

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL CON PLATAFORMAS DE DESARROLLO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE MEZCLA DE CONCRETO EN PLANTA CONCRETERA

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Carlos E. Centeno A.
para optar al título de
Ingeniero Electricista.

Caracas, octubre de 2017

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL CON PLATAFORMAS DE DESARROLLO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE MEZCLA DE CONCRETO EN PLANTA CONCRETERA

PROFESOR GUÍA: Prof. Jose Romero

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Luis Güette

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Carlos E. Centeno A. para optar
al título de Ingeniero Electricista.

Caracas, octubre de 2017

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 08 de noviembre de 2017

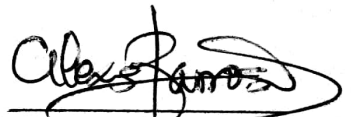
Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller **Carlos E. Centeno A.**, titulado:

***"DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL CON PLATAFORMAS DE
DESARROLLO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE MEZCLA
DE CONCRETO EN PLANTA CONCRETERA"***

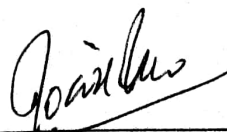
Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de **Ingeniero Electricista en la mención Industrial**, sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor y lo declaran **APROBADO** y con **Mención Honorífica**.



Prof. Mercedes Arocha
Jurado



Prof. Alexis Barroso
Jurado



Prof. José Romero
Guía

A Dios.

Por iluminarme, darme siempre fuerzas y la madurez necesaria para superar todos los obstáculos que se presentaron en el trayecto para llegar hasta aquí.

A mis padres.

Quienes me dieron la formación, los valores, el amor y todo lo necesario para convertirme en quien soy hoy. Por siempre haberme brindado el apoyo, los consejos y las herramientas para seguir siempre hacia delante y triunfar.
¡Gracias por todo! ¡Este triunfo es nuestro!

A mis hermanos.

Quienes me ayudaron a formar mi carácter y ser quién soy hoy. Quienes siempre creyeron en mí sin importar las adversidades y por quienes luché día y noche para alcanzar un futuro mejor entre y para todos. ¡Gracias por todo! ¡Este triunfo es nuestro!

A mis amigos.

Puedo mencionar a muchos de mi colegio, de la universidad, de El Paraíso, de la universidad y de la vida; sin embargo, me extendería demasiado. Para no caer en textos demasiado largos, quiero dedicar este logro a mis amigos de La Gentuza. Gerardo, Juan, Yermael, Esteban y Carlos Mendez. Mi equipo, mi grupo, mis amigos. Sin ellos esta batalla hubiese sido infinitamente más difícil de lo que fue y acompañado el camino siempre es mejor. Gracias infinitas, este triunfo también es para ustedes.

A mis profesores.

Quienes me dieron las herramientas y me guiaron por el camino correcto para convertirme en un Ingeniero con ética, excelencia y capaz de explotar su potencial.

A Recreaciones Aventura.

Por abrirme sus puertas para crecer, conocer y poner en práctica mi potencial. Por ayudarme a convertirme en una persona capaz de alcanzar sus metas con excelencia. ¡Gracias por todo y por tanto!

A Corriente estudiantil.

Al equipo de gente honesta, justa y trabajadora con quien me formé, crecí y tuve el honor de ser parte. ¡Gracias por enseñarme tantas cosas y marcar mi futuro para siempre!

A MaryCarmen Rincones.

Mi novia, mi compañera y mi amiga. 6 y medio de los 8 años que estudié has estado a mi lado y sigues aquí conmigo. Gracias por apoyarme y estar aquí a cada paso del camino. ¡Te Amo! ¡Este logro es nuestro!

RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS

El autor gustaría de agradecer y reconocer a las siguientes personas por su fundamental participación y aporte en la realización de este trabajo especial de grado:

Ing. Luis Güette. Por ser mi tutor mi compañero y mi guía. Muchas gracias por todo hermano. Este éxito te lo debo a ti, a tus enseñanzas, tu sabiduría y tu paciencia. Lucharé y me esforzaré por ser tan capaz y exitoso como tú lo eres y serás.

Ing. Jhonny Martinez. Quien aun sin ser mi tutor, me apoyó como si lo fuera. Muchísimas gracias por todo el apoyo que me diste aunque no era tu obligación. Seguiré trabajando por que todo este esfuerzo invertido no sea en vano!

Profa. Mercedes Arocha. ¡A quien todos consideramos como una madre en la escuela! Gracias por tenernos cariño, enseñarnos aun sin ver clase con usted y más si tenemos el honor de cursar una asignatura con su docencia. Gracias por escucharnos, orientarnos y enseñarnos en todas las áreas de la vida fuera de la escuela.

Prof. Pedro Pinto. Por siempre ser un apoyo y una palabra sincera a pesar de que no nos guste tanto la honestidad.

Prof. Jose Romero. Por ser un profesor guía ejemplar. Por siempre estar a la disposición y siempre tener aportes justos y de altura para guiar este trabajo a la excelencia.

Eduardo Centeno. Por ser mi mentor, mi modelo a seguir y mi ejemplo.

Lucharé por siempre ser tan correcto y exitoso como usted. ¡Gracias por todo!

Coraliz Arévalo. Mi madre, mi luz, mi honor y mi todo. Cada materia, cada examen y cada paso que dí estuviste aquí conmigo. ¡Gracias! ¡Espero que siempre lo sigas estando!

Ing. Carlos Mendez. Por mostrarme que no hay que tenerle miedo a los retos grandes si no todo lo contrario, hay que tenerle miedo a los sueños pequeños. Gracias por guiarme tanto en lo político, como lo académico y lo personal.

María Auxiliadora Rojas. Por siempre estar a la orden y tener la mejor disposición de ayudar. Por hacer un trabajo impecable y excelente y gracias al cual me he visto beneficiado y me encuentro aquí hoy.

Prof. Raul Arreaza. Sin duda la eminencia más grande que he tenido el honor de conocer y ver clases. Por enseñarnos a usar la cabeza y el entendimiento. Por insitarnos a ser siempre más y ver más allá de nuestras narices.

Al Prof. Juan Carlos QEPD. Gracias por tu consejo de estudiar en la gloriosa UCV. Que Dios te tenga en su gloria.

Carlos E. Centeno A.

**DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL CON
PLATAFORMAS DE DESARROLLO
PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO
DE MEZCLA DE CONCRETO EN PLANTA
CONCRETERA**

Prof. Guía: Prof. Jose Romero. **Tutor Industrial:** Ing. Luis Güette. **Tesis.** Caracas, Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. **Mención Industrial.** Año 2017, 148 pp.

Palabras Claves: Concreto, Arduino, proceso, planta, sistema, batch, comunicación, HMI, programación, dispositivo.

Resumen.- Se realizó el diseño de un sistema de control con plataformas de desarrollo para la automatización del proceso de mezcla de concreto en planta concretera, para lo cual, se documentó el proceso de mezclado del concreto y sus distintas técnicas, se documentó sobre las normativas vigentes referentes al proceso y estándares de calidad, se comparó la factibilidad de implementar el sistema de control con plataformas de desarrollo vs. PLC, se diseñó el esquema conceptual de la planta, se definieron los equipos e instrumentación para el control, se definió la interfaz humano-máquina (HMI) del sistema, se diseñaron los tableros de control, se diseñaron las canalizaciones eléctricas para el sistema de control propuesto, se programaron los controladores definidos, se desarrolló el sistema de HMI seleccionado y finalmente se realizó la validación de la programación de los dispositivos. La principal necesidad del cliente es la de automatizar la máquina para reducir costos de operación y garantizar que se pueda realizar y repetir la mezcla con una mayor precisión que la actual. Se direccionó el proyecto a la utilización de Arduinos y una aplicación para dispositivos móviles como HMI para el control y supervisión de forma automática y remota. El diseño se realizó hasta la fase de ingeniería de detalle y queda a disposición de la empresa para su implementación.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	III
RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN	IX
ÍNDICE GENERAL	X
LISTA DE FIGURAS	XVII
LISTA DE TABLAS	XIX
LISTA DE ACRÓNIMOS	XXI
INTRODUCCIÓN	1
EL PROBLEMA	3
1.1. Objetivo general	4
1.2. Objetivos específicos	4
1.3. Alcance	4
1.4. Limitaciones	5
MARCO TEÓRICO	6
2.1. Concepto general	6
2.2. Plantas de mezclado de concreto	7
2.3. Proceso tipo batch	8

2.4.	Modernización	8
2.5.	Control automático	9
2.5.1.	Elementos del control	10
2.5.2.	Relés	10
2.5.3.	Sensores	13
2.5.4.	Medición de peso	13
2.5.5.	Plataformas de desarrollo	14
2.5.6.	Arduino	14
2.5.7.	Raspberry Pi	15
2.5.8.	Lenguaje de programación C	15
2.5.9.	Lenguaje de programación Node.js	15
2.5.10.	Base de datos MongoDB	16
2.5.11.	Comunicación serial	16
2.5.12.	RS-485	17
2.5.13.	HMI - Human-Machine Interface (Interfaz humano-máquina)	17
2.5.14.	Front-end y back-end	17
2.5.15.	Ionic	17
2.5.16.	Tecnología de comunicación HTTP/WebSocket	18
2.6.	Elementos eléctricos de fuerza	18
MARCO METODOLÓGICO		21
3.1.	Documentación del proceso de mezclado de concreto y sus distintas técnicas	21
3.2.	Documentación de las normativas vigentes referentes al proceso y estándares de calidad	21

3.3. Comparación de la factibilidad de implementar el sistema de control con plataformas de desarrollo vs. PLC	22
3.4. Diseño del esquema conceptual de la planta	22
3.5. Definición de los equipos e instrumentación para el control	22
3.6. Definición de la interfaz humano-máquina (HMI) del sistema	23
3.7. Diseño de las canalizaciones eléctricas para el sistema de control propuesto	23
3.7.1. Capacidad de corriente (ampacidad)	24
3.7.2. Caída de tensión	24
3.7.3. Capacidad de cortocircuito	25
3.8. Diseño del tablero de control	26
3.9. Programación los controladores definidos	27
3.10. Desarrollo del sistema de HMI seleccionado	28
3.11. Validación de la programación de los dispositivos	29
DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL	30
4.1. Documentación del proceso de mezclado de concreto y sus distintas técnicas	30
4.1.1. Definición	30
4.1.2. Componentes	30
4.1.3. Preparación y colación	31
4.1.4. Principales características del concreto	32
4.1.5. Tipos de concreto	32
4.1.6. Control de calidad	33
4.1.7. La relación triangular	33
4.1.8. Diseño de la mezcla	35

