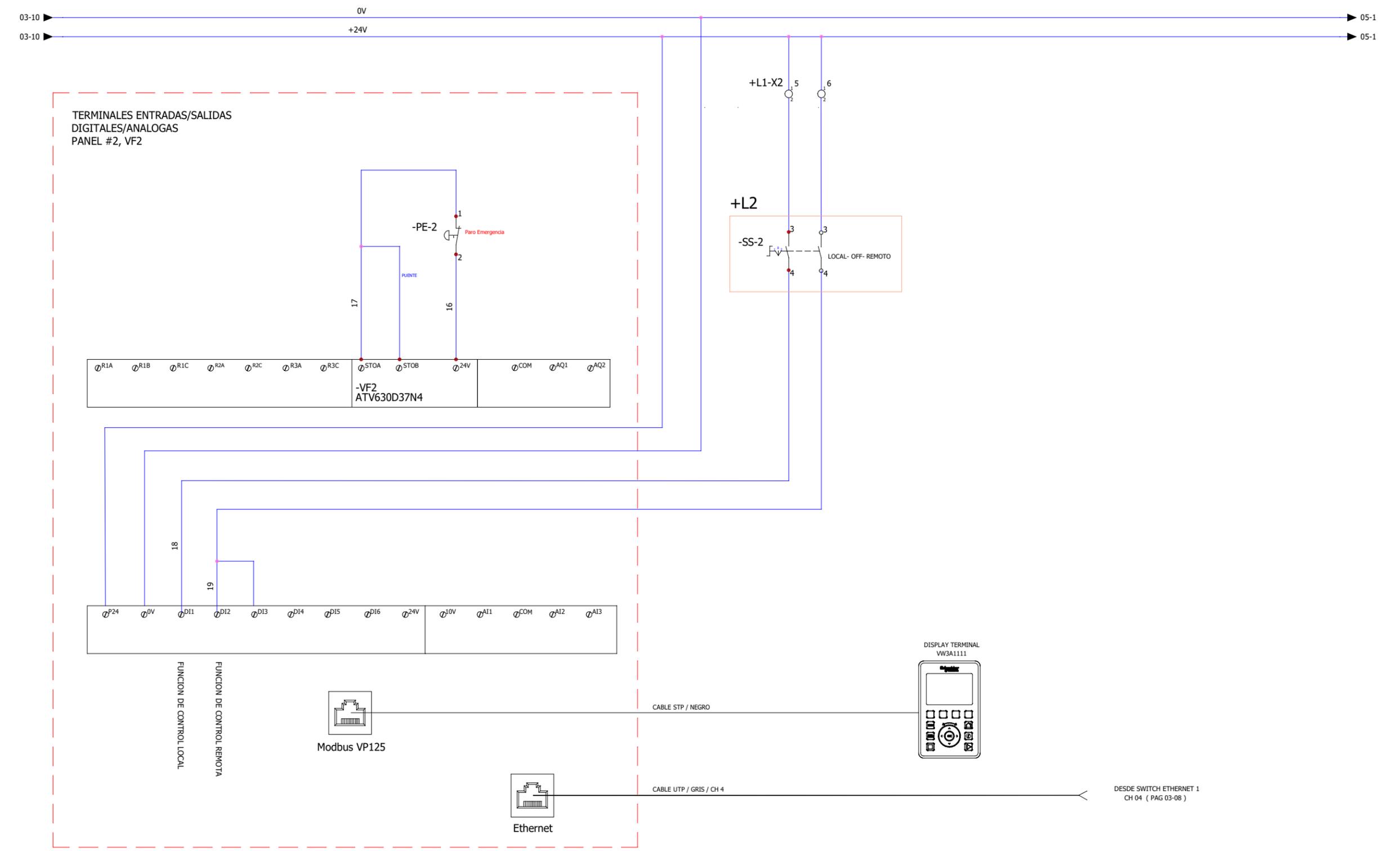
Revizado/Aprobado por:
 Ing. Cesar Barquero

Indice
 0
 Hoja
 02

Proyecto n° : ICE IN - L003

UBICACION: PANELES DE POTENCIA 1 (+L1) Y 2 (+L2)





elecworks

ControlSoft S.A
 Ofibodegas Sta Rosa, bodega #33
 Sto Domingo de Herredia
 Costa Rica

Proyecto n° : ICE IN - L003

LABORATORIO HIDRAULICO - CSD
 DIAGRAMA CIRCUITO DE CONTROL 24 VDC PARA VARIADOR DE FRECUENCIA 2 (VF2)

UBICACION: PANEL DE POTENCIA 2 (+L2)

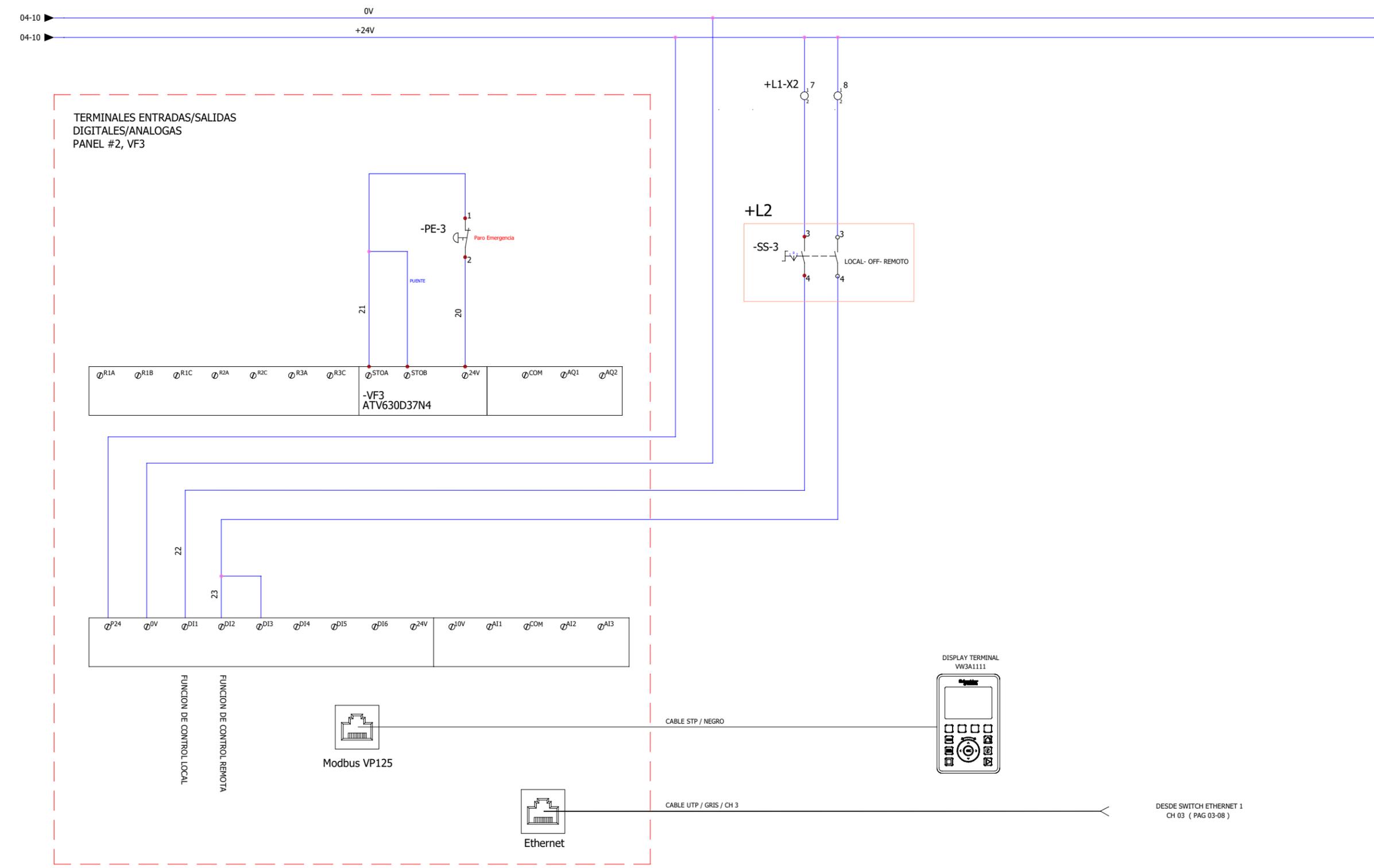
FECHA: 01/12/2017
 ESCALA: N/A
 DWG. NO:
 AREA: INGENIERIA DE PROYECTOS

Dibujado por:
 Gerardo Mora

ControlSoft

Revizado/Aprobado por:
 Ing. Cesar Barquero

Indice
 0
 Hoja
 04



elecworks

ControlSoft S.A
Ofibodegas Sta Rosa, bodega #33
Sto Domingo de Herredia
Costa Rica

LABORATORIO HIDRAULICO - CSD
DIAGRAMA CIRCUITO DE CONTROL 24VDC PARA VARIADOR DE FRECUENCIA 3 (VF3)

FECHA: 01/12/2017
ESCALA: N/A
DWG. NO:
AREA: INGENIERIA DE PROYECTOS
Dibujado por: Gerardo Mora

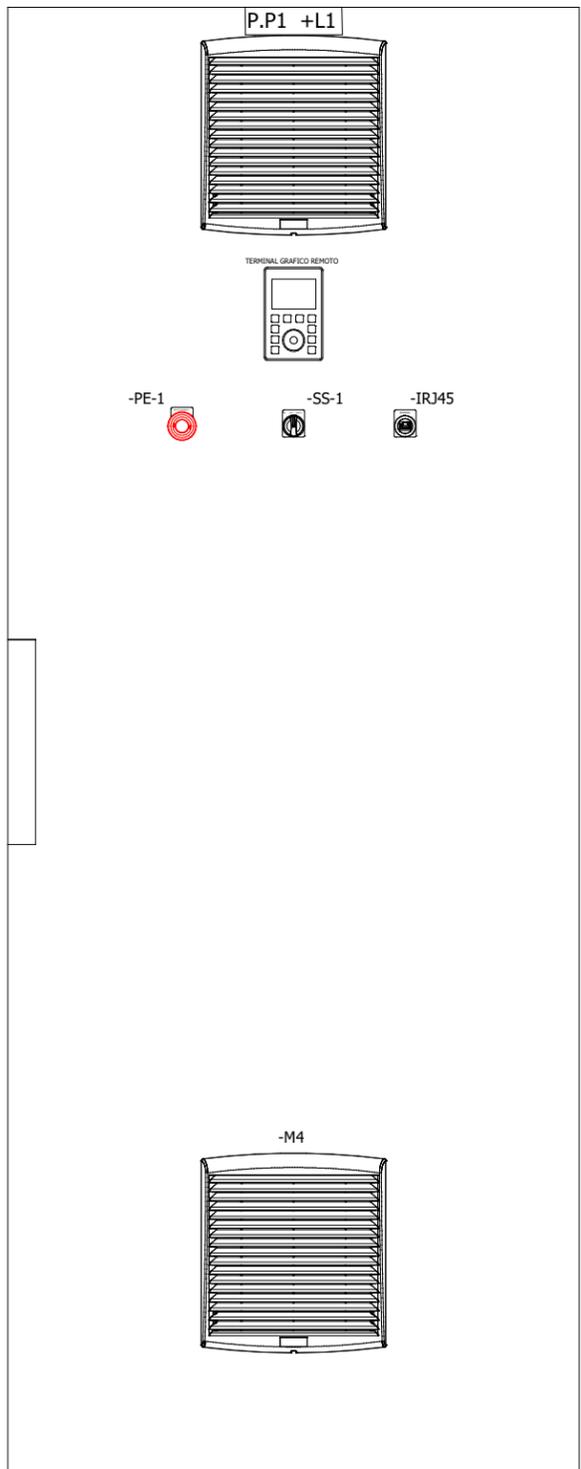
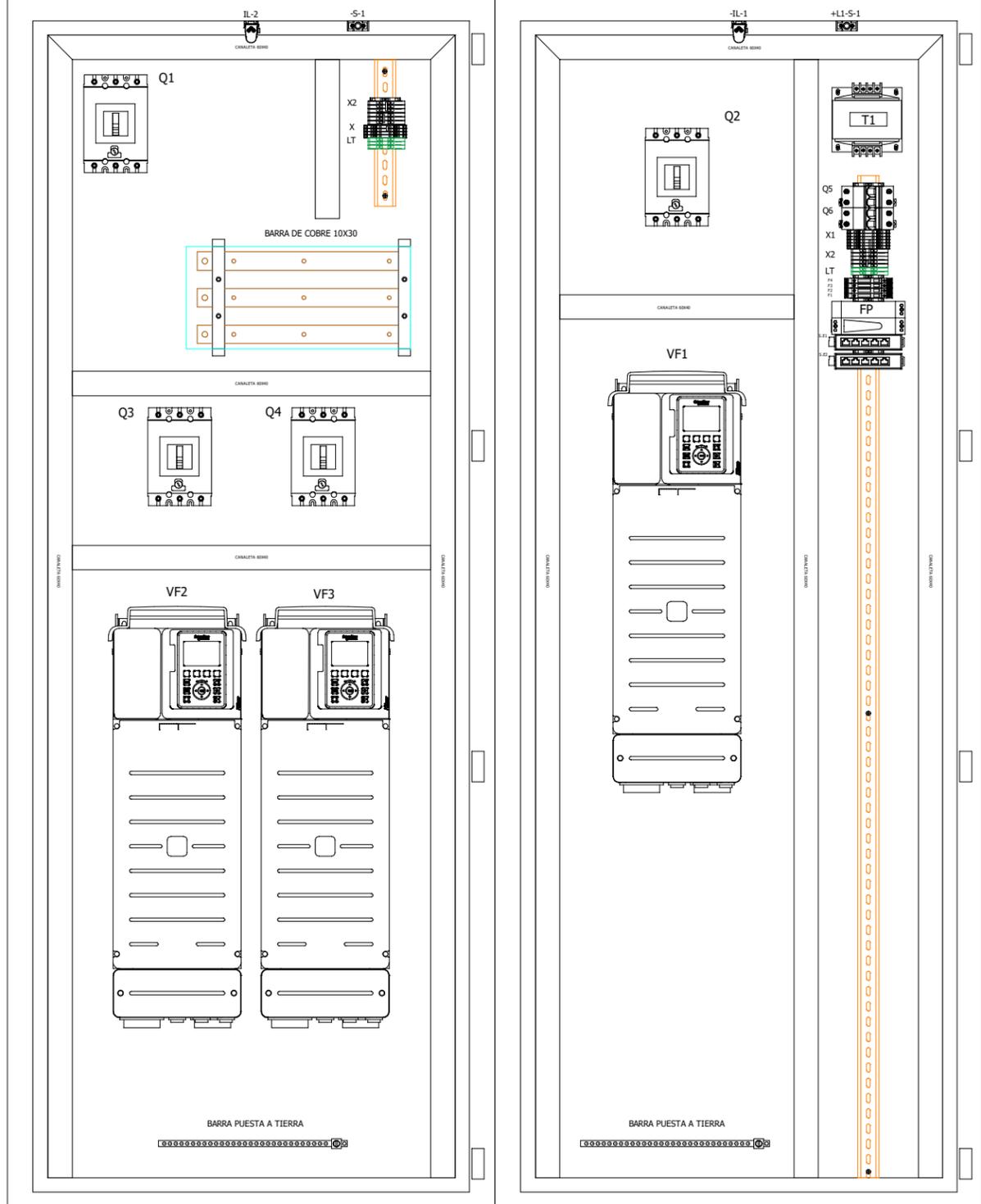
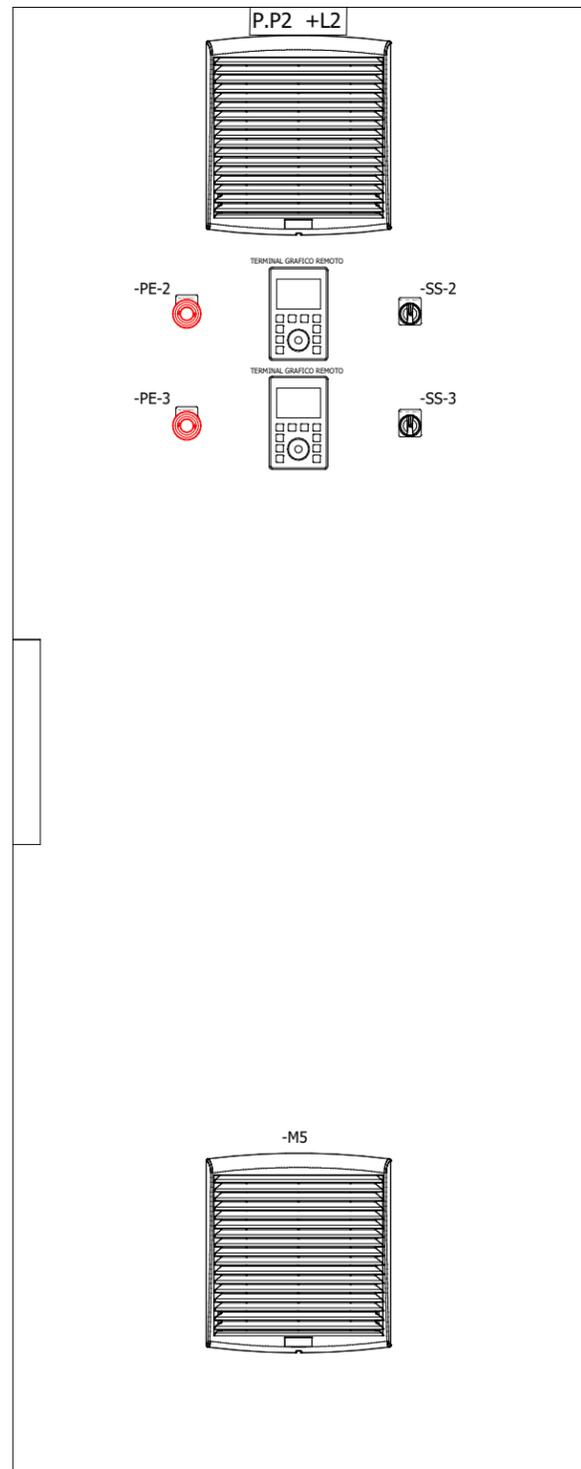
ControlSoft
Revizado/Aprobado por:
Ing. Cesar Barquero

Indice
0
Hoja
05

Proyecto n° : ICE IN - L003

UBICACION: PANEL DE POTENCIA 2 (+L2)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10



Zocalo Zocalo

elecworks

ControlSoft S.A
Ofibodegas Sta Rosa, bodega #33
Sto Domingo de Herredia
Costa Rica

Proyecto n° : ICE IN - L003

LABORATORIO HIDRAULICO - CSD

DIAGRAMA DE DISTRIBUCION DE COMPONENTES ELECTRICOS EN PANELES 1 Y 2

UBICACION: PANELES DE POTENCIA 1 (+L1), 2 (+L2)

FECHA: 01/12/2017
ESCALA: N/A
DWG. NO:
AREA: INGENIERIA DE PROYECTOS
Dibujado por:
Gerardo Mora