4.2.	Documentación de las normativas vigentes referentes al proceso y estándares de calidad	35
4.3.	Comparación de la factibilidad de implementar el sistema de control con plataformas de desarrollo vs. PLC	37
4.4.	Diseño del esquema conceptual de la planta	39
4.4.1.	Esquema actual de la planta de concreto	39
4.4.2.	Esquema propuesto para la planta de concreto	41
4.5.	Definición de los equipos e instrumentación para el control	44
4.5.1.	Arduino	45
4.5.2.	Multiplexador de señal	47
4.5.3.	Relés	48
4.5.4.	Raspberry Pi	49
4.5.5.	Router Wi-Fi	50
4.5.6.	Celdas de carga	51
4.5.7.	Transmisor/indicador de peso	51
4.5.8.	Sensores	52
4.6.	Definición de la interfaz humano-máquina (HMI) del sistema	53
4.7.	Diseño de las canalizaciones eléctricas para el sistema de control propuesto	54
4.7.1.	Criterios	54
4.7.2.	Alimentador del tablero 1	55
4.7.3.	Alimentador del tablero 3	58
4.7.4.	Canalizaciones de los motores alimentados por el tablero 1	60
4.7.5.	Canalizaciones de los equipos de medición, sensores y fuentes, alimentados por el tablero 2	61

4.7.6. Canalizaciones del motor de las aspas de la planetaria, alimentado por el tablero 3 a 440 V	61
4.7.7. Cableado de los dispositivos de control	62
4.8. Diseño del tablero de control	62
PROGRAMACIÓN, VALIDACIÓN Y RESULTADOS	66
5.1. Programación de los controladores definidos	66
5.1.1. Operación automática/remota	67
5.1.2. Operación manual/local	73
5.1.3. Consideraciones	74
5.2. Desarrollo del sistema de HMI seleccionado	75
5.3. Validación de la programación de los dispositivos	81
5.4. Resultados	82
CONCLUSIONES	86
RECOMENDACIONES	88
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
BIBLIOGRAFÍA	92
PLANO CANALIZACIONES	93
PLANO CANALIZACIONES - CONTINUACIÓN	94
DIAGRAMA UNIFILAR	95
DIAGRAMA TRIFILAR	96
DIAGRAMA DE CONTROL	97

DIAGRAMA DE CONTROL - CONTINUACIÓN	98
DIAGRAMA DE CONTROL - CONTINUACIÓN	99
DIAGRAMA DE SENSORES	100
DIAGRAMA DE SENSORES - CONTINUACIÓN	101
DIAGRAMA DE SENSORES - CONTINUACIÓN	102
TABLERO 1 - Vista interior	103
TABLERO 1 - Vista frontal	104
TABLERO 1 - Vista lateral derecha	105
TABLERO 1 - Vista lateral izquierda	106
TABLERO 1 - Vista inferior	107
TABLERO 2 - Vista interior	108
TABLERO 2 - Vista frontal	109
TABLERO 2 - Vista lateral derecha	110
TABLERO 2 - Vista lateral izquierda	111
TABLERO 2 - Vista inferior	112
TABLERO 3 - Vista interior	113
TABLERO 3 - Vista frontal	114

TABLERO 3 - Vista lateral derecha	115
TABLERO 3 - Vista lateral izquierda	116
TABLERO 3 - Vista inferior	117
LISTADO DE BORNES	118

LISTA DE FIGURAS

2.1. Esquema relé	11
2.2. Esquema optoacoplador	12
2.3. Esquema contactor	19
2.4. Esquema motor trifásico	20
4.1. Relación triangular	34
4.2. Esquema conceptual de la planta actual	41
4.3. Esquema conceptual de la planta actual	44
4.4. Arduino Mega 2560 R3	46
4.5. Módulo multiplexador de señal	47
4.6. Módulo de 16 relés para Arduino con protección optoacoplador . .	48
4.7. RS-485 / Modbus Shield para Arduino / Raspberry	49
4.8. Raspberry Pi 3	50
4.9. Router Wi-Fi TPLINK Wr841hp	50
4.10. Celda de carga marca Laumas, modelo CBL	51
4.11. Transmisor/Indicador de peso analógico y digital marca Laumas, modelo TLS	52
4.12. Sensor	52
4.13. Esquema de comunicación HMI-Arduino	53
5.1. Diagrama de flujo del programa de control de forma remota . . .	70
5.2. Sensores de nivel de los tanques y silos	71
5.3. Sensores de final de carrera	71

5.4. Entrada analógica de peso	72
5.5. Vista general de la simulación	72
5.6. HMI - Formulario receta de mezcla	76
5.7. HMI - Vista principal	77
5.8. HMI - Mensaje de confirmación de parada	78
5.9. HMI - Mensaje de alerta	79
5.10. HMI - Funcionamiento automático	80
5.11. HMI - Funcionamiento manual	80
5.12. HMI - Historial	81
5.13. HMI - Historial	83
5.14. HMI - Historial	84
5.15. HMI - Historial	84
5.16. HMI - Historial	85

LISTA DE TABLAS

4.1. Tabla comparativa entre controladores programables	38
4.2. Equipos e instrumentación para el control	45
4.3. Potencias de motores trifásicos y sus corrientes según la tabla 430.250 del CEN	55
4.4. Ampacidad de conductores 310.16. Factor de corrección por tem- peratura 310.16 a $41^{\circ}C - 45^{\circ}C$. Factor de corrección por más de tres conductores portadores de corriente 310.15 (B)(2)(a).	56
4.5. Tabla de cálculos de caída de tensión para distintos calibres del alimentador del tablero 1	57
4.6. Cálculo de área en circular mils para el corto circuito	58
4.7. Potencias de motores trifásicos y sus corrientes según la tabla 430.250 del CEN	58
4.8.	59
4.9.	59
4.10.	59
4.11. Canalizaciones tablero 1. Nota: Conductor de tierra seleccionado según lo establecido en la tabla 250.66 del CEN	60
4.12.	60
4.13.	61
4.14.	61
4.15. Listado de elementos eléctricos	63
5.1. Tabla de entradas y salidas	66

26.1. Bornera de entrada de fuerza. Tablero 1	118
26.3. Bornera de salida de fuerza. Tablero 1	118
26.5. Bornera de salida de fuerza. Tablero 1	121
26.7. Bornera de entrada de control. Tablero 1	123
26.9. Bornera de entrada de fuerza. Tablero 2	124
26.11Bornera de entrada de control. Tablero 2	125
26.13Bornera de salida de control. Tablero 2	125
26.15Bornera de entrada de fuerza. Tablero 3	127
26.17Bornera de salida de fuerza. Tablero 3	128
26.19Bornera de entrada de control. Tablero 3	128

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

CEN: Código Eléctrico Nacional.

USB: *Universal Serial Bus* (Bus serial universal).

HMI: *Human-Machine Interface* (Interfaz humano-máquina).

PLC: *Programmable Logic Controler* (Controlador lógico programable).

LED: *Light-Emitting Diode* (Diodo emisor de luz).

DC: *Direct current* (Corriente continua).

AC: *Alternating current* (Corriente alterna).

SBC: *Single Board Computer* (Computadora de placa única).

RAM: *Random Access Memory* (Memoria de acceso aleatorio).

COVENIN: Comisión Venezolana de Normas Industriales.

PVC: Policloruro de vinilo.

IEC: *International Electrotechnical Commission*. (Comisión internacional electrotécnica).

HTTP: *Hypertext Transfer Protocol* (Protocolo de transferencia de hipertexto).

UART: *Universal Asynchronous Receiver-Transmitter* (Receptor-transmisor universal asíncrono).

PWM: *Pulse Width Modulation* (Modulación por ancho de pulso).

AWG: *American Wire Gauge* (Calibre de cable americano).

THHW: *Thermoplastic High Heat Moisture (Water) Resistant* (Resistente a altas temperaturas y humedad (agua)).

Bit: *Binary Digit* (Dígito binario).

Switch: Interruptor.

INTRODUCCIÓN

El proceso de mezclado del concreto u hormigón es de muy larga data y de gran importancia en el área de la construcción. Este ha pasado de ser un proceso muy empírico, a uno que requiere de mucha precisión y calidad. En la actualidad, aún existen empresas que realizan sus mezclas de forma manual con operadores humanos haciendo todo el trabajo; sin embargo, los grandes avances en tecnología de control y automatización dejan este hecho casi injustificable.

El concreto es básicamente una mezcla de cemento con agua. Dependiendo de las necesidades, se pueden incluir otros elementos sólidos o líquidos para obtener las características requeridas. Dependiendo del uso que se le va a dar al hormigón, es de vital importancia que se cumplan con elevada exactitud los requerimientos de la mezcla para obtener el tipo de concreto deseado y con las propiedades requeridas. Hoy en día, la automatización brinda muchos beneficios, tales como: la reducción de costos, disminuir los errores y garantizar la repetitividad de procesos sensibles como lo es la producción de concreto.

La constructora Temprega tiene un proceso de mezclado de concreto que se lleva a cabo de forma manual. Este procedimiento tiene la necesidad de la intervención humana de forma constante, lo cual ocasiona errores importantes que resultan en toneladas de mezcla defectuosa que se termina desechando. Además, el resultado de la mezcla no siempre cumple con la calidad requerida para el propósito en el cual se va a emplear. Esto les lleva a la necesidad de solicitar la automatización del proceso a la empresa 3phasic Solutions.