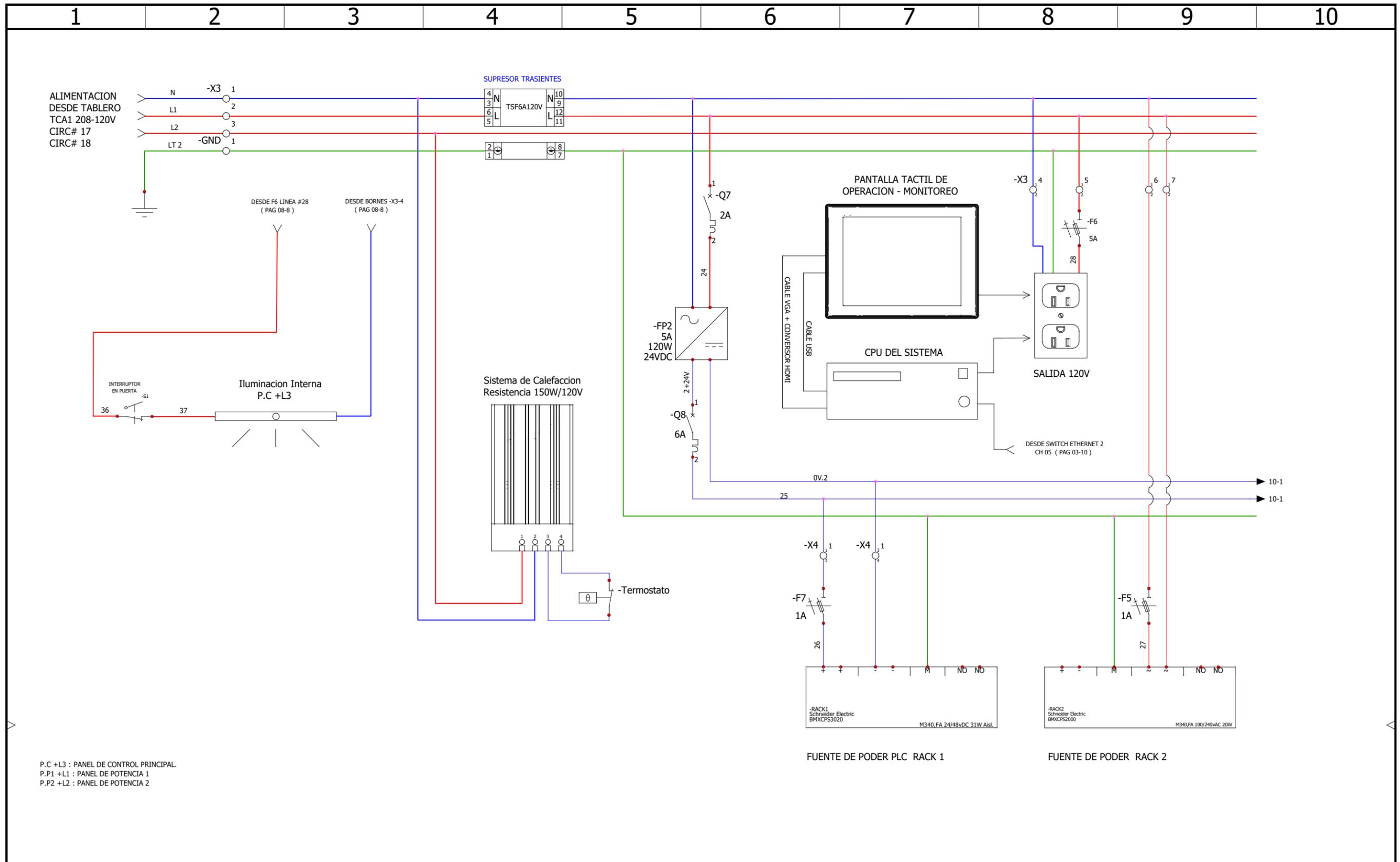


Revizado/Aprobado por:
Ing. Cesar Barquero

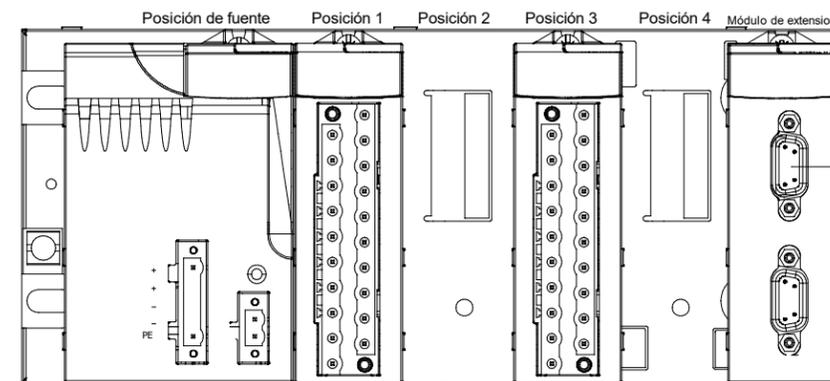
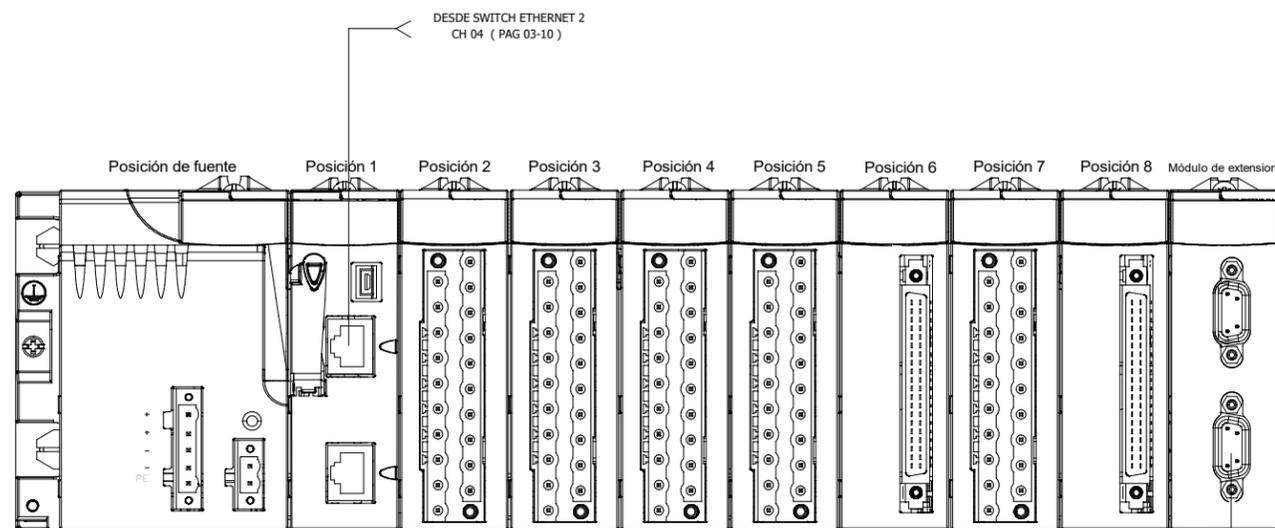
Indice
0
Hoja
06

LISTA DE MATERIALES PANEL P.P2 +L2					
ITEM	ETIQUETA	CANTIDAD	PARTE N°	FABRICANTE	DESCRIPCION
1	P.P2 +L2	1	NSYSM20860P	Shneider Electric	Armario metálico compacto Spacial SM con placa de montaje, 2000x800x600mm, 1 Puerta
2		2	NSYSPF8100	Shneider Electric	Zócalo frontal Spacial SF/SM - 100 x 800 mm.
3	P.P2 +L2	1			Placa 1/8" de Resina Plastica de 130x40mm ID del Panel
4		1	NSYCAG223LPF	Shneider Electric	Rejilla salida plástica, orificio 223x223 mm dim. ext. 268x248 mm IP54.
5	M5	1	NSYCVF165M115PF	Shneider Electric	Ventilación forzada de ClimaSys. IP54, 165m3 / h, 115V, con rejilla de salida y filtro G2
6	IL-2	1	L2646-16-33		Lampara Fluorecente 120V, (310 x 44 x 21mm)
7	S-1	1	802B-SSAR1XSX A	ALLEN BRADLEY	Interruptor para encendido de Lampara
8		2	VW3A1112	Shneider Electric	Kit de montaje de puerta - para terminal gráfico remoto - variador de velocidad - IP65 / UL tipo 12
9	PE-2/PE-3	2	XB5AS8445	Shneider Electric	Parada de emergencia ø 22 - cabeza ø 40 - girar para desenclavar 1NC+1NA. Principal
10	SS-3/SS-3	2	XB5AD33	Shneider Electric	Selector negro ø 22 - 2 posiciones fijas - 2na
11			DXN10082	Shneider Electric	Canaleta Ranurada 60X40 X 2Mts Gris.
12	Q3/Q4	2	ED43B070MX	Siemens	Disyuntor de Caja Moldeada tipo ED, 3P, 3PH, 70A, 480V, 18kA a 480V, capacidad de interrupción estándar
13	Q1	1	FXD63B250	Siemens	Disyuntor de Caja Moldeada tipo FXD, 3P, 3PH, 250A, 600V, 35kA a 480V, capacidad de interrupción estándar, 40°C, atornillado, UL
14		1	NSYTRAAB35	Shneider Electric	Tope final de borne 5,2 mm para riel DIN 35 mm.
15	X2	6	1492-EAJ35	Allen-Bradley	Borne terminal gris, 2,5mm anclaje de extremo, servicio normal, para riel DIN
16	LT	3	1492-JG3	Allen-Bradley	Borne puesta a tierra, 22 - 12AWG, verde / amarillo, 2,5 mm
17	x	4	1492-JD3	Allen-Bradley	Borne terminal, 20 A, 600 V AC / DC, 2 niveles, 2 circuitos, gris, 2,5 mm
18		30CMS	9080MH339	Shneider Electric	Riel DIN de 35 mm - Con orificios ranurados de 100cms
19	VF2/VF3	2	ATV630D37N4	Shneider Electric	Variador de velocidad ATV630-37kW/50hp-380...480V-IP21/UL tipo 1.
20		1	BT30	Shneider Electric	Barra de Conexion a Tierra para equipos
21		100cms			Barra de Cobre 10x30mm, 400Amp
22		2	BBS-3/FL 107066	EATON MOELLER	Soporte para barras de cobre
23		1			Covertor de Acrilico para las barras, 1/4", 370x168mm, Transparente.
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					

LISTA DE MATERIALES PANEL P.P1 +L1					
ITEM	ETIQUETA	CANTIDAD	PARTE N°	FABRICANTE	DESCRIPCION
1	P.P1 +L1	1	NSYSM20860P	Shneider Electric	Armario metálico compacto Spacial SM con placa de montaje, 2000x800x600mm, 1 Puerta
2		2	NSYSPF8100	Shneider Electric	Zócalo frontal Spacial SF/SM - 100 x 800 mm.
3	P.P1 +L1	1			Placa 1/8" de Resina Plastica de 130x40mm
4		1	NSYCAG223LPF	Shneider Electric	Rejilla salida plástica, orificio 223x223 mm dim. ext. 268x248 mm IP54.
5	M4	1	NSYCVF165M115PF	Shneider Electric	Ventilación forzada de ClimaSys. IP54, 165m3 / h, 115V, con rejilla de salida y filtro G2
6	IL-1	1	L2646-16-33		Lampara Fluorecente 120V, (310 x 44 x 21mm)
7	L1-S-1	1	802B-SSAR1XSX A	ALLEN BRADLEY	Interruptor para encendido de Lampara
8		1	VW3A1112	Shneider Electric	Kit de montaje de puerta - para terminal gráfico remoto - variador de velocidad - IP65 / UL tipo 12
9	PE-1	1	XB5AS8445	Shneider Electric	Parada de emergencia ø 22 - cabeza ø 40 - girar para desenclavar 1NC+1NA. Principal
10	SS-1	1	XB5AD33	Shneider Electric	Selector negro ø 22 - 2 posiciones fijas - 2na
11	IRJ45	1	XB5PRJ45	Shneider Electric	Puerto RJ45 montado en panel - Ø22 mm - para conexión Ethernet
12			DXN10082	Shneider Electric	Canaleta Ranurada 60X40 X 2Mts Gris.
13	Q2	1	ED43B070MX	Siemens	Disyuntor de Caja Moldeada tipo ED, 3P, 3PH, 70A, 480V, 18kA a 480V, capacidad de interrupción estándar
14	T1	1	9070T500D31	SQUARE D	Transformador de Control 500VA, 240/480V - 120/240V
15	Q5/Q6	2	A9F74204	Shneider Electric	Interruptor automático magnetotérmico iC60N - 2P - 4A - curva C
16	F1, F2, F3, F4	4	A5KS	Klemsan	Borne Portafusible 5x20mm
17	F1, F2, F3, F4	4			Fusible cilindrico vidrio 5x20mm, 1A
18		4	NSYTRAAB35	Shneider Electric	Tope final de borne 5,2 mm para riel DIN 35 mm.
19	X2	5	1492-EAJ35	Allen-Bradley	Borne terminal gris, 2,5mm anclaje de extremo, servicio normal, para riel DIN
20	LT	2	1492-JG3	Allen-Bradley	Borne puesta a tierra, 22 - 12AWG, verde / amarillo, 2,5 mm
21	X1	6	1492-JD3	Allen-Bradley	Borne terminal, 20 A, 600 V AC / DC, 2 niveles, 2 circuitos, gris, 2,5 mm
22	FP	1	ABL8REM24050	Shneider Electric	Fuentes de alimentación SMPS regulado - 1 o 2 fases - 100...240VAC - 24V - 5A
23	S.E1/S.E2	2	TCSEU053FN0	Shneider Electric	Conmutador TCP/IP Ethernet - ConneXium - 5 puertos para cobre.
24		1	9080MH339	Shneider Electric	Riel DIN de 35 mm - Con orificios ranurados de 100cms
25	VF1	1	ATV630D37N4	Shneider Electric	Variador de velocidad ATV630-37kW/50hp-380...480V-IP21/UL tipo 1.
26		1	BT30	Shneider Electric	Barra de conexión a tierra para equipos
27					
28					
29					
30					



P.C +L3 : PANEL DE CONTROL PRINCIPAL.
 P.P1 +L1 : PANEL DE POTENCIA 1
 P.P2 +L2 : PANEL DE POTENCIA 2



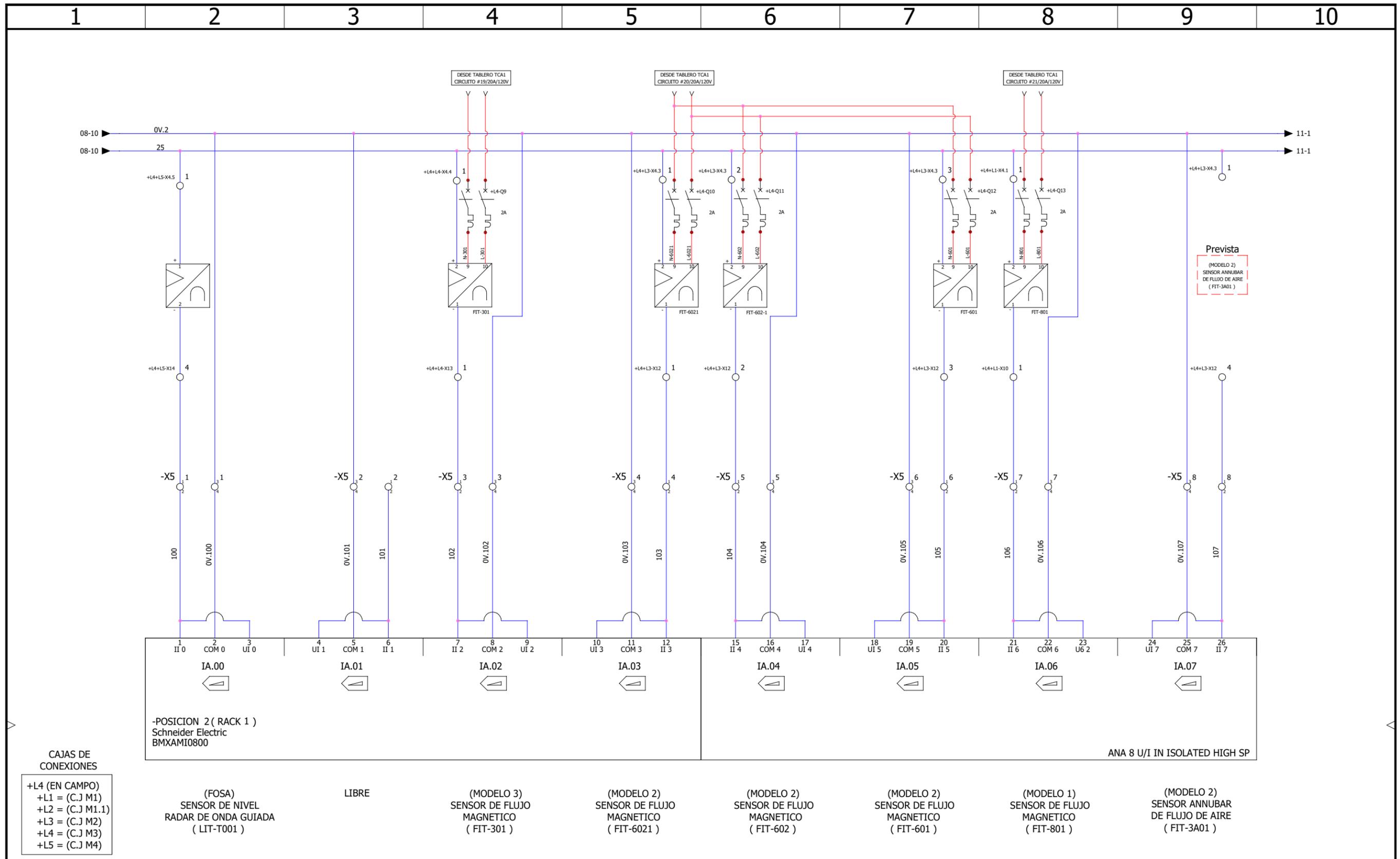
Rack1 Posicion de Modulos

Fuente	BMXCPS3020	Fuente de Alimentación a 24VDC
Posición 1	BMXP342020	CPU del PLC
Posición 2	BMXAMI0800	Módulo de 8 Entradas Analógicas
Posición 3	BMXAMI0800	Módulo de 8 Entradas Analógicas
Posición 4	BMXAMI0410	Módulo de 4 Entradas Analógicas
Posición 5	BMXAMI0800	Módulo de 8 Entradas Analógicas
Posición 6	BMXDDO3202K	Módulo de 32 Salidas Digitales a 24 VDC
Posición 7	BMXAMO0210	Módulo de 2 Salidas Analógicas
Posición 8	BMXDDI3202K	Módulo de 32 Entradas Digitales a 24 VDC
Módulo de Extension	BMX XBE 1000	Módulo de Extension

Rack 2 Posicion de Modulos

Fuente	BMXCPS2000	Standard Isol DC Power Supply, 24V isolat
Posición 1	BMXDDI1602	Módulo de 16 Entradas Digitales
Posición 2	Libre	Libre
Posición 3	BMXDDO1602	Módulo de 16 Salidas Digitales a 24VDC
Posicion 4	Libre	Libre
Módulo de Extension	BMX XBE 1000	Módulo de Extension

Backplane extension cable 1,5m (BMXXBC015K)



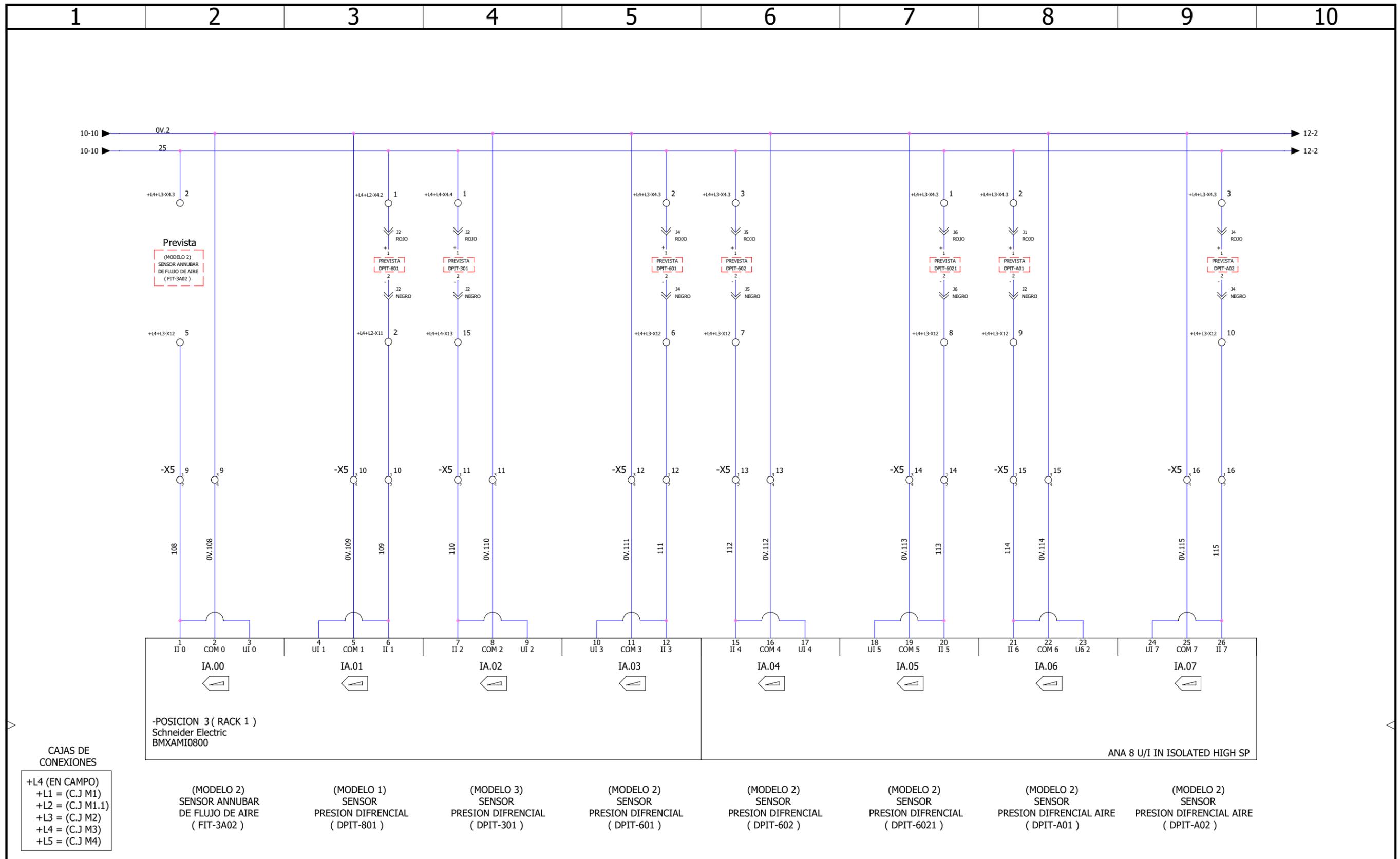
- CAJAS DE CONEXIONES
- +L4 (EN CAMPO)
 - +L1 = (C.J M1)
 - +L2 = (C.J M1.1)
 - +L3 = (C.J M2)
 - +L4 = (C.J M3)
 - +L5 = (C.J M4)

-POSICION 2 (RACK 1)
Schneider Electric
BMXAMI0800

ANA 8 U/I IN ISOLATED HIGH SP

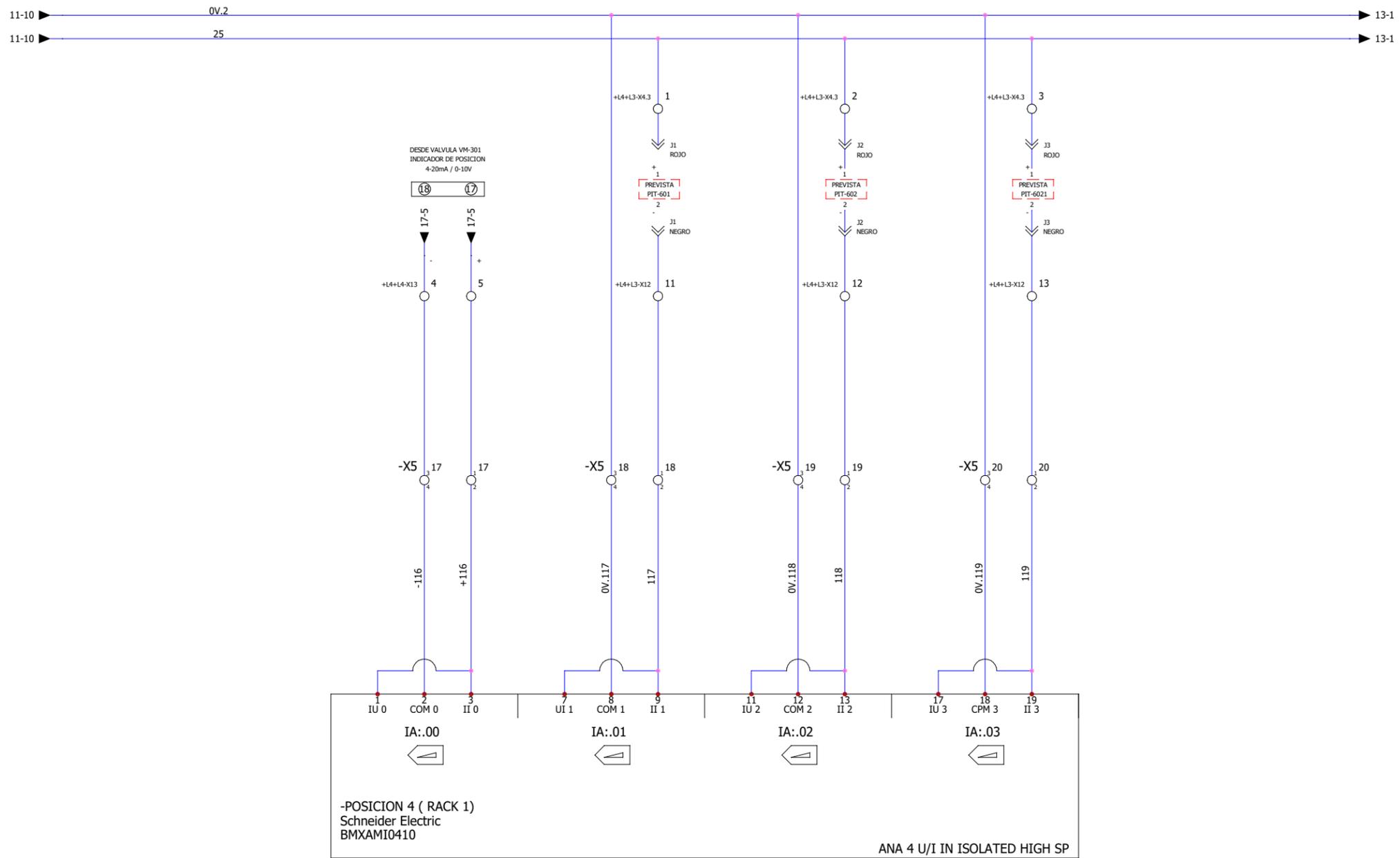
<p>ControlSoft S.A Ofibodegas Sta Rosa, bodega #33 Sto Domingo de Herredia Costa Rica</p> <p>Proyecto n° : ICE IN - L003</p>	<p>LABORATORIO HIDRAULICO - CSD</p> <p>CABLEADO DE CONTROL, MODULO DE 8 ENTRADAS ANALOGAS RACK 1, POSICION 2 SEÑAL DE SALIDA, SENSORES ANALOGOS</p> <p>UBICACION: PANEL DE CONTROL PRINCIPAL (+L3)</p>	FECHA: 01/12/2017	<p>Indice 0</p> <hr/> <p>Hoja 10</p>
		ESCALA: N/A	
		AREA: INGENIERIA DE PROYECTOS	<p>Revizado/Aprobado por: Ing. Cesar Barquero</p>

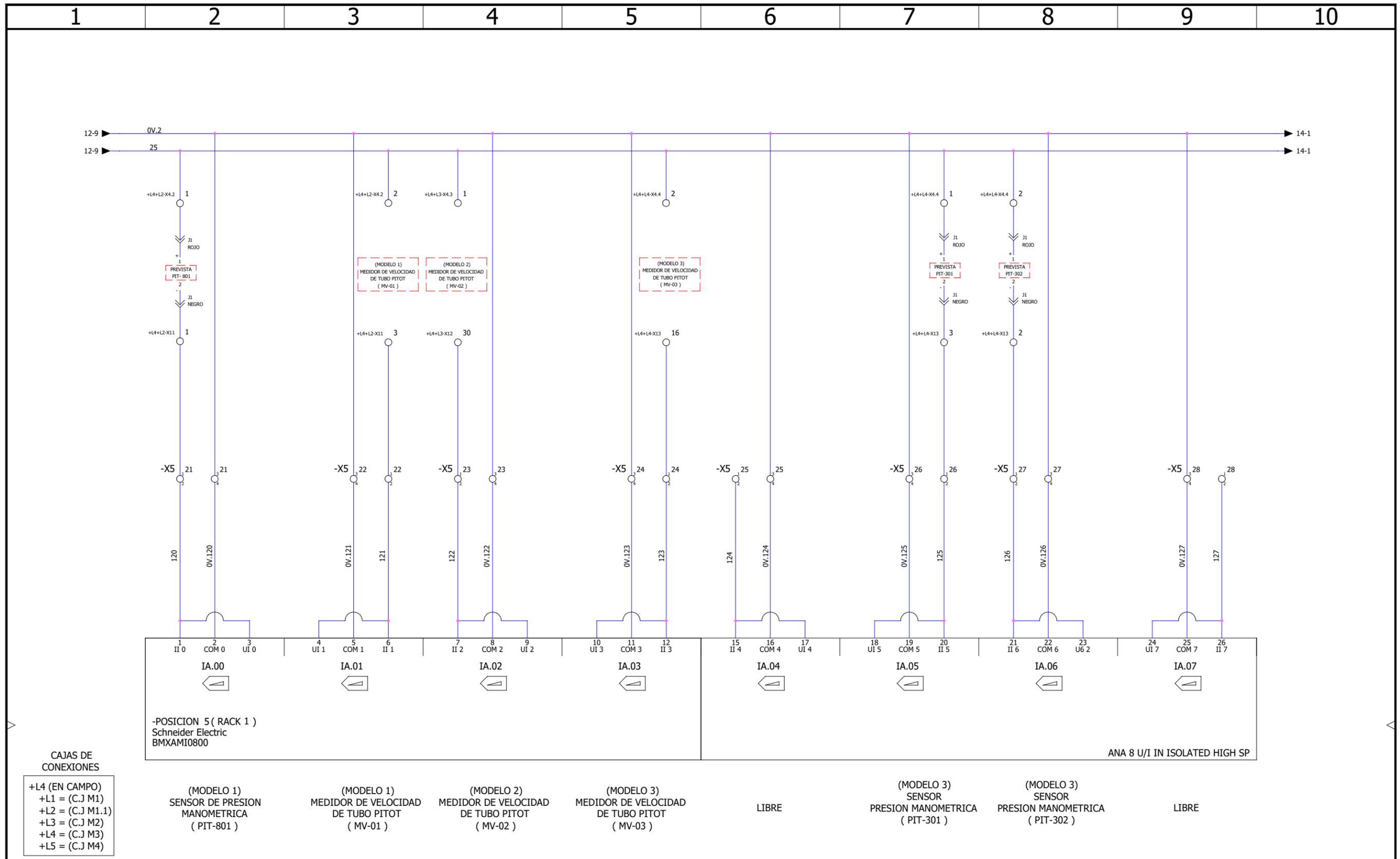
elecworks



elecworks

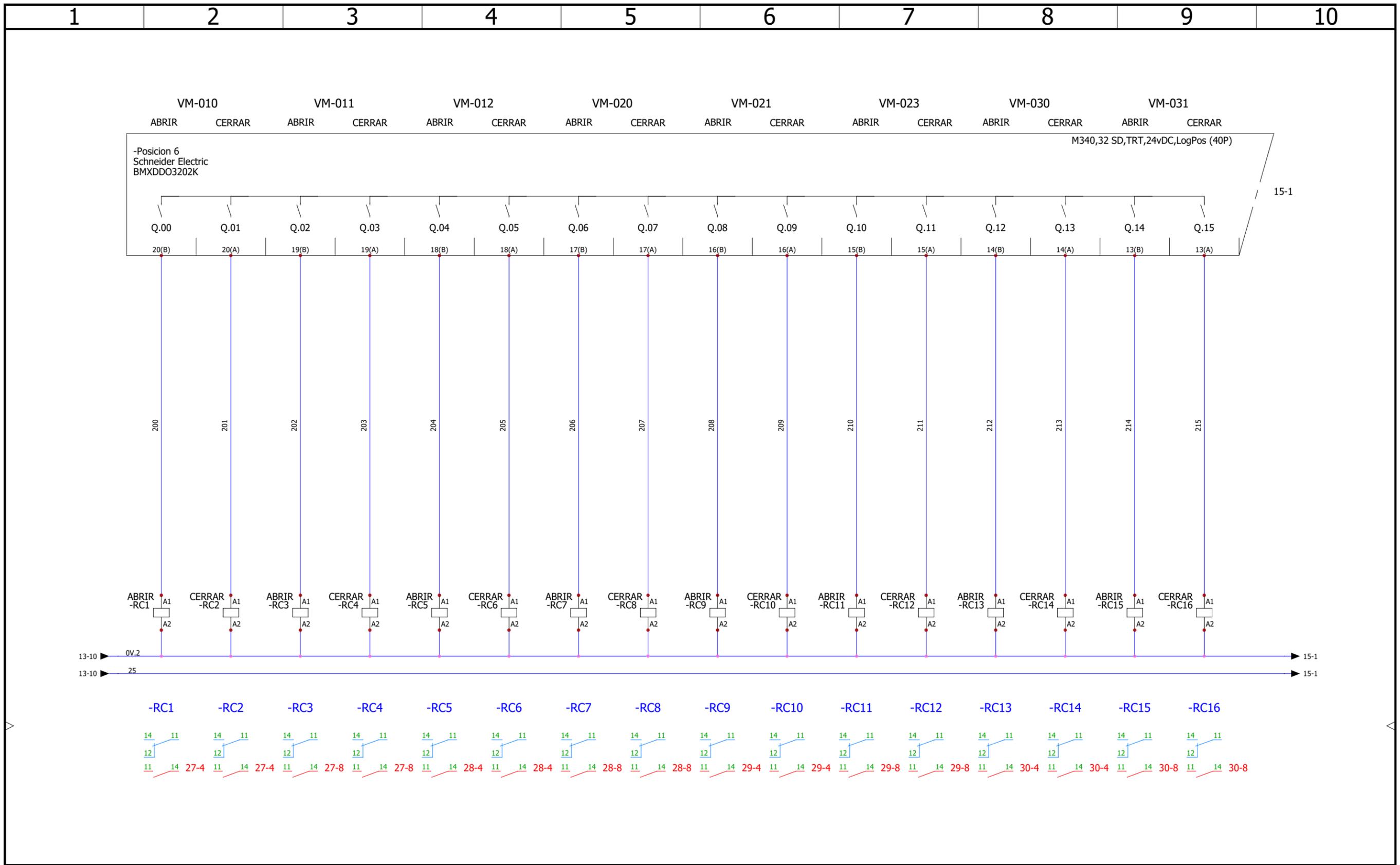
ControlSoft S.A Ofibodegas Sta Rosa, bodega #33 Sto Domingo de Herredia Costa Rica	LABORATORIO HIDRAULICO - CSD CABLEADO DE CONTROL, MODULO DE 8 ENTRADAS ANALOGAS RACK 1, POSICION 3 SEÑAL DE SALIDA, SENSORES ANALOGOS	FECHA: 01/12/2017		Indice
		ESCALA: N/A		0
Proyecto n° : ICE IN - L003	UBICACION: PANEL DE CONTROL PRINCIPAL (+L3)	DWG. NO:	Revizado/Aprobado por: Ing. Cesar Barquero	Hoja
		AREA: INGENIERIA DE PROYECTOS		11
		Dibujado por: Gerardo Mora		





elecworks

<p>ControlSoft S.A</p> <p>Ofibodegas Sta Rosa, bodega #33</p> <p>Sto Domingo de Herredia</p> <p>Costa Rica</p>	<p>LABORATORIO HIDRAULICO - CSD</p> <p>CABLEADO DE CONTROL, MODULO DE 8 ENTRADAS ANALOGAS RACK 1, POSICION 5</p>	FECHA: 01/12/2017		Indice
		ESCALA: N/A		0
<p>Proyecto n° : ICE IN - L003</p>	<p>UBICACION: PANEL DE CONTROL PRINCIPAL (+L3)</p>	DWG. NO:	<p>Revizado/Aprobado por:</p> <p>Ing. Cesar Barquero</p>	Hoja
		AREA: INGENIERIA DE PROYECTOS		13
		Dibujado por: Gerardo Mora		



elecworks

ControlSoft S.A
 Ofibodegas Sta Rosa, bodega #33
 Sto Domingo de Herredia
 Costa Rica

Proyecto n° : ICE IN - L003

LABORATORIO HIDRAULICO - CSD

CABLEADO DE CONTROL, MODULO DE 32 ENTRADAS DIGITALES RACK 1, POSICION 6
 CONTROL DE CIERRE Y APERTURA DE VALVULAS MOTORIZADAS

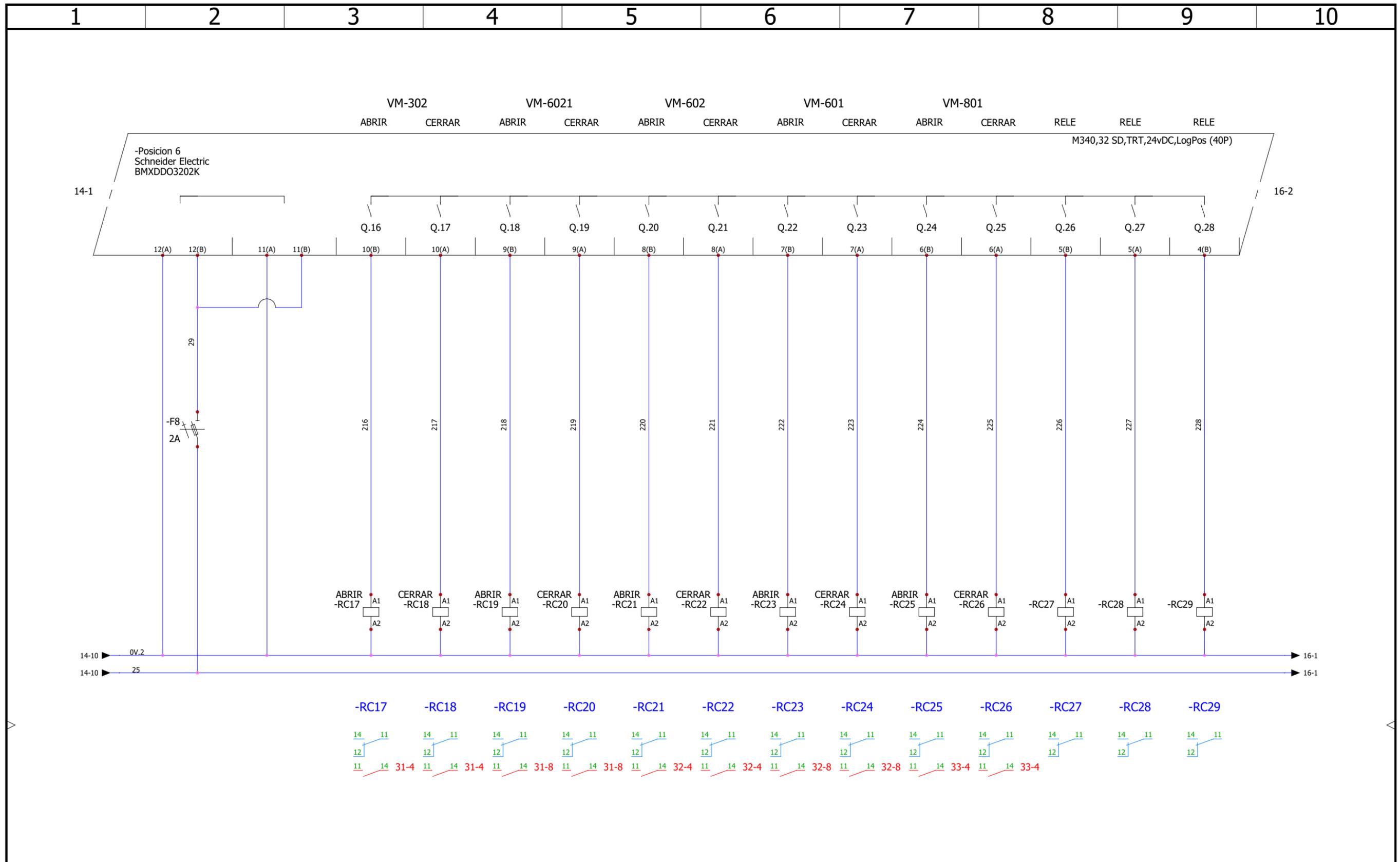
UBICACION: PANEL DE CONTROL PRINCIPAL (+L3)