Este trabajo especial de grado se compone de cinco (5) capítulos. En el Capítulo 1, se hace el planteamiento del problema, el objetivo general, los objetivos

específicos, el alcance y las limitaciones del presente trabajo. En el capítulo 2, se presenta el marco teórico que rige el contenido referente al este trabajo de grado. En el capítulo 3, se presenta el marco metodológico que se utilizó para alcanzar los objetivos específicos planteados en este trabajo. En el capítulo 4, se presentan en detalle la ejecución de las metodologías utilizadas para el cumplimiento de cada uno de los objetivos, así como los resultados de cada uno. En el capítulo 5, se presentan la validación del sistema de control y los resultados obtenidos a través de la misma. Por último, al final de este escrito se presentan las conclusiones, recomendaciones, la bibliografía consultada, las referencias bibliográficas y los anexos que dan soporte a lo elaborado durante la ejecución de este trabajo.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

Una obra de construcción civil requiere una cantidad determinada de concreto con unas características previamente obtenidas. Dicha obra recibe el concreto y se procede a su vaciado en el lugar donde se requiere. A su vez, se debe medir la resistencia del concreto y esto se hace a través de un proceso que implica tomar un cilindro de la mezcla de unas determinadas medidas esperar un mes aproximadamente a que este fragüe y entonces se le aplica una prueba en la que se somete a una fuerza de compresión hasta que se fractura. Esta prueba arroja el nivel de resistencia que posee ese determinado concreto.

Ocurre algo similar en el caso que se requiera llevar hasta un piso veinte el concreto que se va a utilizar en esa y las plantas superiores. Si el concreto obtenido no tiene la fluidez necesaria, será imposible hacerlo a través de tuberías impulsadas por bombas, por mencionar un caso.

Entonces, es vital que el concreto a utilizar tenga las propiedades definidas previamente por los encargados de la construcción. De esta manera, recae sobre la empresa concretera la responsabilidad de producir una mezcla de calidad y que cumpla con los requerimientos solicitados por el cliente.

1.1. Objetivo general

Diseñar el sistema de control con plataformas de desarrollo para la automatización del proceso de mezcla de concreto en una planta concreteira.

1.2. Objetivos específicos

- Documentar el proceso de mezclado de concreto y sus distintas técnicas.
- Documentar las normativas vigentes referentes al proceso y estándares de calidad.
- Comparar la factibilidad de implementar el sistema de control con plataformas de desarrollo vs. PLC.
- Diseñar el esquema conceptual de la planta.
- Definir los equipos e instrumentación para el control.
- Definir la interfaz humano-máquina (HMI) del sistema.
- Diseñar el tablero de control.
- Diseñar las canalizaciones eléctricas para el sistema de control propuesto.
- Programar los controladores definidos.
- Desarrollar el sistema de HMI seleccionado.
- Validar la programación de los dispositivos.

1.3. Alcance

El alcance del presente proyecto llega hasta la presentación de la validación del diseño del sistema de automatización de la máquina concreteira. Sin embargo,

el mismo servirá de soporte para su implementación y como antecedente para proyectos similares.

1.4. Limitaciones

Como limitaciones se presentan las instalaciones eléctricas de la planta que al ya estar presentes, no sufrirán modificaciones por las propuestas en este proyecto. A su vez, el surtido de los silos y tanques corre por cuenta de la empresa y no se tiene control sobre eso.

No se posee información técnica de las placas de los motores, por lo que se utiliza la información disponible en el Código Eléctrico Nacional (CEN) para dicho tema.

El diseño de la mezcla corre por cuenta de los ingenieros de la empresa Tempreca, no se tendrá influencia sobre este particular.

Medir la humedad relativa de los agregados de la mezcla de forma automática eleva el costo en una gran medida, por lo que no se considera.

Por último, no se cuenta con equipos físicos para probar el funcionamiento a pequeña escala, por lo que se llevará a cabo una emulación y una validación con elementos simbólicos como LEDs y switch, en vez de contactores.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

El presente proyecto comprende una serie de elementos a considerar que serán brevemente desglosados en el presente capítulo.

2.1. Concepto general

El concreto es uno de los elementos más utilizados en construcción. Se utiliza en edificios, calles, monumentos, entre otros. Este proviene de una mezcla de cemento con agua, la cual, una vez preparada, tiene una fluidez que les permite ser amoldada a la aplicación en la cual se va a emplear. Luego de secarse, el concreto se endurece o fragua, pierde su fluidez y adquiere una resistencia o dureza que es ideal para las aplicaciones mencionadas anteriormente.

Las características que se desean de un concreto específico son principalmente la resistencia y la fluidez. La resistencia se refiere a la fuerza que se le puede aplicar por unidad de superficie sin que este sufra daños. La fluidez es la maleabilidad que tiene el concreto mientras aun se encuentra fresco en presencia de agua, es decir, aún no ha fraguado (no se ha solidificado).

Para obtener una determinada resistencia, fluidez, o ambas, la receta del concreto se modifica variando los ingredientes y sus cantidades. Se puede agregar otros elementos sólidos como lo pueden ser arena y/o piedra, así como otros elementos líquidos que buscan incrementar la resistencia final, disminuir el tiempo

de fraguado, entre otros.

Las características requeridas (resistencia, el tiempo de fraguado, la fluidez, entre otras) se obtienen a través de un proceso llamado diseño de mezcla. Este diseño lo realizan los ingenieros civiles encargados de la obra tomando en cuenta las características específicas que se desean obtener del concreto. Dicho diseño arroja las proporciones necesarias de los elementos, los tipos de agregados y aditivos necesarios para tal fin, entre otros.

Cuando se va a realizar una construcción, se determina el tipo de concreto que se requiere considerando distintos factores, como por ejemplo: la resistencia y la fluidez que deben tener para la determinada aplicación. La utilidad o no del concreto será determinada a través de pruebas que toman tiempo, hasta un mes aproximadamente y aquí radica la importancia de garantizar la calidad y la repetitividad del concreto que se desea obtener.

2.2. Plantas de mezclado de concreto

El proceso de producción de concreto se puede llevar a cabo de distintas maneras. La preparación del concreto requiere tener disponibles los materiales sólidos, el agua y el aditivo líquido de ser el caso. La dosificación puede ser llevada a cabo también de distintas maneras sobre una mezcladora, ya sea por palas, tobos, silos, tanques, entre otros.

En el caso particular del estudio presente, se cuenta con tres silos que contienen los agregados sólidos, entre ellos piedra, cemento y arena. Dichos silos tienen conectados unos motores que realizan la apertura de sus tapas y vierten el material sobre una mezcladora llamada planetaria. Esta planetaria cuenta con un motor que hace girar unas aspas que llevan a cabo el proceso de mezcla. Adicional a estos ingredientes sólidos, se agregan a la planetaria también agua y

un aditivo líquido específico para la mezcla requerida, a través de dos motores que accionan dos bombas conectadas a dos tanques que contienen los mencionados líquidos. El conjunto de todos estos elementos, los equipos eléctricos y otros que se mencionarán en breve, conforman lo que se denomina la planta.

2.3. Proceso tipo batch

Se entiende por proceso el conjunto de actividades realizadas entre si que, partiendo de una o más entradas, los transforma generando un resultado. Los procesos pueden ser clasificados de distintas maneras: continuos, discretos o tipo batch.

En líneas generales, un proceso tipo batch produce una cantidad finita de producto que fluye libremente mediante la ejecución ordenada de operaciones y actividades de proceso.

El proceso de mezclado del concreto abordado en el presente trabajo, se clasifica como un proceso tipo batch ya que mediante una serie de instrucciones ordenadas y preconcebidas se produce una cantidad finita de producto (concreto). [1]

2.4. Modernización

En líneas generales, este es un proceso sencillo, que conlleva agregar sólidos y líquidos. Sin embargo, al ser un proceso sensible, requiere de exactitud para poder garantizar la repetitividad y la reproducción del mismo. Además, gracias a los avances tecnológicos en materia de automatización y control, es injustificable la acción humana directa sobre procesos industriales, repetitivos y de precisión como este. Entonces, surge la necesidad de controlar las proporciones y cantidades que se agregan a la mezcla de forma automática. Existen distintas maneras de lograr

este control, puede hacerse por peso, por tiempo u otras.

La opción de controlar las cantidades agregadas por tiempo, se puede lograr a través de una heurística en la cual los operadores de la máquina miden el tiempo que requiere cada elemento de la planta en verter la cantidad necesaria de su ingrediente. Luego los operadores repiten el tiempo de cada elemento obteniendo aproximadamente la misma cantidad cada vez.

La opción de controlar las cantidades por peso es más exacta que la anterior, debido a que los agregados sólidos no descienden de los silos siempre con la misma velocidad ya que estos se suelen adherir a las paredes, se acumula en la apertura, entre otros posibles eventos. Al tener equipos que midan el peso agregado directamente en la mezcladora, permite tomar la decisión de parar la dosificación a tiempo para que se agregue justo la cantidad necesaria.

Tomando en cuenta la planta del presente estudio, accionar los motores que abren y cierran las tapas de los silos, los motores que accionan las bombas y leer el peso agregado, son tareas que se pueden realizar de forma automática sin la necesidad de un operador humano y con una mayor precisión.

2.5. Control automático

Debido a la necesidad de repetir el proceso con exactitud (garantizar la repetitividad), se presenta la opción de automatizar el proceso, es decir, utilizar equipos e instrumentación que sean capaces de tomar acciones preestablecidas o preconcebidas de forma automática sin la necesidad constante de uno o varios operadores.

La automatización se lleva a cabo utilizando dispositivos lógicos programables que, utilizando un conjunto de instrucciones, permiten medir, tomar acciones

en base a esas mediciones como encender o apagar motores, enviar o recibir información a través de internet, entre muchas otras.

2.5.1. Elementos del control

El conjunto de instrucciones es lo que denominamos programa o código. Este programa no es más que un conjunto de instrucciones organizadas en un determinado lenguaje de programación, el cual es interpretable por el dispositivo lógico y toma las acciones establecidas cuando se cumplen las condiciones necesarias propuestas por el programador. Se define entonces el dispositivo lógico programable como alguno de los numerosos tipos, modelos y marcas de microprocesadores.

Los microprocesadores son dispositivos que son capaces de almacenar el denominado código o programa en su memoria interna y ejecutarlo cuando este se energiza. Estos dispositivos puede ejecutar cada instrucción del programa en cuestión de microsegundos, lo cual ayuda a resolver muchos de los problemas ocasionados por la necesidad de exactitud en las mezclas. Por otra parte, un microprocesador no es un dispositivo capaz realizar todas las tareas necesarias para la producción de concreto por sí solo, es por esto que se agrega toda una lista de elementos e instrumentos periféricos, externos y/o adicionales como relés, contactores, motores, sensores, medidores, entre muchos otros que serán entonces controlados por este y que permiten la comunicación del microprocesador y su programa interno con el exterior.