FECHA: 01/12/2017
 ESCALA: N/A
 DWG. NO:
 AREA: INGENIERIA DE PROYECTOS

Dibujado por:
 Gerardo Mora

Revizado/Aprobado por:
 Ing. Cesar Barquero

Indice
 0
 Hoja
 14



elecworks

ControlSoft S.A
 Ofibodegas Sta Rosa, bodega #33
 Sto Domingo de Herredia
 Costa Rica

Proyecto n° : ICE IN - L003

LABORATORIO HIDRAULICO - CSD
 CABLEADO DE CONTROL, MODULO DE 32 ENTRADAS DIGITALES RACK 1, POSICION 6

UBICACION: PANEL DE CONTROL PRINCIPAL (+L3)

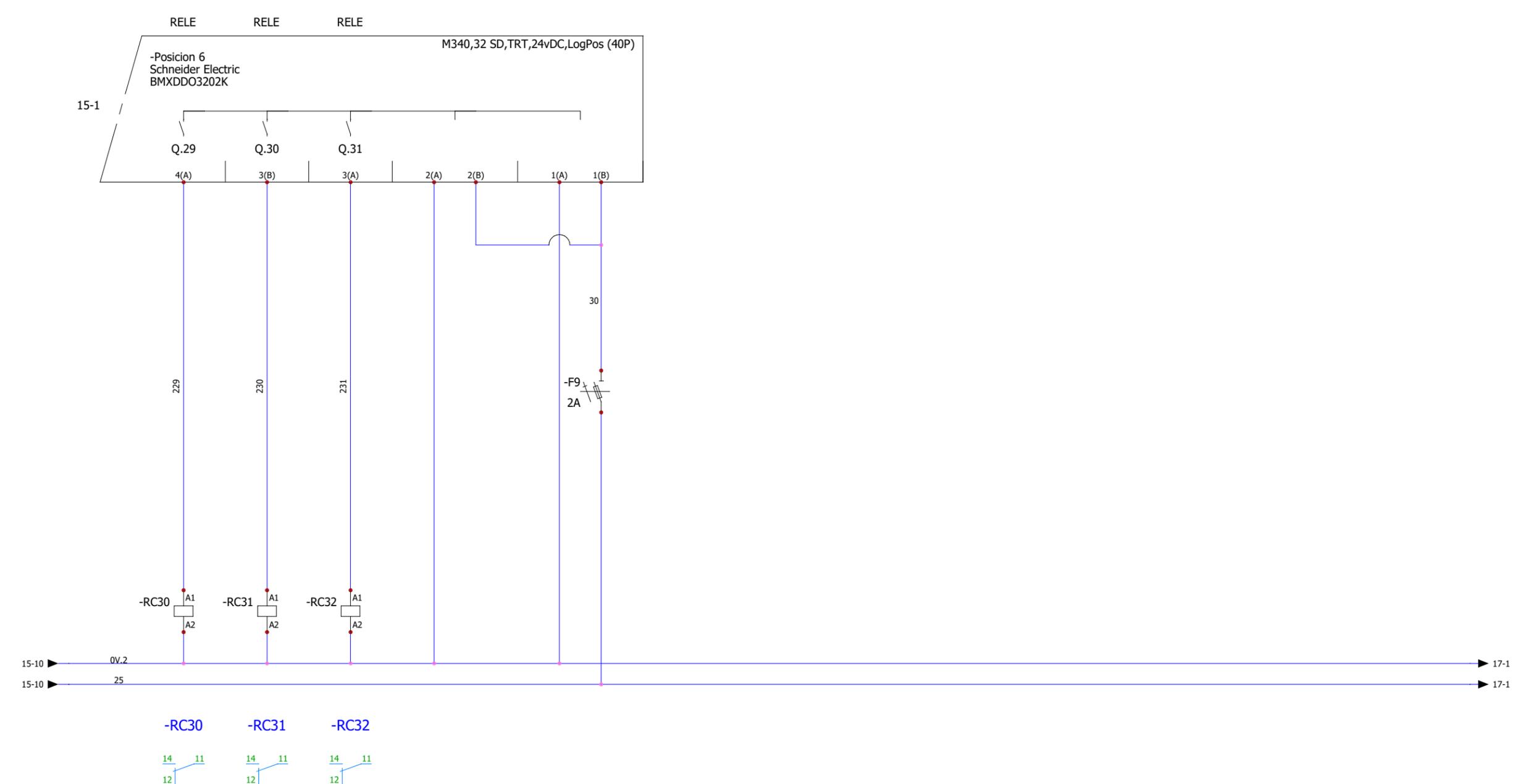
FECHA: 01/12/2017
 ESCALA: N/A
 DWG. NO:
 AREA: INGENIERIA DE PROYECTOS

Dibujado por:
 Gerardo Mora

ControlSoft

Revizado/Aprobado por:
 Ing. Cesar Barquero

Indice
 0
 Hoja
 15



elecworks

ControlSoft S.A
Ofibodegas Sta Rosa, bodega #33
Sto Domingo de Herredia
Costa Rica

LABORATORIO HIDRAULICO - CSD
CABLEADO DE CONTROL, MODULO DE 32 ENTRADAS DIGITALES RACK 1, POSICION 6

FECHA: 01/12/2017
ESCALA: N/A
DWG. NO:
AREA: INGENIERIA DE PROYECTOS
Dibujado por:
Gerardo Mora

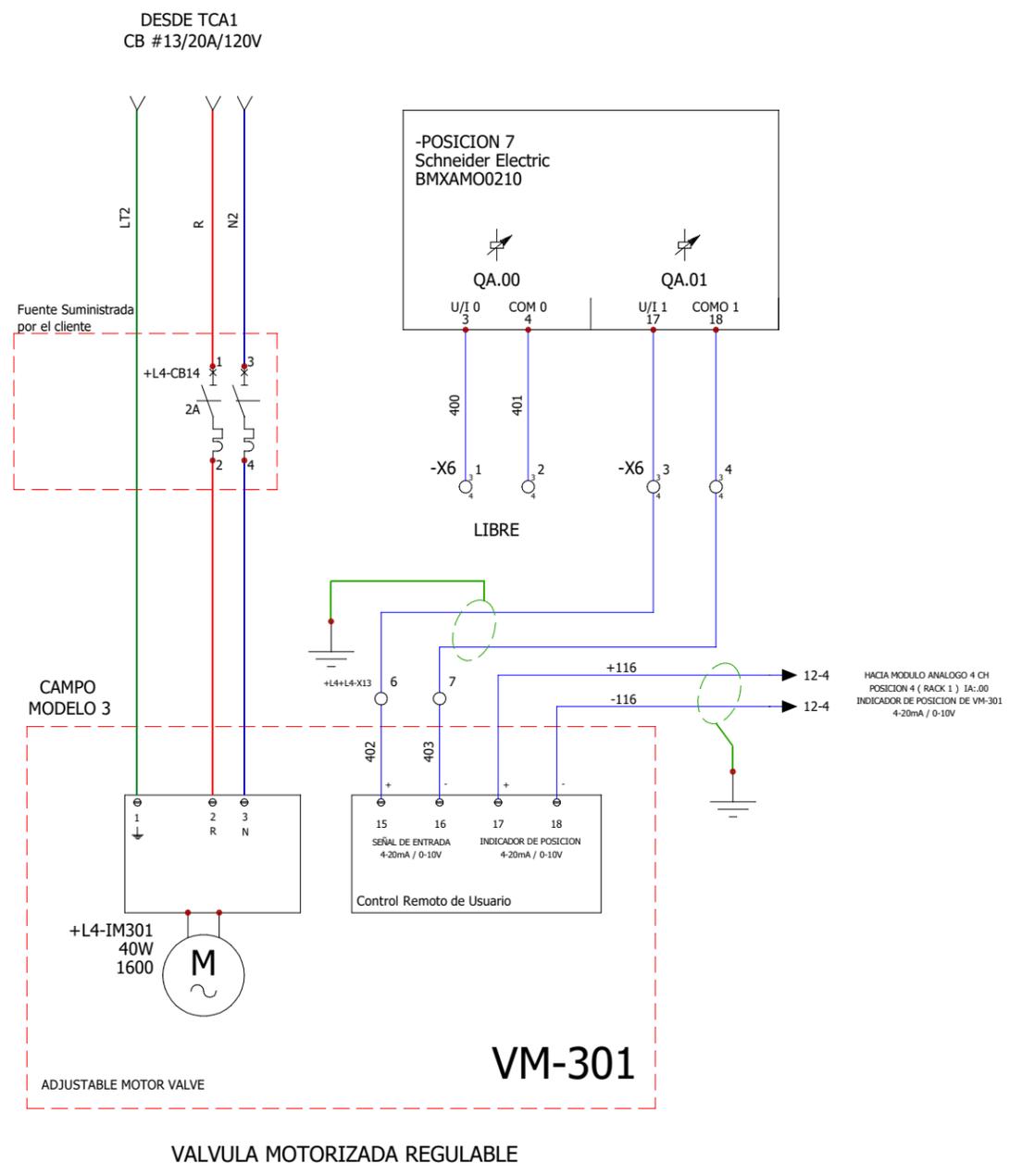
ControlSoft
Revizado/Aprobado por:
Ing. Cesar Barquero

Indice
0
Hoja
16

Proyecto n° : ICE IN - L003

UBICACION: PANEL DE CONTROL PRINCIPAL (+L3)

- CAJAS DE CONEXIONES
- +L4 (EN CAMPO)
 - +L1 = (C.J M1)
 - +L2 = (C.J M1.1)
 - +L3 = (C.J M2)
 - +L4 = (C.J M3)
 - +L5 = (C.J M4)

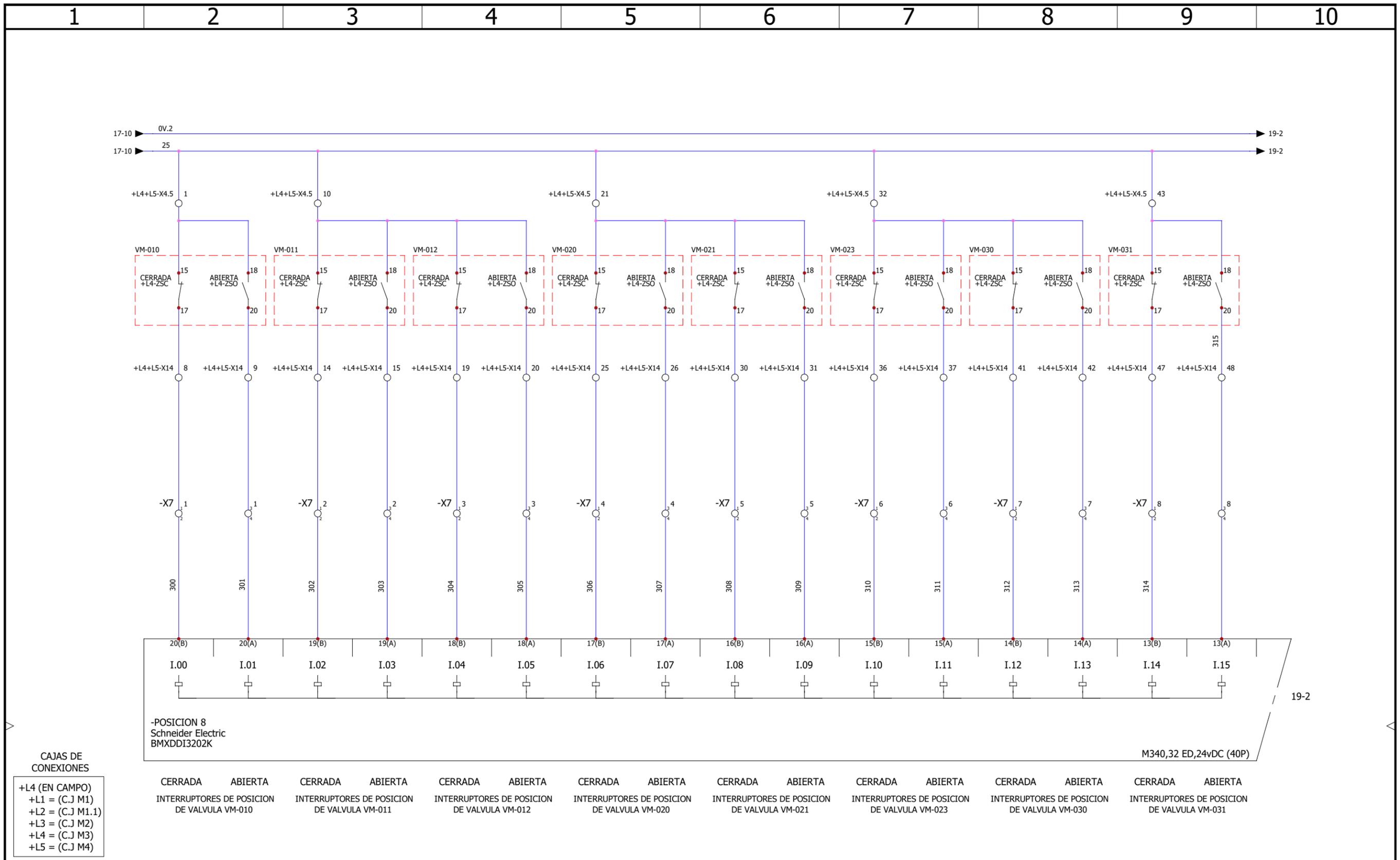


HACIA MODULO ANALOGO 4 CH
 POSICION 4 (RACK 1) JA-00
 INDICADOR DE POSICION DE VM-301
 4-20mA / 0-10V



elecworks

ControlSoft S.A Ofibodegas Sta Rosa, bodega #33 Sto Domingo de Herredia Costa Rica	LABORATORIO HIDRAULICO - CSD CABLEADO DE CONTROL, MODULO DE 2 SALIDAS ANALOGAS RACK 1, POSICION 7 SALIDA DE CONTROL A VALVULA MOTORIZADA REGULABLE VM-301	FECHA: 01/12/2017	ControlSoft	Indice
		ESCALA: N/A		0
Proyecto n° : ICE IN - L003	UBICACION: PANEL DE CONTROL PRINCIPAL (+L3)	DWG. NO:	Revizado/Aprobado por: Ing. Cesar Barquero	Hoja
		AREA: INGENIERIA DE PROYECTOS		17
		Dibujado por: Gerardo Mora		



elecworks

ControlSoft S.A
Ofibodegas Sta Rosa, bodega #33
Sto Domingo de Herredia
Costa Rica

Proyecto n° : ICE IN - L003

LABORATORIO HIDRAULICO - CSD

CABLEADO DE CONTROL, MODULO DE 32 ENTRADAS DIGITALES RACK 1, POSICION 8
SEÑALES DE ESTADO DE LAS VALVULAS, INTERRUPTORES DE ABIERTO - CERRADO

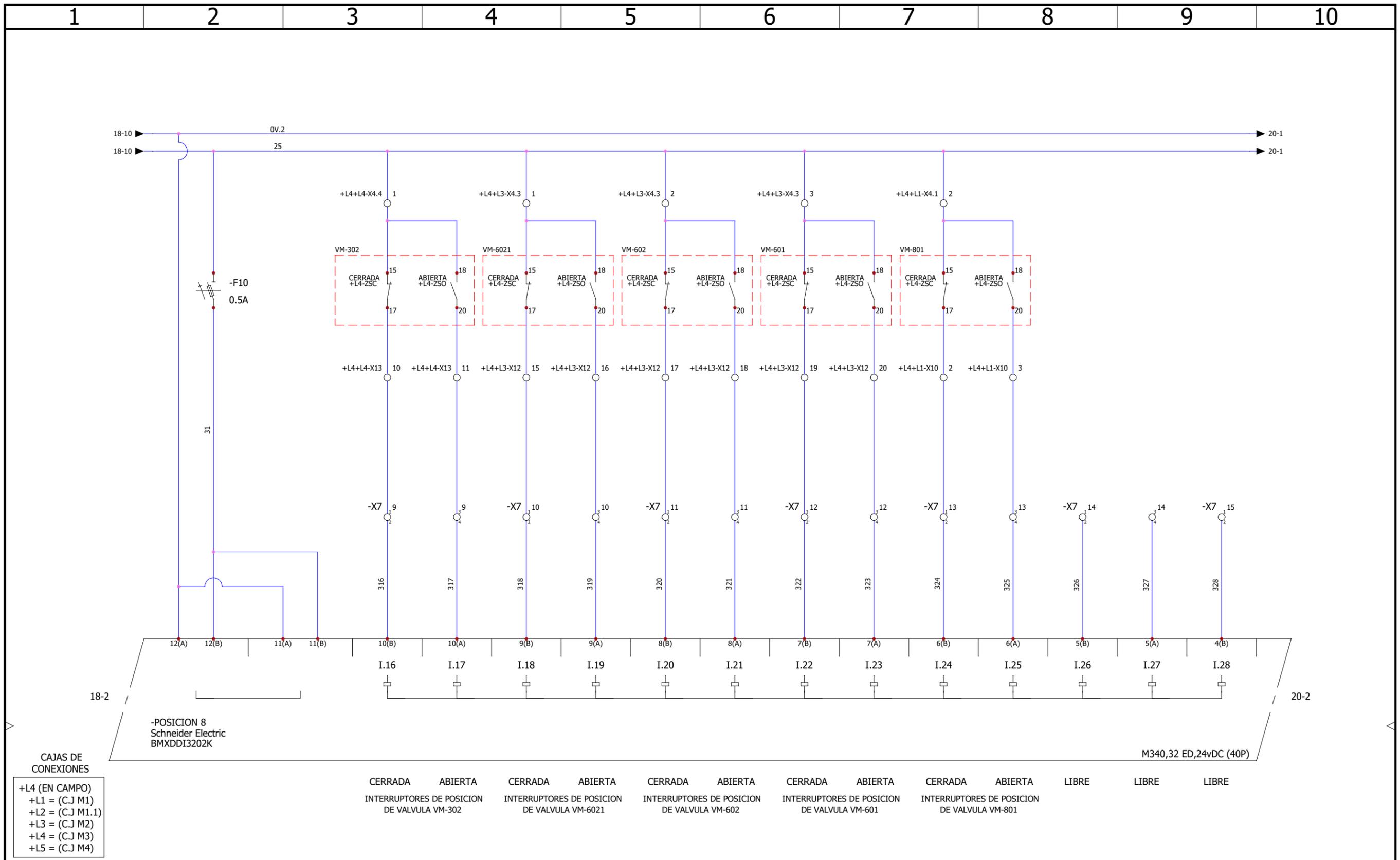
UBICACION: PANEL DE CONTROL PRINCIPAL (+L3)

FECHA: 01/12/2017
ESCALA: N/A
DWG. NO:
AREA: INGENIERIA DE PROYECTOS

Dibujado por:
Gerardo Mora

Revizado/Aprobado por:
Ing. Cesar Barquero

Indice
0
Hoja
18



elecworks

ControlSoft S.A
Ofibodegas Sta Rosa, bodega #33
Sto Domingo de Herredia
Costa Rica