2.5.2. Relés

Como se mencionó anteriormente, los microprocesadores requieren de elementos externos para comunicarse con el exterior, entre ellos tenemos los relés. Los relés son dispositivos que pueden conmutar a partir de una señal de control que puede ser DC o AC. Al conmutar, los relés activan o desactivan contactos

que pueden conducir también tensiones DC o AC. Estos elementos se utilizan como intermediarios ya que los microprocesadores son dispositivos que manejan pequeñas tensiones y pequeñas corrientes, hablamos de 5 V y 200 mA en sus terminales, por ejemplo. Estos valores no son suficientes para accionar un motor, la bobina de control de un contactor de manera segura, entre otros.

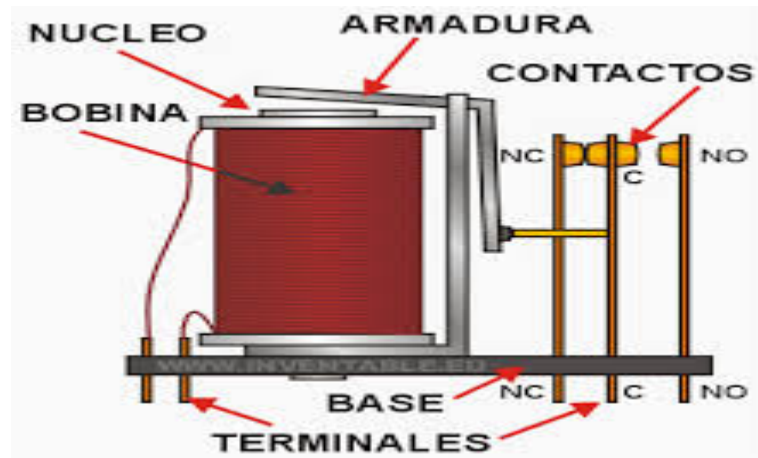


Figura 2.1. Esquema relé

Como se puede apreciar en la figura 2.1, al hacer circular una corriente por la bobina de control, se conmutan los contactos del relé y pueden fungir como interruptores entre la fuente deseada y el equipo a alimentar. Este conjunto se denomina circuito de fuerza.

La mayoría de los relés en la actualidad poseen una circuitería que les permite desacoplarse del circuito de fuerza, esta circuitería electrónica se llama optoacoplador. Los optoacopladores son elementos que reciben la señal eléctrica de control de otro dispositivo, en este caso el microprocesador. Esta señal eléctrica pasa por un diodo emisor de luz y en el otro extremo del dispositivo hay un receptor de luz donde se induce una tensión eléctrica y conmuta entonces a través de un transistor

el contacto que permite el paso de una mayor tensión y corriente. La figura 2.2 representa a continuación lo mencionado:

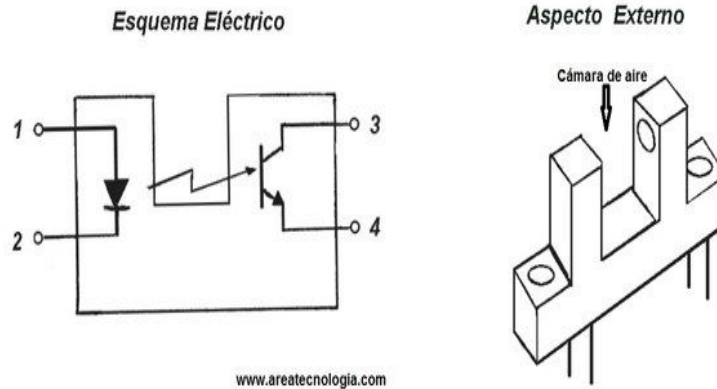


Figura 2.2. Esquema optoacoplador

Lo mencionado anteriormente denota interés en separar lo que son los elementos de control y los elementos de fuerza. Entiéndase por elementos de control a dispositivos como los microprocesadores, sensores, medidores y equipos de fuerza como fuentes, motores, contactores, entre otros.

Normalmente, se separan estos elementos en sus respectivos circuitos de control y circuitos de fuerza, se toman consideraciones diferentes para cada uno, distintos cálculos, calibres de conductores, métodos de conexión y desconexión, entre otros, todo con la finalidad de proteger los dispositivos de control que son más sensibles y vulnerables ante las tensiones y las corrientes manejadas en los circuitos de fuerza, así como posibles interferencias ya que trabajan con distintas frecuencias que pueden verse afectadas por ruido, armónicos y otros. [2].

2.5.3. Sensores

En el mismo ámbito de los circuitos de control tenemos los sensores inductivos y capacitivos. Los sensores inductivos son dispositivos que detectan presencia o miden distancia por la perturbación en el campo magnético que producen debido a la presencia o proximidad de un objeto metálico. Estos son usados en este proyecto como sensores de final de carrera en las tapas de los silos para darle señal al microprocesador que puede apagar el motor ya sea el caso que se encuentre abriendo o cerrando la tapa.

Por otra parte, los sensores capacitivos funcionan detectando presencia o distancia por la perturbación en el campo eléctrico que producen ocasionado por la presencia o proximidad de objetos dieléctricos o no metálicos. Estos son utilizados en este proyecto para detectar presencia de material sólido o líquido, tanto en los silos, como en los tanques. Para efectos de la planta de concreto, se colocan como sensores de nivel bajo que señalizan que dentro del silo o tanque hay suficiente material para realizar al menos un ciclo de concreto completo. La altura a la que se colocan dichos sensores está previamente medida por los operadores de la planta.

Algunos sensores trabajan en ambientes industriales y a una tensión de 220 V AC. Esto implica que para hacer un acople seguro con un microprocesador sea necesario utilizar relés cuya bobina de control sea accionada por dicha señal y que en cambio, sus contactos conmuten una tensión DC que pueda ser procesada por este. [3], [4].

2.5.4. Medición de peso

En otro orden de ideas, el mencionado proceso de medición por peso se lleva a cabo gracias a la colocación de celdas de carga en las bases del elemento que se quiera medir, en este caso la planetaria. Dichas celdas de carga funcionan

por medio de la deformación mecánica de sus componentes, los cuales están conectados a lo que se conoce como puente de Wheatstone y que resulta en una señal eléctrica que va a un dispositivo. Este dispositivo da un resultado de peso luego de totalizar la señal de todas las celdas de carga utilizadas. Este dispositivo es llamado indicador/transmisor de peso y es el encargado de adecuar la señal para su lectura mediante la amplificación y filtrado de la misma. Además, al recibir la señal de forma analógica, este la convierte en digital para enviarla a través de algún protocolo de comunicación serial al microprocesador para que tome las decisiones programadas en su código. [5].

2.5.5. Plataformas de desarrollo

Las plataformas de desarrollo, mejor conocidas como tarjetas de desarrollo, son placas que contienen microcontroladores integrados con distintos dispositivos que permiten su comunicación con el exterior. Estos dispositivos pueden ser puertos USB, Wi-Fi, entradas y salidas digitales o analógicas, entre muchas otras. La finalidad de estas tarjetas es permitir la elaboración de proyectos de forma sencilla y económica, abriendo las puertas al mundo de la programación y los microcontroladores a principiantes e incluso para dar soluciones más simples a programadores con experiencia.

Existen diversas tarjetas de desarrollo en la actualidad, entre ellas destacan el Arduino, el Raspberry Pi, el Wiring, el Netduino, entre otros. [6].

2.5.6. Arduino

Arduino es una compañía de hardware que manufactura placas de desarrollo. A su vez, dichas placas son programadas en entornos de desarrollo que compilan los códigos dependiendo del modelo de la misma. Esta empresa se enfoca en facilitar el uso de la electrónica y la programación de sistemas embebidos en infinidad de

áreas de proyectos. Dichas placas constan básicamente de un microprocesador con entradas y salidas digitales y analógicas, y puertos de comunicación serial, USB, ETHERNET, entre otros. [7].

2.5.7. Raspberry Pi

El Raspberry Pi es un computador de placa única o SBC (Single Board Computer). Esta es una de las tarjetas de desarrollo más utilizadas por su bajo costo y su orientación a la enseñanza. Dicha tarjeta está orientada al uso del lenguaje de programación Node.js. El último modelo liberado es el Raspberry Pi 3 con un procesador Quad-Core de 1.20 GHz, memoria RAM de 1 GB, Wi-Fi y Bluetooth. Estas propiedades hacen al Raspberry una herramienta de desarrollo y comunicación muy poderosa y con muchas ventajas respecto a las demás. [8].

2.5.8. Lenguaje de programación C

C es un lenguaje de programación considerado de medio nivel, ya que contiene estructuras típicas de lenguajes de alto nivel pero la construcción básica del mismo es en bajo nivel. Es uno de los lenguajes de comunicación más populares tanto para software como para aplicaciones y data de los años 70. Específicamente el Arduino es una de las tarjetas de desarrollo que utilizan una adaptación del lenguaje C para el desarrollo de sus programas. [9].

2.5.9. Lenguaje de programación Node.js

Node.js es un entorno multiplataforma de código abierto basado en el lenguaje de programación EMAScript, asíncrono, con entrada y salida de datos en una arquitectura orientada a eventos y basado en el motor V8 de Google. El código del Node.js, a diferencia del JavaScript, se ejecuta en un servidor y no en un

navegador. [10].

2.5.10. Base de datos MongoDB

Es un sistema de base de datos NoSQL orientado a documentos, desarrollado bajo el concepto de código abierto. Este es un sistema que en lugar de guardar los datos en tablas como lo hacen las bases de datos relacionales, guarda las estructuras de datos en documentos con un esquema dinámico, haciendo que la integración de los datos sea más fácil y rápida. [11].

2.5.11. Comunicación serial

Si se habla de los microprocesadores en cuanto a aplicaciones de control y automatización, es fundamental mencionar la capacidad que tienen estos dispositivos de comunicarse con otros que sean también programables, que puedan recibir órdenes y sean capaces de tomar decisiones separadas del dispositivo que envió la orden. En este esquema se presenta lo que sería la comunicación maestro-esclavo, donde es el maestro quien envía las órdenes y el o los esclavos, las reciben y ejecutan.

Esta comunicación se realiza de forma serial, lo que significa que los dispositivos envían y reciben la información, un bit a la vez y uno detrás del otro. Para efectos de este proyecto, basta con mencionar que existen protocolos de comunicación entre los cuales los distintos dispositivos intercambian la información, es como que hablen el mismo idioma. Basta con que uno esté listo para escuchar y el otro envíe el mensaje.

La importancia de esta aplicación radica en que vuelve posible hacer esta comunicación a distancia y de forma inalámbrica. Gracias a esto se puede hablar de un control remoto por parte de un operador o una máquina que supervise el

proceso. [12].

2.5.12. RS-485

Es un estándar de comunicaciones utilizado ampliamente en la industria. El interés se centra sobre este protocolo ya que permite establecer la comunicación serial entre dispositivos con relativa facilidad, a través de grandes distancias (hasta 1.200 metros a una velocidad de 100 kbit/s). Además, por la forma en la que está construido el canal y como se establece la comunicación, este protocolo tiene una gran protección ante el ruido y la interferencia externa. [12].

2.5.13. HMI - Human-Machine Interface (Interfaz humano-máquina)

HMI es el término que se utiliza para referirse al medio a través del cual interactúan el usuario y equipo encargado del control. Este puede tomar la forma de una pantalla táctil, una computadora, un teléfono inteligente u otros. Simplemente se refiere al medio que le permite al usuario dar órdenes y visualizar datos de un proceso.

2.5.14. Front-end y back-end

En diseño de software, el front-end es la parte del mismo que interactúa con el usuario, es la parte visual. Por otra parte, el back-end es el complemento, es la parte lógica que procesa, administra, almacena y ejecuta las acciones necesarias para que el front-end sea algo útil más allá de vistoso. [13].

2.5.15. Ionic

Ionic, es un paquete de desarrollo de software open-source o libre para programar aplicaciones multiplataforma. El mismo está programado en el lenguaje

typescript que está basado en Angular. [14].

2.5.16. Tecnología de comunicación HTTP/WebSocket

El WebSocket es una tecnología que proporciona un canal full-duplex, lo que significa que se puede enviar y recibir información de forma simultánea. Este tipo de comunicación se utiliza frecuentemente en navegadores y servidores web pero también puede utilizarse en cualquier tipo de aplicación cliente/servidor.

Por otra parte, HTTP es el protocolo de comunicación más utilizado en internet. Este permite la transferencia de archivos entre un navegador (cliente) y un servidor web localizado mediante una cadena de caracteres denominada dirección URL (Uniform Resource Locator - Localizador uniforme de recursos). [15], [16].

2.6. Elementos eléctricos de fuerza

Dentro de los elementos de fuerza se tienen los contactores, los motores, las protecciones termomagnéticas, entre muchos otros elementos necesarios para interconectar e instalar de forma funcional y segura todos los dispositivos.

Desde el punto de vista del control, se mencionó que los microprocesadores no están en la capacidad de activar motores. Es por esto que se conectan sus terminales a los relés que funcionan como interruptores entre la fuente y el equipo final a alimentar, que en este caso son los motores. Sin embargo, se utiliza incluso otro dispositivo de conexión y desconexión para el encendido y apagado de estos motores y esos son los contactores. Los contactores son dispositivos que poseen una bobina de control, que al circular una corriente por ella, se activa el contactor y este tiene principalmente dos funciones: abrir un circuito eléctrico si este es normalmente cerrado o cerrar un circuito eléctrico si este es normalmente abierto.

Todos los motores comprendidos en la planta son trifásicos y los contactores utilizados para su alimentación separan entonces el circuito de control que activa su bobina del circuito de fuerza donde circulan las tres fases de alimentación.



Figura 2.3. Esquema contactor

En la figura 2.3 se pueden apreciar lo que serían los terminales de fuerza 1-2-3-4-5-6, los terminales A1 y A2 de la bobina de control los cuales al activares, abren o cierran el circuito que pasa por los terminales de fuerza y en la mayoría de los casos, estos poseen un contacto normalmente abierto como el de 13-14 o pudiese ser normalmente cerrado que es utilizado para hacer enclavamientos eléctricos, entre otras cosas.

Por último, los motores utilizados en la planta son trifásicos en 208 V @ 60 Hz excepto el motor que acciona las aspas de la planetaria, este es de 440 V @ 60 Hz. Los motores trifásicos son elementos que convierten la energía eléctrica en energía mecánica rotacional y accionan distintos elementos como en este caso la apertura y cierre de las tapas de los silos, las aspas de la planetaria, los vibradores que agitan los silos de forma que los agregados sólidos no se queden adheridos a

las paredes del mismo y desciendan con mayor facilidad y las bombas conectadas a los tanques que tienen el agua y el aditivo. En la figura 2.4 se ilustra lo expuesto anteriormente:

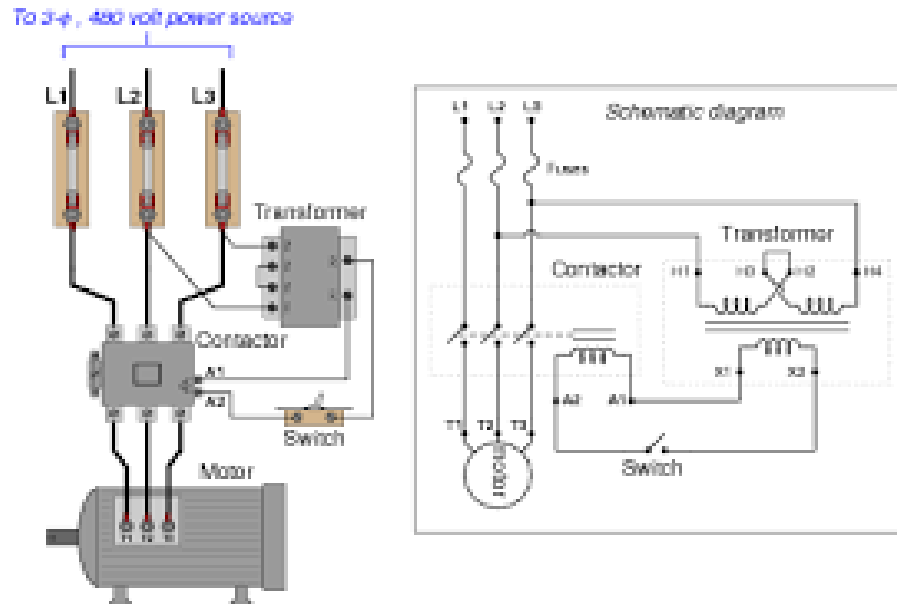


Figura 2.4. Esquema motor trifásico

Como se mencionó anteriormente, los motores son equipos que trabajan con tensiones y corrientes mucho mayores que las que manejan los microprocesadores, por lo cual es necesario recurrir a otros elementos que permiten su acople. De esta manera, los microprocesadores pueden mandar una señal para activar el motor lo cual activa el relé, este permite el paso de energía a la bobina de control del contactor y este cierra el circuito de fuerza entre la fuente trifásica y los terminales del motor.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Para resolver la problemática planteada, se ejecutó la siguiente metodología:

3.1. Documentación del proceso de mezclado de concreto y sus distintas técnicas

Se investigó utilizando el libro [17], que es la bibliografía de preferencia por los estudiantes, profesores y profesionales en el área, referente al concreto. En los primeros capítulos de dicho libro se exponen los temas de interés para este proyecto como lo son el mezclado del concreto, sus características, el diseño de la mezcla y otros.

3.2. Documentación de las normativas vigentes referentes al proceso y estándares de calidad

Para documentar las normativas vigentes referentes al proceso, se sostuvieron reuniones con el Prof. Cesar Peñuela, quien es Profesor de la Escuela de Ingeniería Civil de la UCV. Además, es conocedor del área y colaboró con la información necesaria.

3.3. Comparación de la factibilidad de implementar el sistema de control con plataformas de desarrollo vs. PLC

Se realizó una tabla comparativa entre dos dispositivos programables, el Arduino Mega y el PLC S7 de Siemens. Mediante esta tabla, se buscó comparar distintas características y costos de implementación y contrastarlos con los requerimientos del sistema, para así escoger entre uno o el otro, uno que cumpla los requerimientos necesarios y brinde la mayor facilidad para la realización del proyecto.

3.4. Diseño del esquema conceptual de la planta

Mediante la utilización del software Adobe Illustrator, se realizó un diagrama donde se aprecian los distintos elementos de la planta y de esa manera se buscó explicar más fácilmente la función de cada uno de ellos. A su vez, se aprovechó dicho diagrama para explicar las diferencias entre lo que es el proceso original de la máquina concretera y contrastarlo con la solución que se plantea en este proyecto.

3.5. Definición de los equipos e instrumentación para el control

A través de una tabla, se realizó el listado de todos los dispositivos destinados al control de la máquina como sensores, relés y dispositivos programables. Dichos elementos fueron seleccionados en base a los disponibles en el stock de la empresa 3phasic Solutions.

3.6. Definición de la interfaz humano-máquina (HMI) del sistema

Para definir la HMI del sistema, se tomó en cuenta la posibilidad de comunicar un dispositivo móvil a distancia con la tarjeta de desarrollo seleccionada que fue el Arduino Mega. De esta manera, se plantea utilizar el framework ionic para el desarrollo de dicha HMI por sus bondades de comunicación y de compilar para distintas plataformas. Entonces, la HMI toma la forma de una aplicación para dispositivos móviles.

La comunicación entre la aplicación y el dispositivo Arduino se realizará a través de Wi-Fi que se conecta con el dispositivo móvil. Este envía la información a una tarjeta Raspberry Pi 3 que posee una base de datos interna; esta entonces comparte información con el Arduino a través del puerto serial. El Raspberry Pi será programado en Node.js y la base de datos es MongoDB.

Por otra parte, el esquema de solución planteado establece la posibilidad de realizar el proceso de forma manual, para esto se decidió diseñar un tablero de control con interruptores para el control del proceso. Dicho tablero de control es una HMI alternativa.