Proyecto n° : ICE IN - L003

LABORATORIO HIDRAULICO - CSD

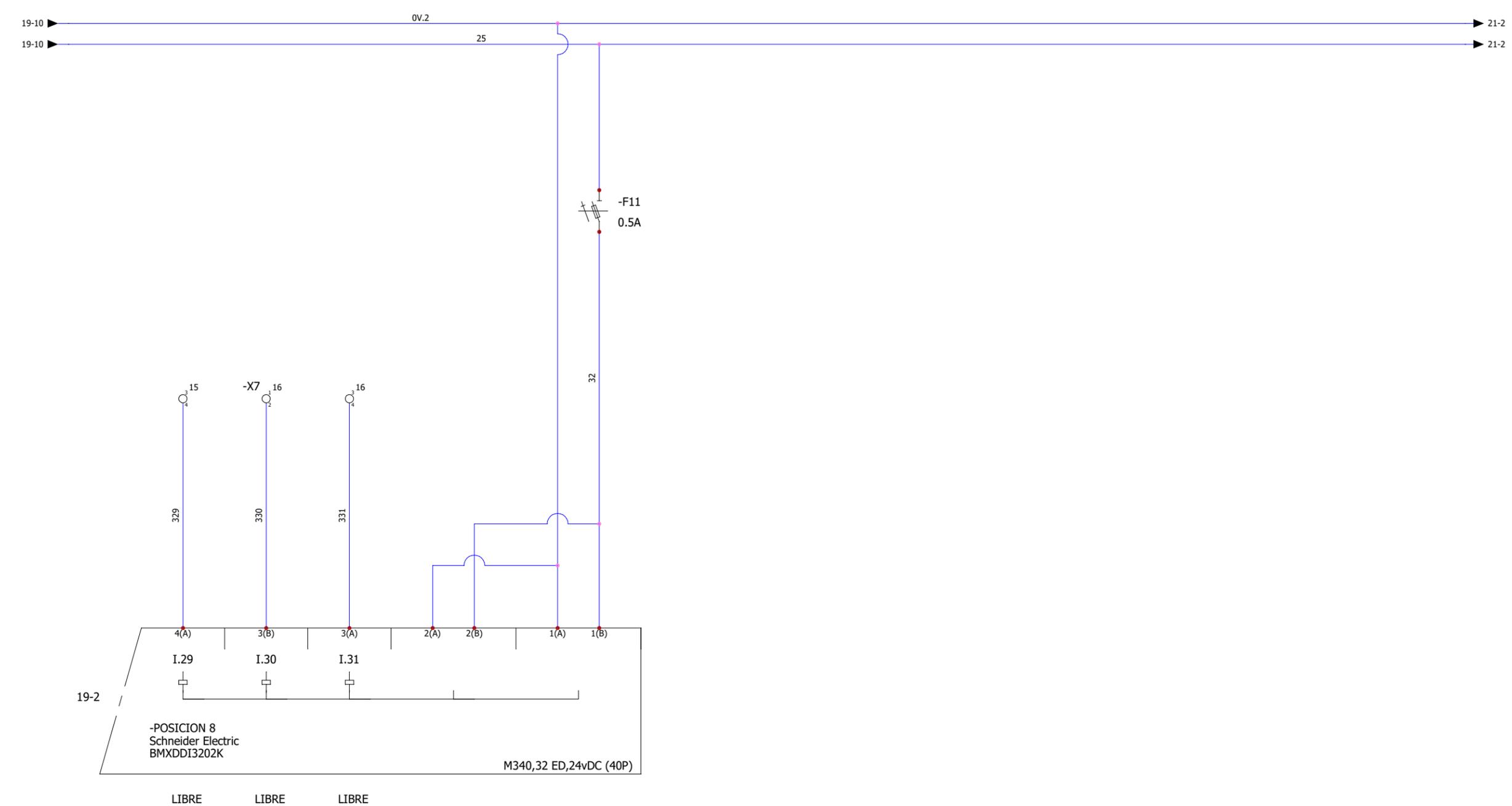
CABLEADO DE CONTROL, MODULO DE 32 ENTRADAS DIGITALES RACK 1, POSICION 8
SEÑALES DE ESTADO DE LAS VALVULAS, INTERRUPTORES DE ABIERTO - CERRADO

UBICACION: PANEL DE CONTROL PRINCIPAL (+L3)

FECHA: 01/12/2017
ESCALA: N/A
DWG. NO:
AREA: INGENIERIA DE PROYECTOS
Dibujado por: Gerardo Mora

Revizado/Aprobado por:
Ing. Cesar Barquero

Indice
0
Hoja
19



elecworks

ControlSoft S.A
Ofibodegas Sta Rosa, bodega #33
Sto Domingo de Herredia
Costa Rica

LABORATORIO HIDRAULICO - CSD
CABLEADO DE CONTROL, MODULO DE 32 ENTRADAS DIGITALES RACK 1, POSICION 8

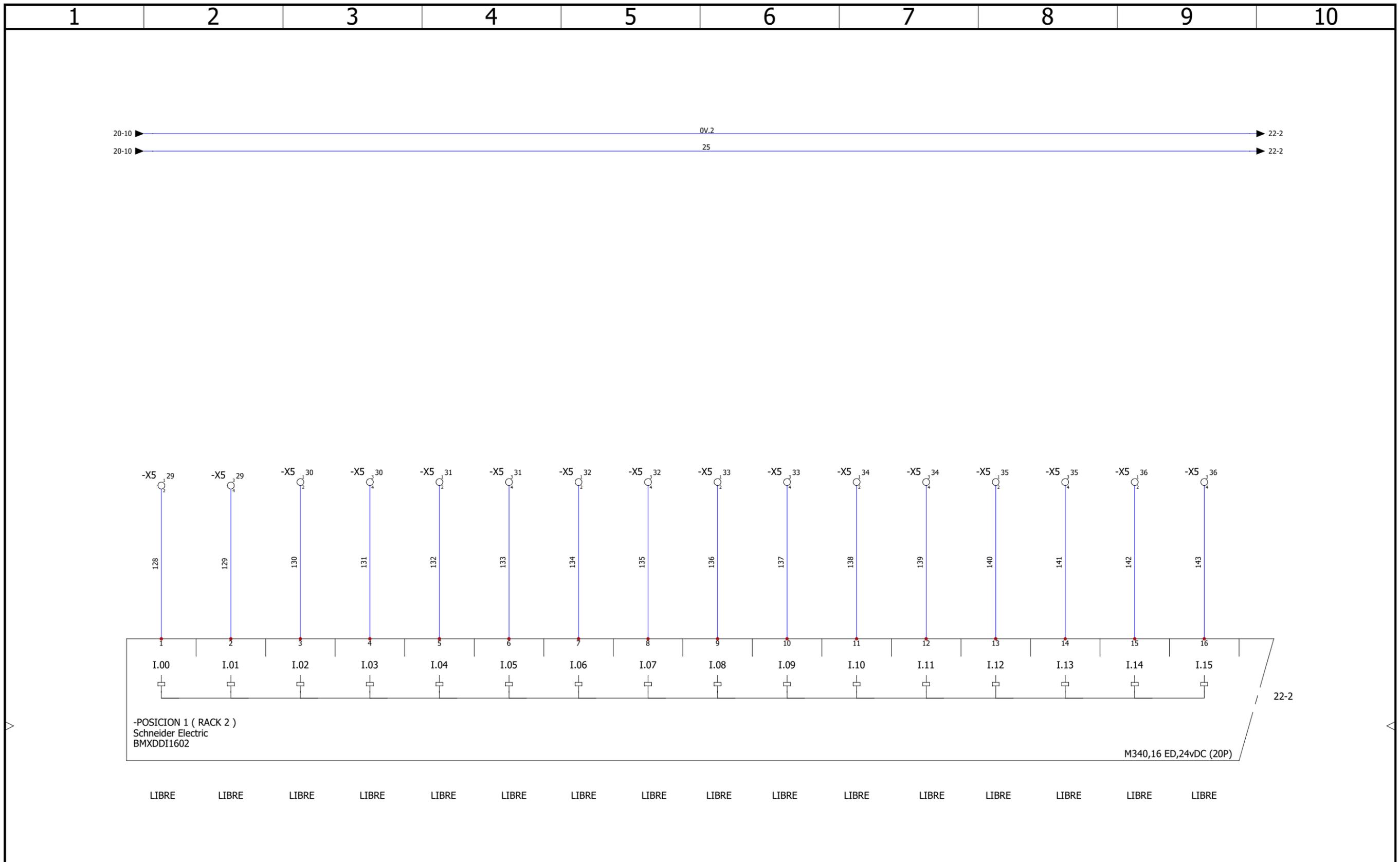
FECHA: 01/12/2017
ESCALA: N/A
DWG. NO:
AREA: INGENIERIA DE PROYECTOS
Dibujado por:
Gerardo Mora

ControlSoft
Revizado/Aprobado por:
Ing. Cesar Barquero

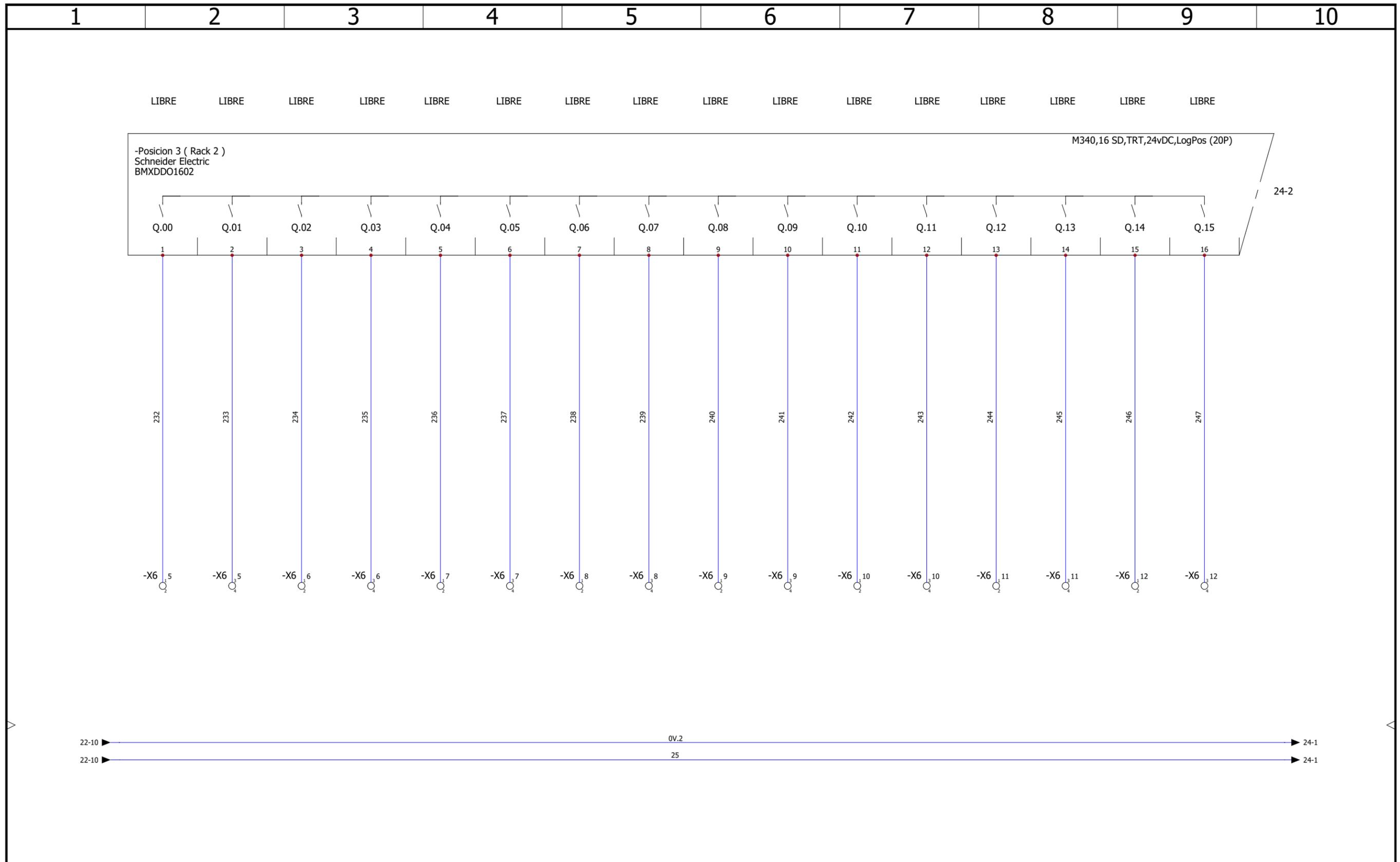
Indice
0
Hoja
20

Proyecto n° : ICE IN - L003

UBICACION: PANEL DE CONTROL PRINCIPAL (+L3)







elecworks

ControlSoft S.A
Ofibodegas Sta Rosa, bodega #33
Sto Domingo de Herredia
Costa Rica

Proyecto n° : **ICE IN - L003**

LABORATORIO HIDRAULICO - CSD

CABLEADO DE CONTROL, MODULO DE 16 SALIDAS DIGITALES RACK 2, POSICION 3
CONDICION DE PREVISTA PARA POSIBLE AMPLIACION DEL SISTEMA

UBICACION: **PANEL DE CONTROL PRINCIPAL (+L3)**

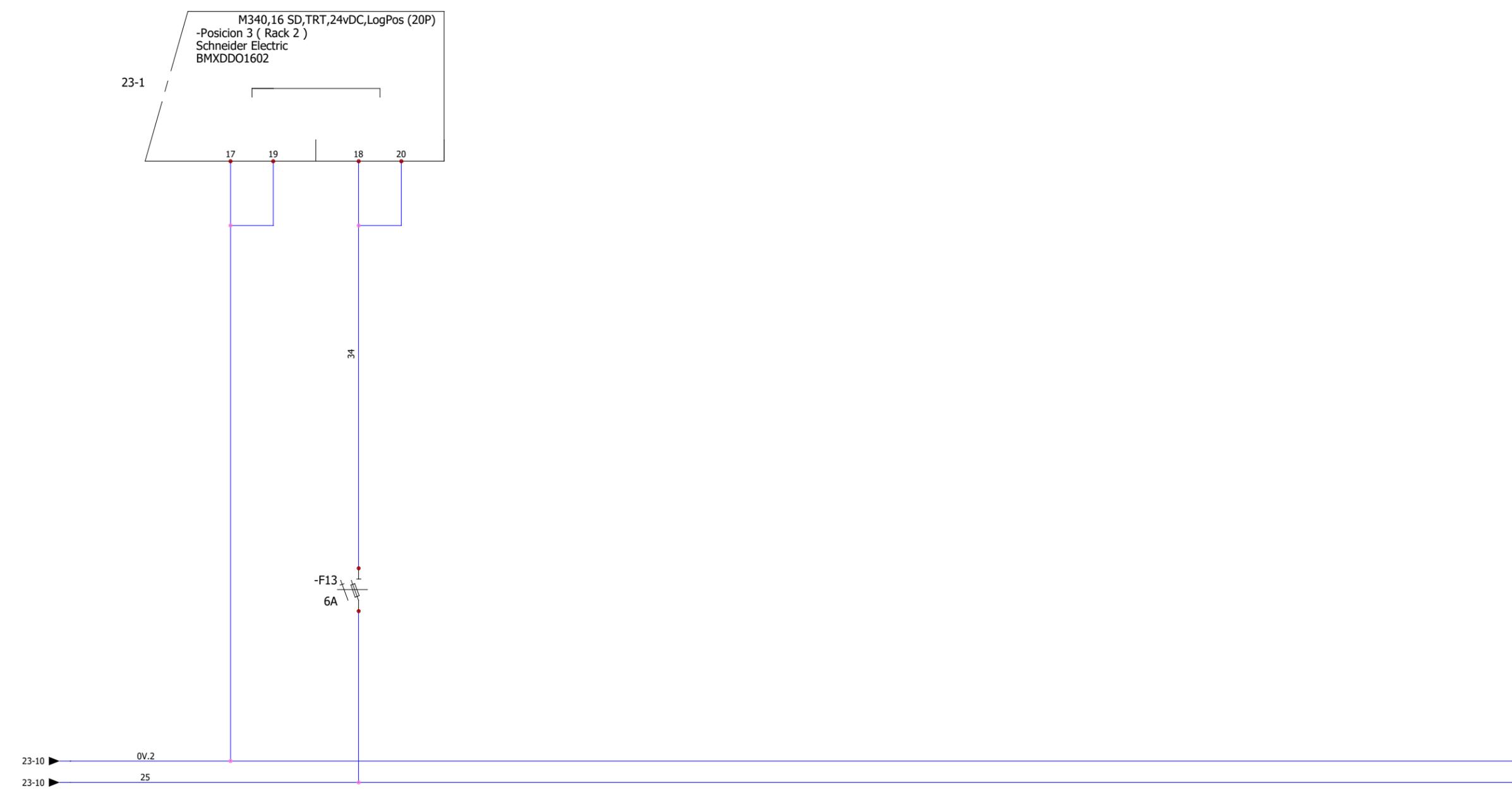
FECHA:	01/12/2017
ESCALA:	N/A
DWG. NO:	
AREA:	INGENIERIA DE PROYECTOS
Dibujado por:	Gerardo Mora

ControlSoft

Revizado/Aprobado por:
Ing. Cesar Barquero

Indice
0

Hoja
23



elecworks

ControlSoft S.A
 Ofibodegas Sta Rosa, bodega #33
 Sto Domingo de Herredia
 Costa Rica

Proyecto n° : ICE IN - L003

LABORATORIO HIDRAULICO - CSD

CABLEADO DE CONTROL, MODULO DE 16 SALIDAS DIGITALES RACK 2, POSICION 3
 CONDICION DE PREVISTA PARA POSIBLE AMPLIACION DEL SISTEMA

UBICACION: PANEL DE CONTROL PRINCIPAL (+L3)

FECHA: 01/12/2017
 ESCALA: N/A
 DWG. NO:
 AREA: INGENIERIA DE PROYECTOS

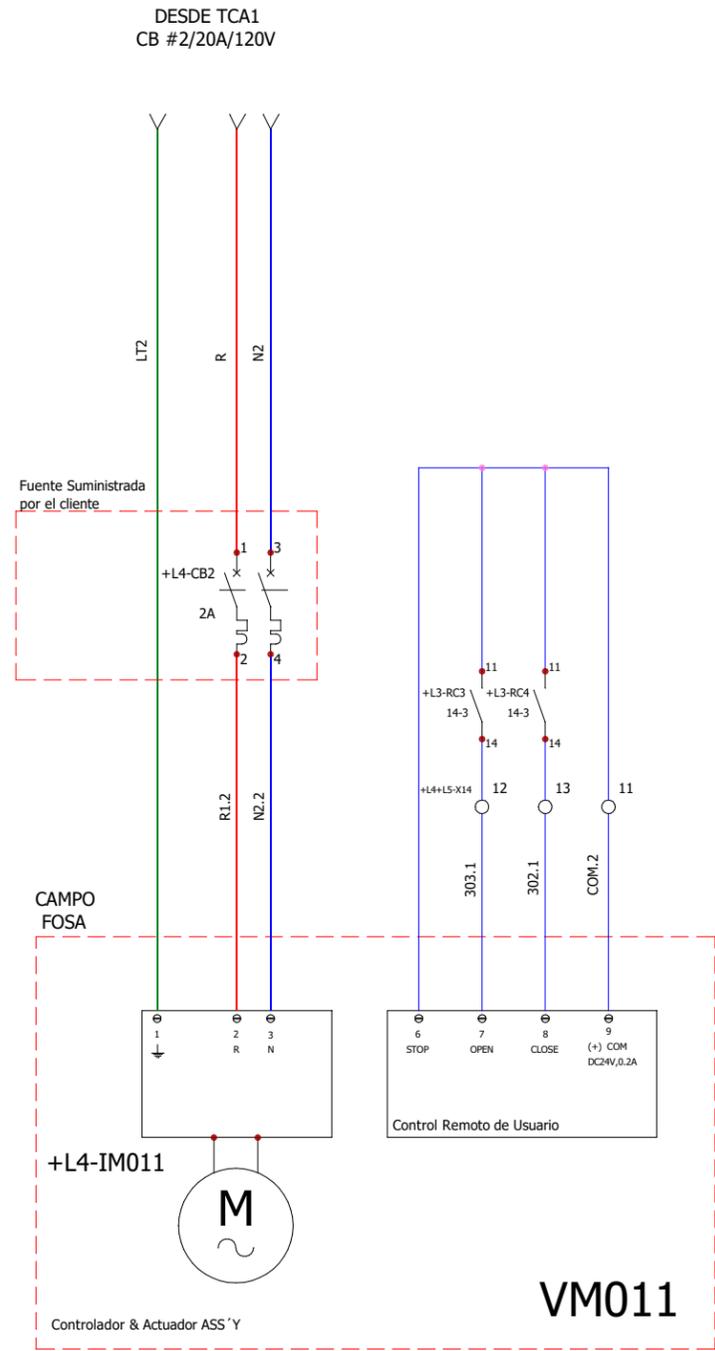
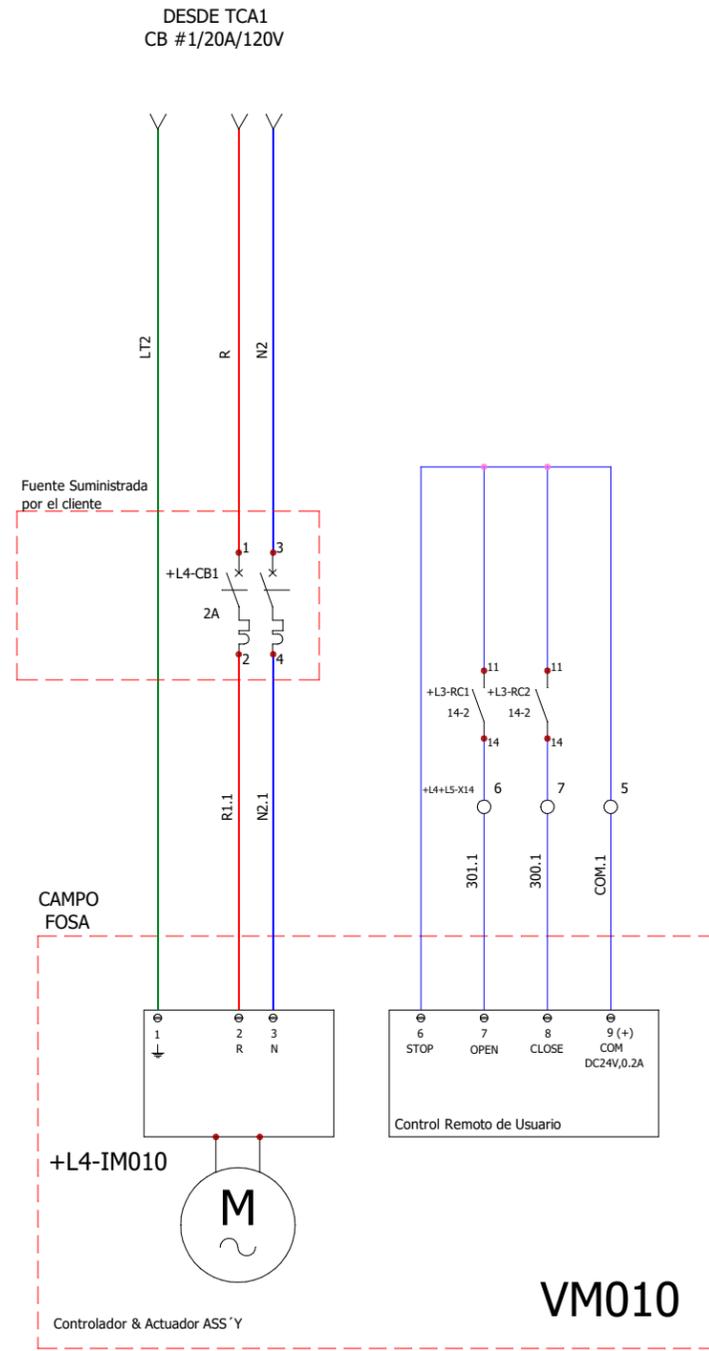
Dibujado por:
 Gerardo Mora

ControlSoft

Revizado/Aprobado por:
 Ing. Cesar Barquero

Indice
 0
 Hoja
 24

LISTA DE MATERIALES PANEL P.C +L3					
ITEM	ETIQUETA	CANTIDAD	PARTE N°	FABRICANTE	DESCRIPCION
1	P.C +L3	1	NSYSM18860P	Shneider Electric	Armario metálico compacto Spacial SM con placa de montaje, 1800x800x600mm, 1 Puerta
2		2	NSYSPF8100	Shneider Electric	Zócalo frontal Spacial SF/SM - 100 x 800 mm.
3	P.C +L3	1			Placa 1/8" de Resina Plastica de 130x40mm ID del Panel
4		2	NSYCAG223LPF	Shneider Electric	Rejilla salida plástica, orificio 223x223 mm dim. ext. 268x248 mm IP54.
5	Pantalla de Operacion - Monitoreo	1	HIS - ML17 - STAH, Tipo 12/4/14X ENCLOSURE	HOPE INDUSTRIAL SYSTEMS INC	MONITOR INDUSTRIAL MONTADO EN PANEL DE 17", NEMA 4X, IP65 / IP66, BISEL DE ACERO INOXIDABLE, PANTALLA TÁCTIL RESISTIVO ANALÓGICO, ENTRADA AC)
6	IL-1	1	L2646-16-33		Lampara Fluorecente 120V, (310 x 44 x 21mm)
7	L1-S-1	1	802B-SSAR1XSX A	ALLEN BRADLEY	Interruptor para encendido de Lampara
8		3	DXN10082	Shneider Electric	Canaleta Ranurada 60X40 X 2Mts Gris.
9		1	DXN10092	Shneider Electric	Canaleta Ranurada 60X100 X 2Mts Gris.
10	Q7/Q8	2	FAZ-C2/1 278549	EATON MOELLER	Interruptor magnetotérmico, 1P, curva C, 2A
11	F5,F6, F7, F8, F9, F10, F11, F12, F13	9	A5KS	Klemsan	Borne Portafusible 5x20mm
12		9			Fusible cilindrico vidrio 5x20mm
13		8	NSYTRAAB35	Shneider Electric	Tope final de borne 5,2 mm para riel DIN 35 mm.
14	X3	6	1492-EAJ35	Allen-Bradley	Borne terminal gris,2,5mm anclaje de extremo, servicio normal, para riel DIN
15	X4	20	1492-EAJ35	Allen-Bradley	Borne terminal gris,2,5mm anclaje de extremo, servicio normal, para riel DIN
16	LT2	9	1492-JG3	Allen-Bradley	Borne puesta a tierra, 22 - 12AWG, verde / amarillo, 2.5 mm
17	X5	6	1492-JD3	Allen-Bradley	Borne terminal, 20 A, 600 V AC / DC, 2 niveles, 2 circuitos, gris, 2.5 mm
18	X6	2	1492-JD3	Allen-Bradley	Borne terminal, 20 A, 600 V AC / DC, 2 niveles, 2 circuitos, gris, 2.5 mm
19	X7	20	1492-JD3	Allen-Bradley	Borne terminal, 20 A, 600 V AC / DC, 2 niveles, 2 circuitos, gris, 2.5 mm
20	FP2	1	ABL8REM24050	Shneider Electric	Fuentes de alimentación SMPS regulado - 1 o 2 fases - 100...240VAC - 24V - 5A
21		3	9080MH339	Shneider Electric	Riel DIN de 35 mm - Con orificios ranurados de 100cms
22		1		Shneider Electric	Controlador Logico Programable del Sistema
23	RACK 1	1	BMXXBP0800	Shneider Electric	Plataforma autom. Modicon M340, 8 SLOT
24	Rack 2	1	BMXXBP0400	Shneider Electric	Plataforma autom. Modicon M340, 4 SLOT
25		1	BMXFCA150	Shneider Electric	Terminal de 20 vías - conector SUB-D25 - para E/S M340 - 1,5 m.
26		1	BMXXBC015K	Shneider Electric	Cable de extensión del panel posterior M340 - 1.5 m
27		4	BMXFTB2820	Shneider Electric	Bloque de terminales de resorte extraíble de 28 vías
28		4	BMXFTB2010	Shneider Electric	Bloque de terminales con abrazadera de tornillo extraíble de 20 vías - 1 o 2 x 0.34..1.5 mm2
29		2	BMXFCW303	Shneider Electric	Juego de cables - terminal de 40 vías - cables de dos extremos para cables - para E / S M340 - 3 m
30	Sistema de Calefaccion	1	NSYCR150WU2C	Shneider Electric	Resistencia de calentamiento de ClimaSys PTC 150W, aislamiento de 110-250V
31	Sistema de Calefaccion	1	Typ KTO 011	LinkWell	Termostato KTO 011. Contacto abridor/NC (Botón rojo) para la regulación de aparatos de calefacción
32	CPU del Sistema	1	Mod: D11S/Tipo: D11S001	Dell	CPU del Sistema
33	Supresor Trasientes	1	TSF20A120V	ERICO	Filtro de Sobretension Transitorio
34		1	FSB50-3	EAGLE	Caja Rectangular aluminio para Interperie, 2 prevista 1/2",
35		1	270	EAGLE	Toma doble empotrar, standard, 15A, 120V, 2P
36		1	2132	EAGLE	Placa toma doble, plastica, blanca
37	RC1 a RC32	32	RSZE1S35M	Shneider Electric	Toma para relé interface - Zelio RSZ - con contactos independ. - conectores
38	RC1 a RC32	32	RSB1A120BD	Shneider Electric	Relé enchufable de interfaz - Zelio RSB - 1 C / O - 24 V DC - 12 A.
39					
40					



- CAJAS DE CONEXIONES
- +L4 (EN CAMPO)
 - +L1 = (C.J M1)
 - +L2 = (C.J M1.1)
 - +L3 = (C.J M2)
 - +L4 = (C.J M3)
 - +L5 = (C.J M4)

elecworks

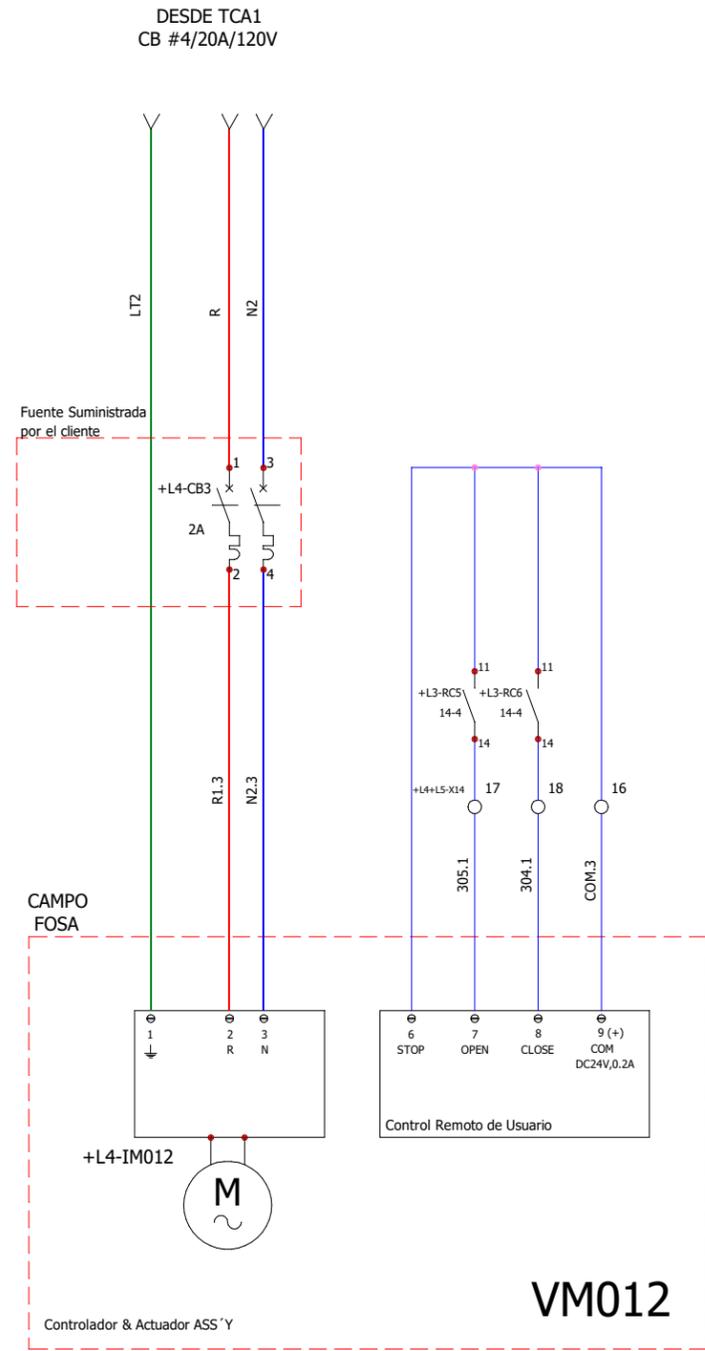
ControlSoft S.A
Ofibodegas Sta Rosa, bodega #33
Sto Domingo de Herredia
Costa Rica

LABORATORIO HIDRAULICO - CSD
DIAGRAMA DE CABLEADO CONTROL Y POTENCIA DE VALVULAS

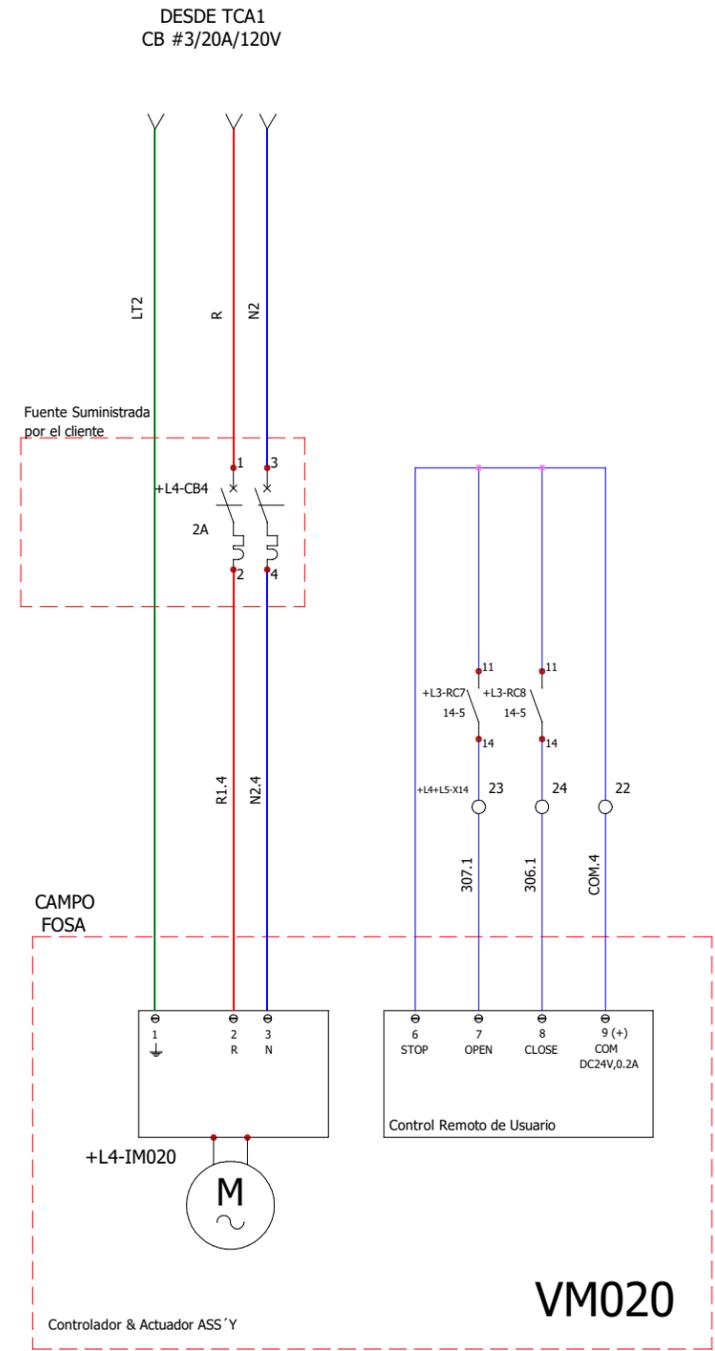
FECHA: 01/12/2017
ESCALA: N/A
DWG. NO:
AREA: INGENIERIA DE PROYECTOS
Dibujado por:
Gerardo Mora

Revizado/Aprobado por:
Ing. Cesar Barquero

Indice
0
Hoja
27



VALVULA MOTORIZADA ON/OFF



VALVULA MOTORIZADA ON/OFF

- CAJAS DE CONEXIONES
- +L4 (EN CAMPO)
 - +L1 = (C.J M1)
 - +L2 = (C.J M1.1)
 - +L3 = (C.J M2)
 - +L4 = (C.J M3)
 - +L5 = (C.J M4)

elecworks

ControlSoft S.A
 Ofibodegas Sta Rosa, bodega #33
 Sto Domingo de Herredia
 Costa Rica

Proyecto n° : ICE IN - L003

LABORATORIO HIDRAULICO - CSD
 DIAGRAMA DE CABLEADO CONTROL Y POTENCIA DE VALVULAS

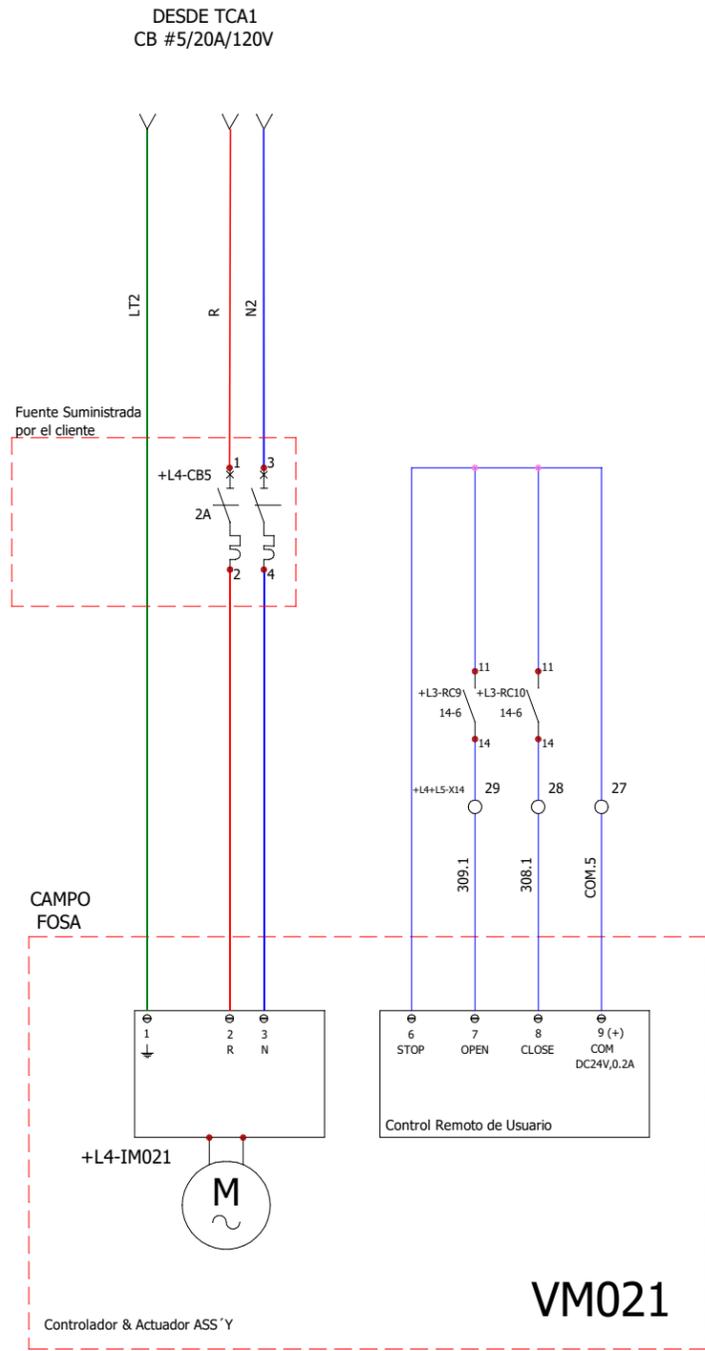
UBICACION: PANEL DE CONTROL PRINCIPAL (+L3) Y AREA DE PRUEBAS EN "CAMPO"