3.7. Diseño de las canalizaciones eléctricas para el sistema de control propuesto

Para diseñar las canalizaciones eléctricas del sistema, se realizó un plano general de la planta donde se identifican las tuberías, conductores y otros, mediante la convención de la norma COVENIN 2811:1998.

Para la selección de conductores, se realizaron los cálculos correspondientes a la capacidad de corriente, caída de tensión y capacidad de corto circuito según lo establecido en el CEN.

3.7.1. Capacidad de corriente (ampacidad)

Para la ampacidad, se tomó en cuenta lo establecido en la tabla 310.16 del CEN del año 2009, donde aparece la capacidad de corriente nominal de los conductores. Además, se aplicaron los factores correspondientes en dicha tabla de corrección por temperatura considerando una temperatura promedio de $36^{\circ}C$ a $40^{\circ}C$. De igual manera, se consideraron los factores expuestos en la tabla 310.15(B)(2)(a) del CEN para más de tres (3) conductores portadores de corriente en una misma tubería.

3.7.2. Caída de tensión

Para la caída de tensión, se dividió el cálculo en dos partes, desde el transformador hasta el tablero y desde el tablero hasta la carga. Para ambas, se hizo uso de la siguiente ecuación:

$$\% \Delta V = S_{[KVA]} \cdot L_{[km]} \cdot K,$$

donde:

$S_{[KVA]}$: es la potencia en KVA de la rama.

$L_{[km]}$: es la distancia desde el tablero o transformador hasta la carga bajo estudio.

A su vez:

$$K = \frac{r \cdot \cos(\Phi) + x \cdot \sin(\Phi)}{10 \cdot V_{[kV]}^2},$$

donde:

r : es la resistencia en Ohm por kilómetro del conductor,

x : es la reactancia en Ohm por kilómetro del conductor,

Φ : es el ángulo de desfase entre la tensión y la corriente y

$V_{[kV]}$: es la tensión de la rama en kV.

También, se consideró un máximo de 2 % de caída de tensión para el primer tramo y un máximo de 3 % para el segundo tramo, para obtener un máximo de 5 % en total para las cargas más comprometidas. Esto de acuerdo con lo mencionado en el CEN.

3.7.3. Capacidad de cortocircuito

La capacidad de cortocircuito del conductor se calculó contemplando la posibilidad de un cortocircuito en el punto más sensible del mismo. Este punto se considera como el primer corte o empalme realizado. El cálculo fue realizado mediante la ecuación:

$$I_{cc} = \frac{V}{\sqrt{r^2 + x^2} \cdot L_{[km]}}.$$

Y posteriormente se utilizó la siguiente expresión para determinar el área efectiva transversal en circular mil que debe tener el conductor para soportar dicha condición:

$$A_{cmil} = \frac{I_{cc}^2 \cdot \sqrt{t}}{\sqrt{0,0297 \cdot \log \left(\frac{T2+234}{T1+234} \right)}}.$$

La ecuación anterior fue obtenida del CEN, Tabla 240.92(B), página 82, donde: $T2 = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$; $T1 = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$; t = tiempo de acción de la protección (se toma un ciclo 16 ms).

Los valores de r y x se obtuvieron de la Tabla 9, pág. 775-776 del CEN. Dichos valores corresponden a la resistencia del conductor en Ohm por metro cuadrado [Ω/m^2] y su reactancia en la misma unidad. A su vez, se consideró como valor general del factor de potencia 0,9 para todos los equipos. Las tuberías seleccionadas son de PVC tipo conduit.

Finalmente, se intersectan los tres criterios (cumplidos) y esto resulta en el calibre más indicado para el conductor.

Para la selección del calibre de las tuberías, una vez seleccionados los calibres y basado en el plano de canalizaciones, se hizo uso de la Tabla C del CEN, donde aparece el número de conductores permitidos dependiendo del calibre y el número de conductores para cada tipo y diámetro de tuberías.

Las cajas de paso fueron seleccionadas de tipo metálicas y de dimensiones 6x6x4 pulgadas ya que estas permiten la entrada de tuberías tanto 2" como 1" que fueron los dos diámetros seleccionados para casi todas las canalizaciones a excepción de las tuberías utilizadas para las celdas de carga, estas son de un calibre y tipo distinto.

3.8. Diseño del tablero de control

El estudio de la planta y las canalizaciones arrojaron que se requerían tres (3) tableros. Dos de estos tableros son de fuerza y uno de ellos es denominado de control ya que va a contener los dispositivos de control como el Arduino, los relés, el transmisor de peso, entre otros y por la necesidad de separar tanto el cableado

como las tuberías de las canalizaciones de fuerza.

Para el diseño de los tableros, se realizaron los correspondientes diagramas: unifilar, trifilar, de control y de sensores, y en base a eso, se realizaron las vistas de los tres tableros. Todos los diagramas y el listado de bornes se presentan anexos a este trabajo. El tablero 2 o tablero de control, se clasifica también como parte de la HMI que permite el control del proceso de forma local y manual.

Los diagramas fueron realizados mediante el uso del software Autocad y basados en la norma IEC 60617.

3.9. Programación los controladores definidos

Una vez seleccionado el Arduino como la tarjeta de desarrollo, se elaboró un diagrama de flujo con el comportamiento deseado y los requerimientos del sistema. Este comportamiento se refiere específicamente a la opción de la máquina de realizar el proceso de forma automática y remota, es decir, a través de una HMI y con un operador que da la orden de inicio, el tipo de mezcla que se quiere obtener y dejando al programa hacer el resto.

En base a ese diagrama, se utilizó el entorno de desarrollo de Arduino para la elaboración del código correspondiente con el diagrama.

Se utilizó a su vez el software Proteus para poder simular el comportamiento del programa y así visualizar el correcto funcionamiento del mismo. Para la programación se tomaron distintas consideraciones y se presentan a continuación:

- Las entradas del Arduino que en la realidad son señales encendido/apagado provenientes de los sensores, son simuladas como switch encendido/apagado.
- Las salidas del Arduino que van a los relés que activan las bobinas de control

de los contactores, fueron emuladas a través de LEDs.

- El programa inicialmente hace un chequeo de las entradas para corroborar que los silos y los tanques tengan suficiente nivel para completar al menos un batch y que las tapas estén cerradas, de lo contrario cerrarlas.
- Una vez culminado este proceso de verificación, se procede a la apertura de las tapas, y se mide el peso (introducido por el operador) de forma analógica a través de un potenciómetro. Una vez que ha sido alcanzado el peso deseado, se procede a cerrar las tapas y repetir el proceso para las restantes silos y los dos tanques de líquido.
- Por último, se mezcla por 5 segundos (aproximadamente 3 minutos en el proceso real) y culmina abriendo la tapa de la planetaria para que el concreto salga por el mismo movimiento de las aspas.

3.10. Desarrollo del sistema de HMI seleccionado

A nivel conceptual se planteó realizar la comunicación vía Wi-Fi entre el Arduino y la aplicación a través de un Raspberry Pi 3, sin embargo, ya que fue imposible adquirir dicho dispositivo, la comunicación se realizó utilizando una computadora la cual emula al Raspberry.

Se tiene el Arduino programado previamente que para que envíe y reciba información proveniente de un computador. El computador tiene un programa interno en el sistema operativo linux que se denomina “Backend” y es programado en Node.js. Dicho programa tiene a su vez una base de datos en MongoDB con la cual se almacena la información requerida para la ejecución de la aplicación como los registros de usuarios y otras acciones que requieran ser almacenadas. De la misma forma, el computadora se comunica con la aplicación móvil a través de los protocolo HTTP/WebSocket mediante un módulo de Wi-Fi. De esta forma se

evidencia cómo la aplicación da órdenes de forma remota al Arduino pasando por el maestro que sería el computador.

La aplicación se desarrolla en el framework Ionic y es por esto que se puede utilizar tanto en un dispositivo móvil como en una computadora u otros dispositivos.

Por otra parte, se diseña un tablero de control con interruptores para el control del proceso de forma manual. Dicho tablero de control es una HMI alternativa física que no requiere de un dispositivo inteligente.

3.11. Validación de la programación de los dispositivos

La validación de la programación se llevará a cabo de la siguiente manera: el Arduino se conecta a una computadora a través del puerto USB mediante el cual se le almacena el programa. Dicho dispositivo se conecta a través de sus terminales de entrada/salida con un montaje hecho en protoboard, lo más parecido posible a la simulación realizada en Proteus con LEDs y switch.

La HMI se ejecuta en un dispositivo móvil, el cual se comunica con el Arduino a través de Wi-Fi y un computador. Originalmente, el proyecto estaba concebido para utilizar de intermediario en la comunicación un Raspberry Pi 3; sin embargo, no fue posible la obtención de este dispositivo. Es por esto que se utiliza un computador.

Esto demuestra la versatilidad que presenta esta solución. Se puede tener la HMI tanto a distancia con un dispositivo móvil, como en el sitio con un dispositivo fijo como una tablet o una pantalla táctil y realizar la operación indistintamente de ambas maneras.

CAPÍTULO IV

DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

4.1. Documentación del proceso de mezclado de concreto y sus distintas técnicas

4.1.1. Definición

“El concreto u hormigón es un material que está constituido de dos partes fundamentalmente: una es un producto pastoso y moldeable, que tiene la propiedad de endurecer con el tiempo, y la otra son trozos pétreos que quedan englobados en esa pasta. A su vez, la pasta está constituida por agua y un producto aglomerante o conglomerante, que es el cemento. El agua cumple la doble misión de dar fluidez a la mezcla y de reaccionar químicamente con el cemento dando lugar, con ello, a su endurecimiento.” [17].

Entonces, el concreto es cemento con agua más trozos pétreos.

4.1.2. Componentes

Aproximadamente el 80 % del concreto son las partículas de origen pétreo, material que se denomina agregados áridos o inertes.

Se suele añadir los materiales pétreos en dos fracciones diferentes de acuerdo

con su tamaño:

- Agregado grueso: piedra picada, canto rodado natural o canto rodado picado.
- Agregado fino: arena natural o arena obtenida por trituración.

Existe lo que es la granulometría, que establece la secuencia gradual o escalonada en que se agregan los materiales desde los granos más gruesos del agregado grueso a los más finos de la arena.