FECHA: 01/12/2017
 ESCALA: N/A
 DWG. NO:
 AREA: INGENIERIA DE PROYECTOS

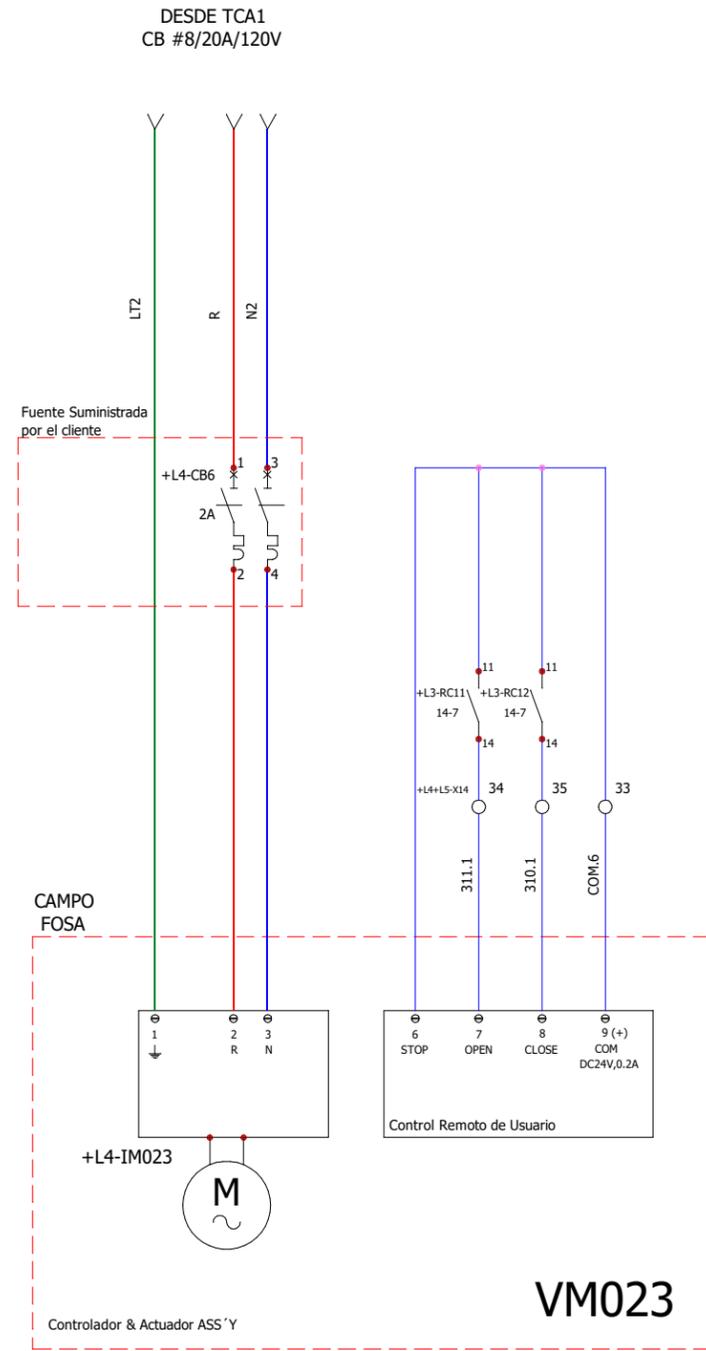
Dibujado por:
 Gerardo Mora

Revizado/Aprobado por:
 Ing. Cesar Barquero

Indice
 0
 Hoja
 28



VALVULA MOTORIZADA ON/OFF



VALVULA MOTORIZADA ON/OFF

- CAJAS DE CONEXIONES
- +L4 (EN CAMPO)
 - +L1 = (C.J M1)
 - +L2 = (C.J M1.1)
 - +L3 = (C.J M2)
 - +L4 = (C.J M3)
 - +L5 = (C.J M4)

elecworks

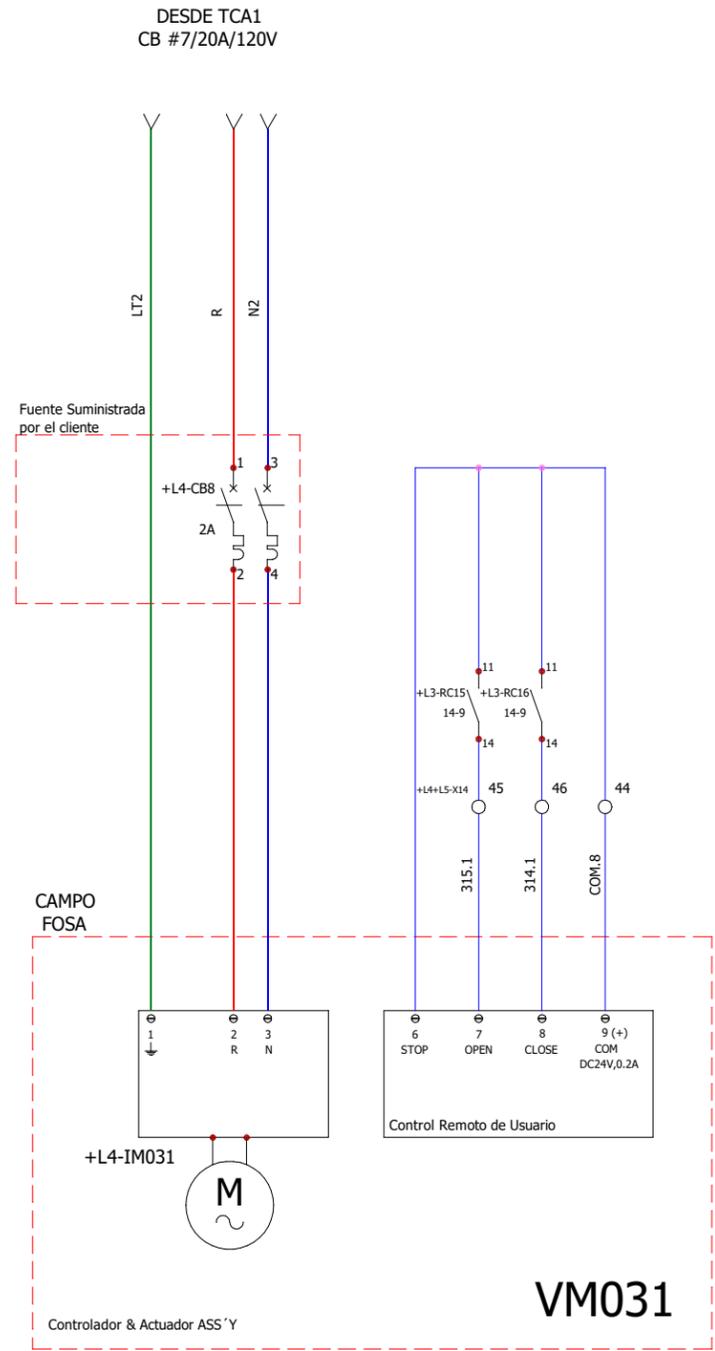
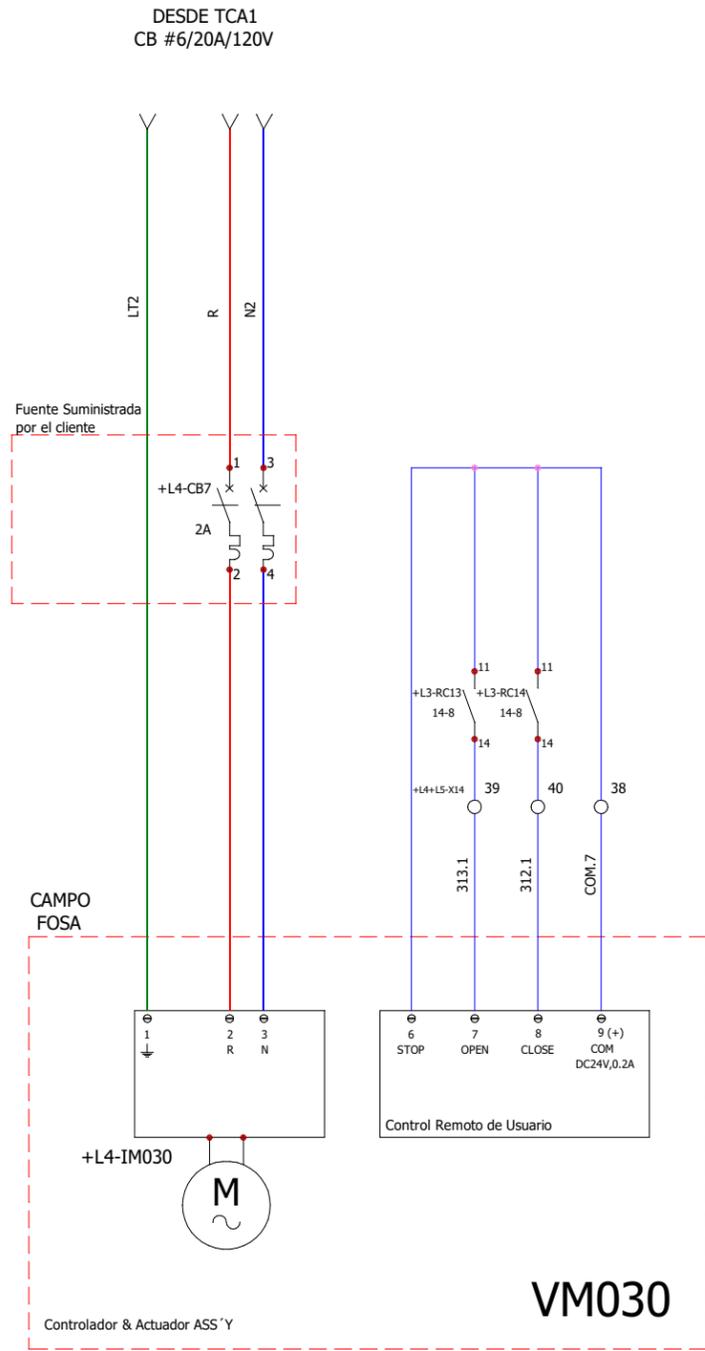
ControlSoft S.A
Ofibodegas Sta Rosa, bodega #33
Sto Domingo de Herredia
Costa Rica

LABORATORIO HIDRAULICO - CSD
DIAGRAMA DE CABLEADO CONTROL Y POTENCIA DE VALVULAS

FECHA: 01/12/2017
ESCALA: N/A
DWG. NO:
AREA: INGENIERIA DE PROYECTOS
Dibujado por: Gerardo Mora

Revizado/Aprobado por:
Ing. Cesar Barquero

Indice
0
Hoja
29



VALVULA MOTORIZADA ON/OFF

- CAJAS DE CONEXIONES
- +L4 (EN CAMPO)
 - +L1 = (C.J M1)
 - +L2 = (C.J M1.1)
 - +L3 = (C.J M2)
 - +L4 = (C.J M3)
 - +L5 = (C.J M4)

elecworks

ControlSoft S.A
Ofibodegas Sta Rosa, bodega #33
Sto Domingo de Herredia
Costa Rica

Proyecto n° : ICE IN - L003

LABORATORIO HIDRAULICO - CSD

DIAGRAMA DE CABLEADO CONTROL Y POTENCIA DE VALVULAS

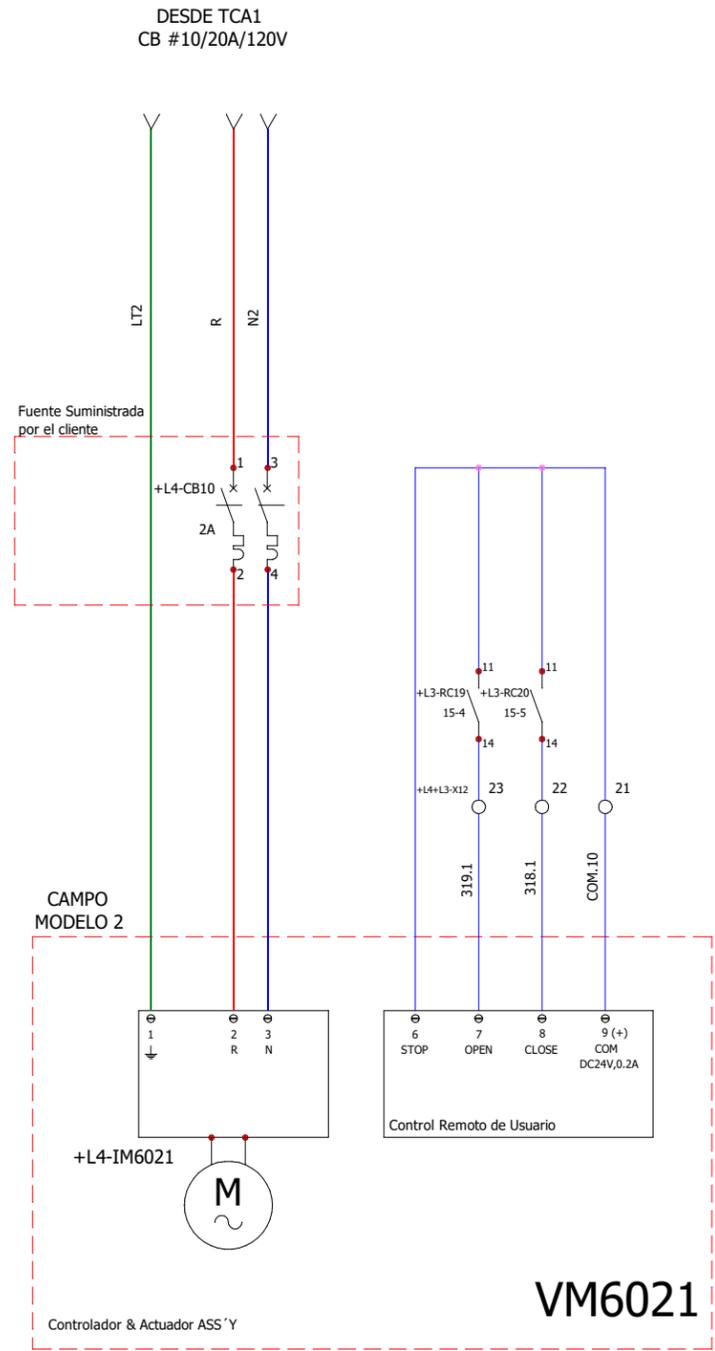
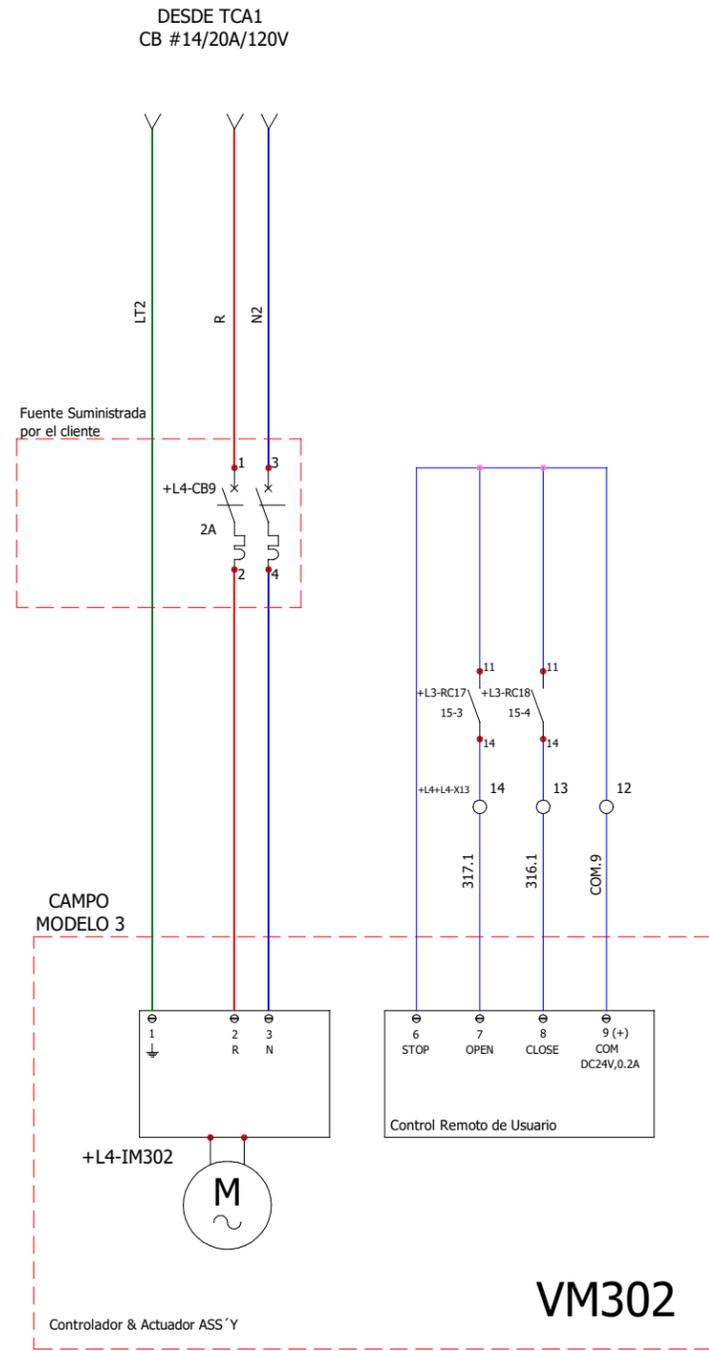
UBICACION: PANEL DE CONTROL PRINCIPAL (+L3) Y AREA DE PRUEBAS EN "CAMPO"

FECHA: 01/12/2017
ESCALA: N/A
DWG. NO:
AREA: INGENIERIA DE PROYECTOS
Dibujado por: Gerardo Mora

ControlSoft

Revizado/Aprobado por:
Ing. Cesar Barquero

Indice
0
Hoja
30



VALVULA MOTORIZADA ON/OFF

VALVULA MOTORIZADA ON/OFF

- CAJAS DE CONEXIONES
- +L4 (EN CAMPO)
 - +L1 = (C.J M1)
 - +L2 = (C.J M1.1)
 - +L3 = (C.J M2)
 - +L4 = (C.J M3)
 - +L5 = (C.J M4)

elecworks

ControlSoft S.A
Ofibodegas Sta Rosa, bodega #33
Sto Domingo de Herredia
Costa Rica

Proyecto n° : ICE IN - L003

LABORATORIO HIDRAULICO - CSD
DIAGRAMA DE CABLEADO CONTROL Y POTENCIA DE VALVULAS

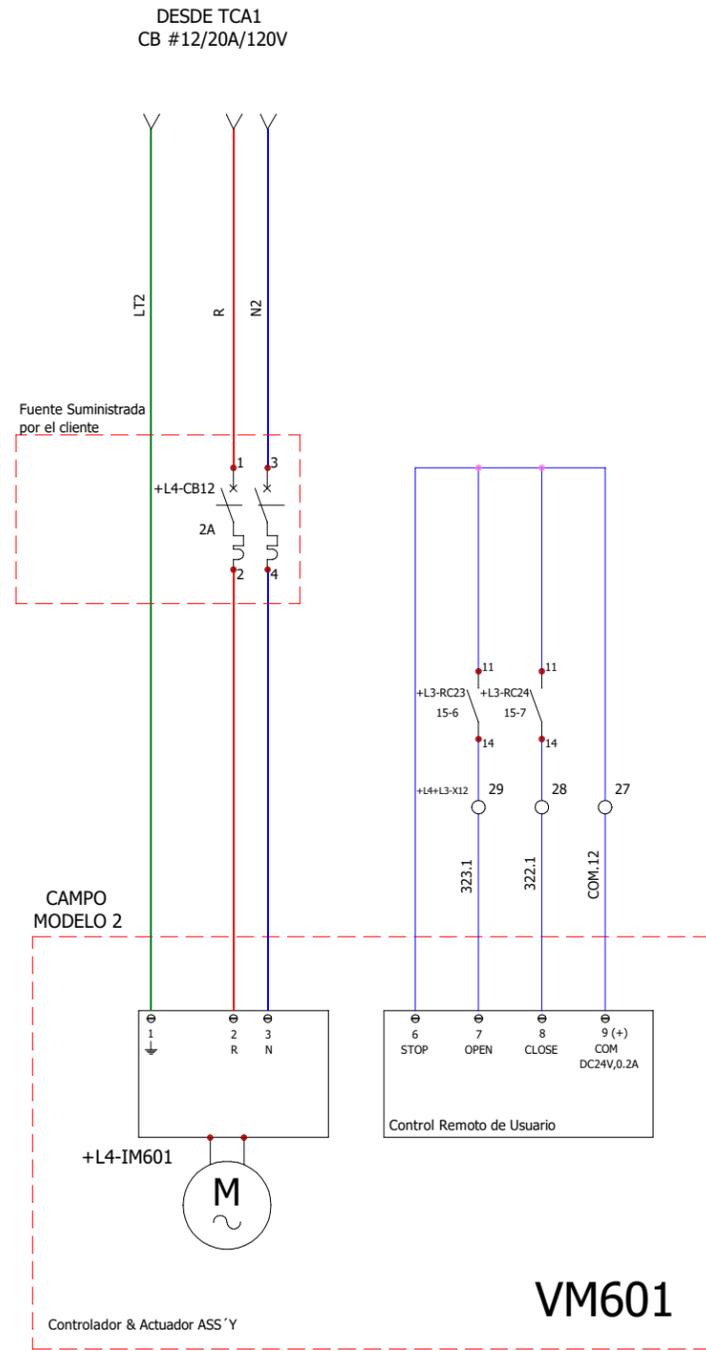
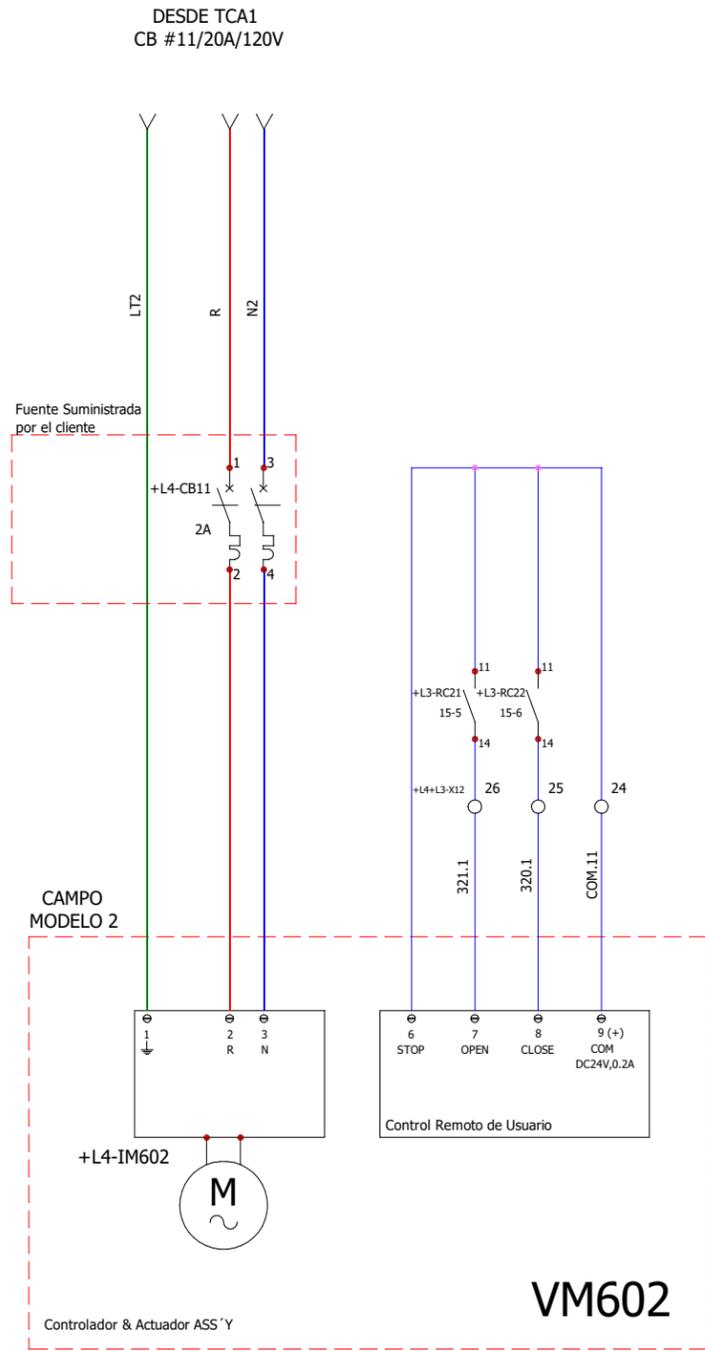
UBICACION: PANEL DE CONTROL PRINCIPAL (+L3) Y AREA DE PRUEBAS EN "CAMPO"

FECHA: 01/12/2017
ESCALA: N/A
DWG. NO:
AREA: INGENIERIA DE PROYECTOS
Dibujado por: Gerardo Mora

Revizado/Aprobado por:
Ing. Cesar Barquero

Indice
0
Hoja
31





- CAJAS DE CONEXIONES
- +L4 (EN CAMPO)
 - +L1 = (C.J M1)
 - +L2 = (C.J M1.1)
 - +L3 = (C.J M2)
 - +L4 = (C.J M3)
 - +L5 = (C.J M4)

elecworks

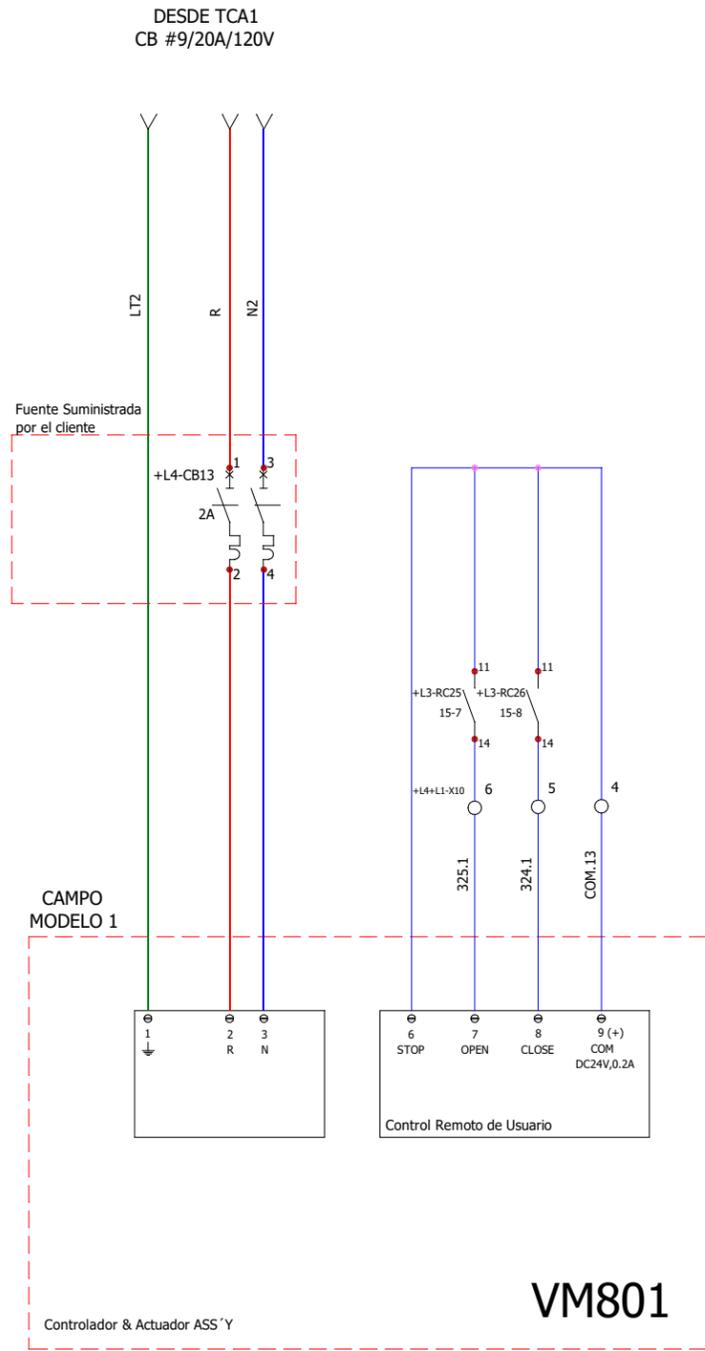
ControlSoft S.A
Ofibodegas Sta Rosa, bodega #33
Sto Domingo de Herredia
Costa Rica

LABORATORIO HIDRAULICO - CSD
DIAGRAMA DE CABLEADO CONTROL Y POTENCIA DE VALVULAS

FECHA: 01/12/2017
ESCALA: N/A
DWG. NO:
AREA: INGENIERIA DE PROYECTOS
Dibujado por: Gerardo Mora

Revizado/Aprobado por:
Ing. Cesar Barquero

Indice
0
Hoja
32



- CAJAS DE CONEXIONES
- +L4 (EN CAMPO)
 - +L1 = (C.J M1)
 - +L2 = (C.J M1.1)
 - +L3 = (C.J M2)
 - +L4 = (C.J M3)
 - +L5 = (C.J M4)

elecworks

ControlSoft S.A
 Ofibodegas Sta Rosa, bodega #33
 Sto Domingo de Herredia
 Costa Rica

Proyecto n° : ICE IN - L003

LABORATORIO HIDRAULICO - CSD

DIAGRAMA DE CABLEADO CONTROL Y POTENCIA DE VALVULAS

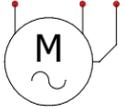
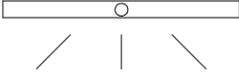
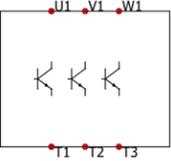
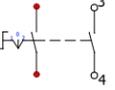
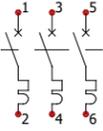
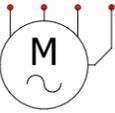
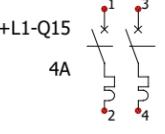
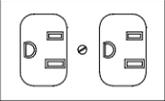
UBICACION: PANEL DE CONTROL PRINCIPAL (+L3) Y AREA DE PRUEBAS EN "CAMPO"

FECHA: 01/12/2017
 ESCALA: N/A
 DWG. NO:
 AREA: INGENIERIA DE PROYECTOS

Dibujado por:
 Gerardo Mora

Revizado/Aprobado por:
 Ing. Cesar Barquero

Indice
 0
 Hoja
 33

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Fuente de Poder Monofasica		Motor Monofasico		Rele de Control				
	Interruptor NC		Lampara de Iluminacion		Contacto NC				
	Variador de Frecuencia		Selector 2 Posiciones						
	Disyuntor Termo-magnetico Tripolar		Boton Paro de Emergencia Tipo hongo NC						
	Transformador de Control Monofasico		Disyuntor Termo-magnetico Unipolar						
	Motor Trifasico		Disyuntor Termo-magnetico Bipolar						
	Conexion a Tierra		Termostato Contacto NC						
	Borne de Conexion		Sensor Analogo						
	Borne Seleccionador Fusible unipolar		Salida de Tomacorriente 120V						
	Contacto NA		Jack de Conexion Tipo Banana Macho - Membra						

ControlSoft S.A Ofibodegas Sta Rosa, bodega #33 Sto Domingo de Herredia Costa Rica	LABORATORIO HIDRAULICO - CSD Tabla de Simbología Electrica del Sistema, Norma Utilizada IEC	FECHA: 01/12/2017		Indice
		ESCALA: N/A		0
Proyecto n° : ICE IN - L003	UBICACION: Planos Electricos Generales del Sistema.	DWG. NO:	Dibujado por: Gerardo Mora	Revizado/Aprobado por: Ing. Cesar Barquero
		AREA: INGENIERIA DE PROYECTOS		
				35

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	Control principal o central, visible en pantalla del Sistema de control
	Lógica de Control Programable
	Señales desde Tablero de Variadores de Frecuencia
	Bombas de Agua 40 HP, 480 VAC, 48 A, factor de potencia 0.82
	Valvula mariposa con actuador eléctrico.
	Medidor magnético de caudal de agua
	Medidor Annubar de caudal de aire
	Medidor de Presión Diferencial
	Previsto Medidor de Presión Manométrica
	Previsto Medidor de Presión Diferencial
	Elemento Local (Transmisor/Indicador/actuador)
	Valvula de Retención

LETRA	DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA
PIT	Indicador y transmisor de presión.	
UT	Indicador y transmisor de nivel.	
LAL	Alarma de nivel bajo.	
LAL	Alarma de nivel alto.	
LALL	Disparo por nivel muy bajo.	
ZT	Transmisor de posición	
PI	Indicador de presión	
FIT	Indicador y transmisor de flujo	
FI	Indicador de flujo	
DPI	Indicador de presión diferencial	
DPIIT	Indicador-Transmisor de presión diferencial	
XC	Control del motor de la bomba	
ZY	Posicionador	
ZSC	Interruptor de posición cerrada	
ZSO	Interruptor de posición abierta	
ZIC	Indicador de posición cerrada	
ZIO	Indicador de posición abierta	
MCC	Tablero de Variadores de Frecuencia (Centro de Control de Motores)	
PY	Posicionador de Presión	
ZC	Controlador de Posición	
PC	Controlador de Presión	
LI	Indicador de Nivel	

TAG (Identificación)	Descripción	Marca	Modelo
VM-010	Válvula motorizada ON/OFF	CENTERLINE&EIM	Serie 200/08-B-1-0-4-4-3-1-9&H0030
VM-020	Válvula motorizada ON/OFF	CENTERLINE&EIM	Serie 200/08-B-1-0-4-4-3-1-9&H0030
VM-030	Válvula motorizada ON/OFF	CENTERLINE&EIM	Serie 200/08-B-1-0-4-4-3-1-9&H0030
VM-012	Válvula motorizada ON/OFF	CENTERLINE&EIM	Serie 200/06-B-1-0-4-4-3-1-9&H0015
VM-023	Válvula motorizada ON/OFF	CENTERLINE&EIM	Serie 200/06-B-1-0-4-4-3-1-9&H0015
VM-011	Válvula motorizada ON/OFF	CENTERLINE&EIM	Serie 200/06-B-1-0-4-4-3-1-9&H0015
VM-021	Válvula motorizada ON/OFF	CENTERLINE&EIM	Serie 200/06-B-1-0-4-4-3-1-9&H0015
VM-031	Válvula motorizada ON/OFF	CENTERLINE&EIM	Serie 200/06-B-1-0-4-4-3-1-9&H0015
VM-302	Válvula motorizada ON/OFF	CENTERLINE&EIM	Serie 200/08-B-1-0-4-4-3-1-9&H0030
VM-301	Válvula motorizada Regulable	CENTERLINE&EIM	Serie 200/08-B-1-0-4-4-3-1-9&H0030
VM-6021	Válvula motorizada ON/OFF	CENTERLINE&EIM	Serie 200/03-B-1-0-4-4-3-1-9&H0015
VM-602	Válvula motorizada ON/OFF	CENTERLINE&EIM	Serie 200/04-B-1-0-4-4-3-1-9&H0015
VM-601	Válvula motorizada ON/OFF	CENTERLINE&EIM	Serie 200/06-B-1-0-4-4-3-1-9&H0015
VM-801	Válvula motorizada ON/OFF	CENTERLINE&EIM	Serie 200/04-B-1-0-4-4-3-1-9&H0015
FIT-301	Indicador-Transmisor de Flujo Magnético	Rosemount	8705TSE080C1WONAB3Q4 medidor 873ZEST1AINADA2M4Q4 transmisor
FIT-6021	Indicador-Transmisor de Flujo Magnético	Rosemount	8705TSE040C1WONAB3Q4 medidor 873ZEST1AINADA2M4Q4 transmisor
FIT-602-1	Indicador-Transmisor de Flujo Magnético	Rosemount	8705TSE060C1WONAB3Q4 medidor 873ZEST1AINADA2M4Q4 transmisor
FIT-801	Indicador-Transmisor de Flujo Magnético	Rosemount	8705TSE040C1WONAB3Q4 medidor 873ZEST1AINADA2M4Q4 transmisor
FIT-3A01	Indicador-Transmisor Annubar de Flujo de Aire	Rosemount	3051SFAG020CCHPS100031UA1A5RLQ4M5
FIT-3A02	Indicador-Transmisor Annubar de Flujo de Aire	Rosemount	3051SFAZG030CCHPS100031UA1A5RLQ4M5
DPIIT-801	Indicador-Transmisor de Presión Diferencial	Rosemount	3051SICD1A2A11A1AM5Q4T1 305RC32B11B4
DPIIT-601	Indicador-Transmisor de Presión Diferencial (un solo instrumento con 4 previstos de medición)	Rosemount	3051SICD1A2A11A1AM5Q4T1 305RC32B11B4
DPIIT-A01	Indicador-Transmisor de Presión Diferencial de Agua	Rosemount	3051SICD1A2A11A1AM5Q4T1 305RC32B11B4
DPIIT-A02	Indicador-Transmisor de Presión Diferencial de Aire	Rosemount	3051SICD0A2A12A1AM5Q4T1 304RT132B11VC moníford
PIT-801	Indicador-Transmisor de Presión Manométrica	Rosemount	2051TG1A2B21A5SM5B4Q1T4 medidor 306RT12A11 moníford
PIT-301-601-602-6021	Indicador-Transmisor de Presión Manométrica (un solo instrumento con 4 previstos de medición)	Rosemount	2051TG1A2B21A5SM5B4Q1T4 medidor 306RT12A11 moníford
LIT-T001	Indicador-Transmisor de Nivel de Radar de Onda Guiada	SITRANS-LG200	7ML1304-1AA01-1AB0 medidor 7ML1300-1AA110AAD0C11 transmisor
PIT-302	Indicador-Transmisor de Presión Manométrica (-6 a +6 bar)	ND	ND
MV-01-02-03	Medidores de Velocidad Tubo Pitot. Entendemos que los mismos son portátiles y que se interrogan con dispositivos portátiles y que no se conectan al sistema de control, de acuerdo con el modelo de referencia.	ARMFIELD	modelos H30-1H, H30-2H y H30-3H

PLANOS DE REFERENCIA	REVISO	DISEÑO	DIBUJO
	RBA	RBA	BPA
	RBA	RBA	BPA
	RBA	RBA	BPA



INGENIERIA Y CONSTRUCCION
CENTRO DE SERVICIO DISEÑO
AREA DE INGENIERIA DE POTENCIA
Y PLANTAS



LABORATORIO HIDRAULICO – CSD
MODERNIZACION

DIAGRAMA DE INSTRUMENTACION Y TUBERIA
NOMENCLATURA Y SIMBOLOGIA

ETAPA: DISEÑO
FECHA: MAYO 2016
ESCALA: INDICADA

1

2

3

4

5

6

1

2

3

4

5

6