Además de los agregados (piedra y arena), del cemento y del agua, es cada vez más frecuente añadir a la mezcla ciertos productos químicos que, en muy pequeña cantidad, son capaces de modificar de manera muy importante algunas propiedades del concreto; se les puede llamar aditivos.

4.1.3. Preparación y colación

Las proporciones determinarán la calidad del concreto. Este estudio se conoce como diseño de la mezcla y se explicará en breve.

El mezclado se efectúa en máquinas llamadas rotores, que giran agitando y envolviendo los materiales hasta lograr una masa homogénea con la pastosidad o la fluidez deseada.

Luego viene el proceso de colado donde se vierte la mezcla en moldes que poseen ya el acero de refuerzo para hacer posteriormente con la compactación. Esta densificación se efectúa por medios manuales o mediante la vibración de la masa del concreto. Como consecuencia de la vibración, la mezcla se fluidifica y se acomoda al encofrado (molde), ocupando todos los espacios y rodeando completamente las armaduras metálicas.

Por último, se espera el tiempo necesario para que el concreto fragüe y se endurezca. En su momento se inicia el curado y se retiran los encofrados. El curado consiste en mantener o reponer la humedad que pudiera perderse por evaporación de agua que es necesaria para que ocurran las reacciones de hidratación del cemento.

4.1.4. Principales características del concreto

Son muchas las características de interés, sin embargo, en general son dos las características o propiedades de mayor consideración. La primera se refiere a la consistencia o grado de fluidez del material en estado fresco. Se le conoce como manejabilidad, docilidad, trabajabilidad, asentamiento y otros. Esta característica se refiere a las propiedades relativas a la mayor o menor facilidad para colocar el concreto. La segunda propiedad se refiere al grado de endurecimiento o resistencia que es capaz de adquirir el concreto.

La fluidez se mide con ensayos que evalúan el grado de plasticidad de la mezcla. La resistencia se mide a través de ensayos mecánicos de compresión o tracción.

4.1.5. Tipos de concreto

El concreto se puede utilizar para múltiples aplicaciones, como por ejemplo: la elaboración de columnas, vigas, losas, cerramientos, muros, pantallas, pavimentos, pistas aéreas, estacionamientos, represas, acueductos, canales, túneles, entre otros. Es por esto que se obtienen distintos tipos de concreto con diversas plasticidades, resistencias y apariencias para suplir estos usos. Esto se logra dependiendo del tamaño de los granos, la proporción entre los distintos componentes, etc.

La consistencia del concreto puede ser seca o fluida dependiendo del uso.

- Consistencia seca.
- Consistencia fluida.

4.1.6. Control de calidad

La calidad del concreto dependerá de la calidad de los componentes, la calidad del diseño de su mezcla, su posterior preparación y manejo, los cuidados de uso y mantenimiento, entre otros.

Los requerimientos normativos sobre la calidad que deben satisfacer los materiales que se usarán en obras de concreto reforzado se establecen en el capítulo 3 de la Norma COVENIN 1753, Estructuras de concreto reforzado para edificaciones. Análisis y diseño.

La calidad del material se mide con ensayos previos de los componentes, con observaciones y pruebas del concreto fresco y con ensayos sobre el concreto endurecido ya sea en el laboratorio o en la propia obra.

4.1.7. La relación triangular

En la figura 4.1 se presenta un gráfico con el que se busca explicar la relación y compromiso que tienen las tres variables a considerar para calidades específicas.

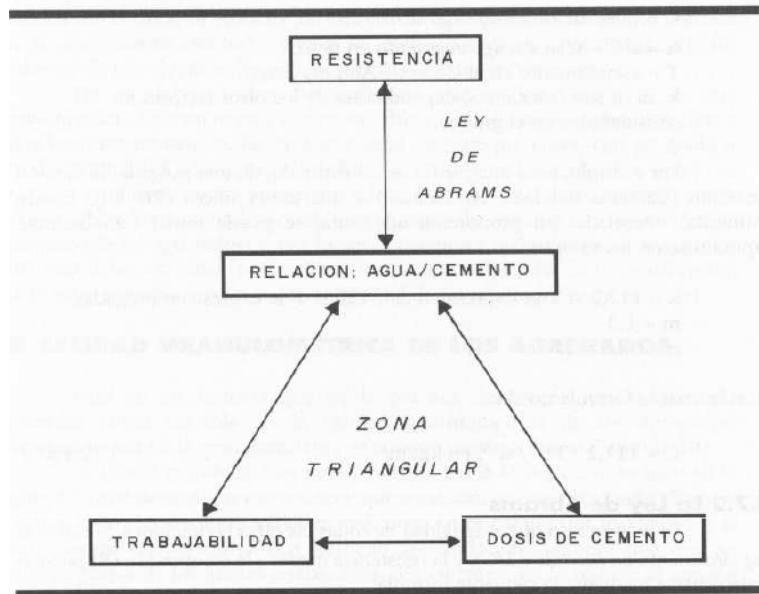


Figura 4.1. Relación triangular

Además, se tiene esta ecuación empírica:

$$C = k \cdot \frac{T^n}{\alpha^m}, \quad (4.1)$$

donde:

- C: dosis de cemento (kgf/m^3).
- α : a/C= relación agua/cemento en peso.
- T: asentamiento en el cono de Abrams (cm).
- K, m, n, son constantes dependiendo de otros factores no tomados en cuenta en el gráfico.

4.1.8. Diseño de la mezcla

Es el procedimiento mediante el cual se calculan las cantidades requeridas de cada componente que se utilizará para la mezcla de concreto, para obtener el comportamiento deseado tanto en el estado plástico como en el endurecido. Una dosificación apropiada debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Economía y manejabilidad en estado fresco.
- Resistencias, aspecto y durabilidad en estado endurecido.

4.2. Documentación de las normativas vigentes referentes al proceso y estándares de calidad

A continuación, se presenta una lista y una breve descripción de algunas normativas nacionales referentes al proceso de mezclado del concreto, estándares de calidad, pruebas y ensayos, entre otros.

1. Covenin (277 : 2000). Concreto. Agregados. Requisitos. En esta norma se establecen los requerimientos mínimos que deben cumplir los agregados tanto finos como gruesos para poder ser utilizados en la mezcla. Aquí se especifica la naturaleza de los mismos, su tamaño, entre otros.
2. Covenin (337 : 78). Definiciones y Terminología Relativas a Concreto. En esta norma, como su nombre lo indica, se definen los términos referentes al proceso, materiales, cualidades, entre otros, del concreto.
3. Covenin (338 : 2002). Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto. En esta norma se define la metodología necesaria para la elaboración de las probetas cilíndricas de concreto que son las que se usan para realizar pruebas luego del fraguado.

4. Covenin (339 : 2003). Concreto. Método para la medición del asentamiento con el cono de Abrams. Esta prueba es muy importante ya que a través de la misma se puede determinar la fluidez del concreto.
5. Covenin (341 : 1979) Método de ensayo para determinar la resistencia a la tracción indirecta del concreto usando probetas cilíndricas. Como su nombre lo indica, en esta norma se especifica el método utilizado para determinar la resistencia a la tracción indirecta del concreto.
6. Covenin (344 : 2002) Concreto fresco. Toma de muestras. Esta norma establece las condiciones necesarias para obtener muestras representativas de concreto fresco con agregado de hasta 7,6 cm. Estas muestras son tomadas de la misma forma en que se entregan a la obra y se destinan a realizar ensayos para determinar si el concreto cumple con las especificaciones de calidad solicitadas.
7. Covenin (356 : 1994). Aditivos químicos utilizados en el concreto. Especificaciones. En esta norma se establecen las características mínimas que rigen a los materiales que se usan como aditivos químicos en mezclas de concreto.
8. Covenin (633 : 2001). Concreto premezclado. Requisitos. En esta norma se establecen los requisitos que debe cumplir el concreto premezclado, elaborado y entregado al comprador, recién mezclado y no endurecido. No se trata la colocación, compactación, curado o protección del concreto después de su entrega al comprador.
9. Covenin (1609 : 80). Método de ensayo para la determinación de la dureza esclerométrica en superficies de concreto endurecidas. En esta forma se establece el ensayo requerido para determinar la dureza esclerométrica en superficies de concreto endurecido. Con esto se puede conocer la uniformidad de la calidad y estimar la resistencia a compresión mediante observaciones no destructivas.

10. Covenin (2385 : 2000). Concreto y mortero. Agua de mezclado. Requisitos. En esta norma se establecen los requisitos mínimos exigidos al agua de mezclado para concretos y morteros.
11. Covenin (1976 : 2003). Concreto. Evaluación y métodos de ensayo. El objeto de esta norma es el de establecer procedimientos de base estadística para ayudar a realizar ensayos y utilizar sus resultados de la manera más eficiente posible tanto a lo que respecta al control de calidad como al cumplimiento de requisitos.

4.3. Comparación de la factibilidad de implementar el sistema de control con plataformas de desarrollo vs. PLC

Para la automatización de la máquina concretora, se presenta la necesidad de seleccionar algún dispositivo lógico programable que cumpla con los requerimientos del proceso. Se plantea entonces, la utilización de plataformas de desarrollo o equipos industriales comerciales como los PLC.

Se propone la utilización de dispositivos de Arduino o PLC y se compara a través de una tabla comparativa, evaluando distintas cualidades propias de cada sistema para su selección.

En primer lugar, se propone el Arduino Mega 2560 R3 Atmega16u2 Atmega2560, con la posibilidad de utilizar módulos de expansión de relés, sensores, conectividad Wi-Fi, entre otros. En segundo lugar, se propone un PLC marca Siemens S7-1200 1215C.

En la tabla 4.1, se presenta una tabla comparativa donde se busca estudiar las distintas cualidades de cada sistema para de esta forma aportar a la tarea de selección.

Tabla 4.1. Tabla comparativa entre controladores programables

Características	Requerimientos del sistema	Arduino Mega 2560	PLC S7-1200 1215C
Entradas digitales	13	54	14
Entradas analógicas	-	16	4
Salidas digitales	14	54	10
Salidas analógicas	-	-	4
Memoria de programa	-	256 KB	100 KB
Memoria de datos	-	8 KB	100 KB
Lenguaje de programación	-	C	ST
Comunicación con base de datos externa	Requiere	Libre	Requiere licencia
Costo de referencia [\$]	-	40	860
Carcasa de protección	Requiere	\$ 40	Integrado
Comunicación	Requiere	Varias opciones	Opciones limitadas
Licencia propietario	-	No	Sí
Relés	27	\$ 40	Incluidos
Fabricante	-	Smart Projects	Siemens
Costo total aprox. [\$]	<1000	160	860

Como resultado, se concluye que ambas plataformas poseen las características necesarias para cumplir con los requerimientos del sistema, además de una amplia gama de posibilidades para resolver las tareas planteadas. Sin embargo, se decide utilizar el Arduino Mega por la economía, la disponibilidad, la facilidad de programar en software libre, las opciones de comunicación y la versatilidad que posee el dispositivo en cuanto a expansiones, módulos y otros. Aunado a esto, se desea plantear una alternativa al PLC que sea de bajo costo, con software libre y con una estructura de programa propia que incluya nuevas posibilidades que ofrece la tecnología actual.

4.4. Diseño del esquema conceptual de la planta

En el proceso de preparación del concreto intervienen varios equipos y maquinarias que se mencionan más adelante. Este es un evento que toma alrededor de cinco (5) minutos en total y serán presentados también los alcances y las limitaciones de nuestra acción sobre el funcionamiento.

4.4.1. Esquema actual de la planta de concreto

El sitio donde se realiza la mezcla de los ingredientes, se llama planetaria. Sobre esta planetaria se vierten los elementos de la mezcla y se realiza el mezclado mediante el movimiento de unas aspas accionadas por un motor eléctrico de 50 hp.

Debajo de la planetaria existe un motor de 10 hp que abre la compuerta por donde se extrae el producto final. Sobre la planetaria se encuentran tres silos que contienen por separado, arena, cemento y piedra, los cuales son constantemente surtidos por la empresa.

Los silos tienen adosados:

- Motor de apertura y cierre: este se encarga de realizar la apertura y el cierre de la tapa del silo para la dosificación.
- Vibrador: se utiliza para agitar el silo de manera que los agregados sólidos no se queden adheridos a las paredes del mismo.

Cabe destacar que el control de la dosificación actualmente se hace por tiempo, es decir, los operadores de la planta tienen un tiempo preestablecido en el que se agrega aproximadamente la cantidad deseada y repiten este tiempo esperando

obtener el mismo resultado. A su vez, hay un operador que toma la decisión por inspección visual.

La apertura y cierre de los silos no cuenta con ningún control, esta se realiza de forma manual a través de botones accionados por el operador.

Se cuenta también con dos tanques que contienen los líquidos que se agregan a la mezcla. El primero de ellos posee agua que es surtida por la empresa. El segundo tanque posee una mezcla de aditivo con agua. Cada tanque posee una bomba que es accionada por un motor de 10 hp. No se tiene control sobre el surtido de ninguno de los dos tanques y la dosificación de líquidos a la mezcla se hace también por tiempo.

El proceso comienza con el encendido del motor de las aspas de la planetaria mediante un arrancador de tipo estrella-delta y lo inicia un operador a través botonera de control. Luego, al presionar otro botón este abre la tapa del primer silo que contiene arena. Con la ayuda de otro operador que se encuentra observando la dosificación, se toma la decisión de cerrar la tapa cuando estos consideran que se ha agregado suficiente. De forma similar, se repite el proceso para los dos silos restantes y los dos tanques de líquido.

Una vez que ha sido completada la dosificación de la planetaria, se continúa mezclando por aproximadamente tres (3) minutos. Una vez culminado este tiempo, se realiza la apertura de la tapa de la planetaria para que por efectos de la gravedad y el mismo movimiento de las aspas el concreto salga. Extraído ya el producto final, se manda a cerrar la tapa y se apaga el motor si no se continuará el proceso. Esto es lo que se denomina un batch; se pueden realizar varios batch consecutivos sin apagar el motor de la planetaria.

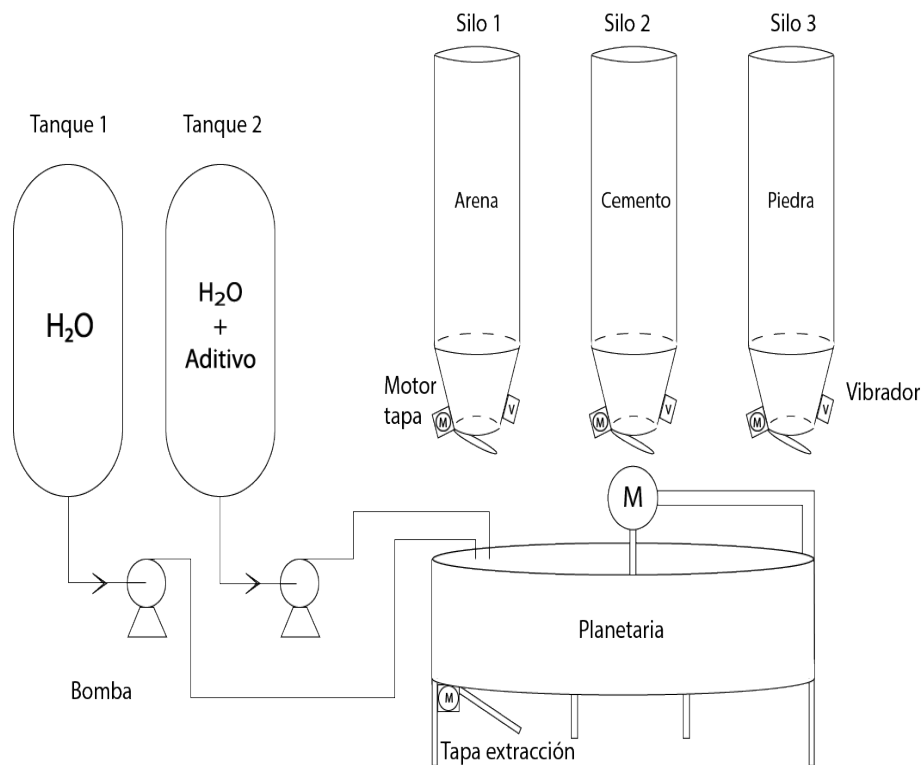


Figura 4.2. Esquema conceptual de la planta actual

En la figura 4.2 se puede apreciar a grandes rasgos el esquema de la planta mezcladora de concreto.

4.4.2. Esquema propuesto para la planta de concreto

Se plantea un sistema para que el funcionamiento de la planta está supervisado y controlado por plataformas de desarrollo que tendrán como entradas medidores y sensores agregados al sistema y como salidas, el control de los distintos motores para el accionamiento de las tapas de silos, de la planetaria y su tapa de extracción. A su vez, se plantea que dicha plataforma se conecte de forma inalámbrica a través de una HMI para realizar control de forma remota.

Cabe destacar que el sistema propuesto incluye un segundo dispositivo de

respaldo que también permite la comunicación con la aplicación, pero su principal objetivo es el de permitir al usuario actuar sobre la planta de forma manual a través de un tablero de control con botones. La intención de este segundo dispositivo es la de contar con un elemento de redundancia en el sistema y tener un respaldo en caso de falla o si el operador decide realizar el proceso de forma manual, se pueda observar la operación en la aplicación, recibir los datos del sistema como el peso, entre otros.

Para lograr una operación automática del proceso de dosificación y mezclado del concreto, es necesario incluir en la planta los siguientes instrumentos de medición:

- Cuatro (4) celdas de carga, una en cada soporte de la planetaria para poder medir el peso en todo momento. Estas celdas de carga envían una señal eléctrica analógica a un equipo llamado indicador/transmisor de peso que es el encargado de amplificar, filtrar y convertir de analógico a digital dicha señal para su interpretación y posterior envío a la tarjeta de desarrollo. Primero se debe realizar el ajuste de la tara o el cero con el peso en vacío de la planetaria sola, de esta manera las lecturas que las celdas arrojan corresponden al peso de los materiales que se agregan a la mezcla. Esta es la forma en que se controla la dosificación de cada elemento por peso y es mucho más exacto que en el esquema actual por tiempo. Esto brinda otra bondad que es poder programar el cierre de la tapa antes de alcanzar el peso deseado y así garantizar una dosificación más precisa.
- Sensor de nivel bajo (capacitivo): es un sensor que se coloca a una determinada altura del silo o tanque para detectar si hay o no presencia de material a ese nivel. Su función por ser sensor de nivel bajo es alertar en el caso que no haya suficiente material como para completar un batch. Esta altura es medida y determinada previamente por los operadores de la planta.

- Sensor de final de carrera (inductivo): se colocan dos sensores, uno en la posición de cierre, posición A y otro en una posición de abierto, posición B. El sensor de la posición A da una señal cuando la tapa del silo pasa a pocos milímetros de él (entre 3 mm y 5 mm). Este se instala de manera que garantice que la tapa está completamente cerrada. El sensor de la posición B se coloca en una posición de aproximadamente 100° siguiendo el movimiento de giro de la tapa. De esta forma, cuando se considera que la tapa está completamente abierta o cerrada, se apaga el motor que la motoriza.

El proceso propuesto posee la opción de realizarse de forma remota o de forma local. El operador podrá decidir esto mediante un selector de tres estados instalado en el tablero de control. El proceso de acción remota comienza entonces con la verificación de los sensores de nivel y los finales de carrera. Si hay suficiente nivel y las tapas están cerradas, se puede comenzar una vez se reciba la orden de la HMI. El proceso es muy similar al del esquema actual, sólo que los sensores de final de carrera le indican a la tarjeta de desarrollo, que ya puede apagar el motor que motoriza la tapa. La tapa también es cerrada antes de alcanzar la medida de peso solicitada, así como la bomba es apagada bajo el mismo criterio. Además, este envía la información de lo que ocurre a la HMI para su visualización remota.

La HMI tiene la opción de dar pausa al proceso, lo cual provoca el cierre de la tapa que se encuentre abierta o el apagado de la bomba que se encuentre encendida, sin embargo, mantiene en operación al motor de la planetaria. También cuenta con la opción de reanudar el proceso si se encontraba en estado de pausa. Por otra parte, posee la opción de detener que es similar al de pausa pero este sí apaga el motor de la planetaria. Para reanudar el proceso proveniente de una orden de detener, sería necesario resolver la falla que provocó la parada de emergencia y reiniciar el sistema.

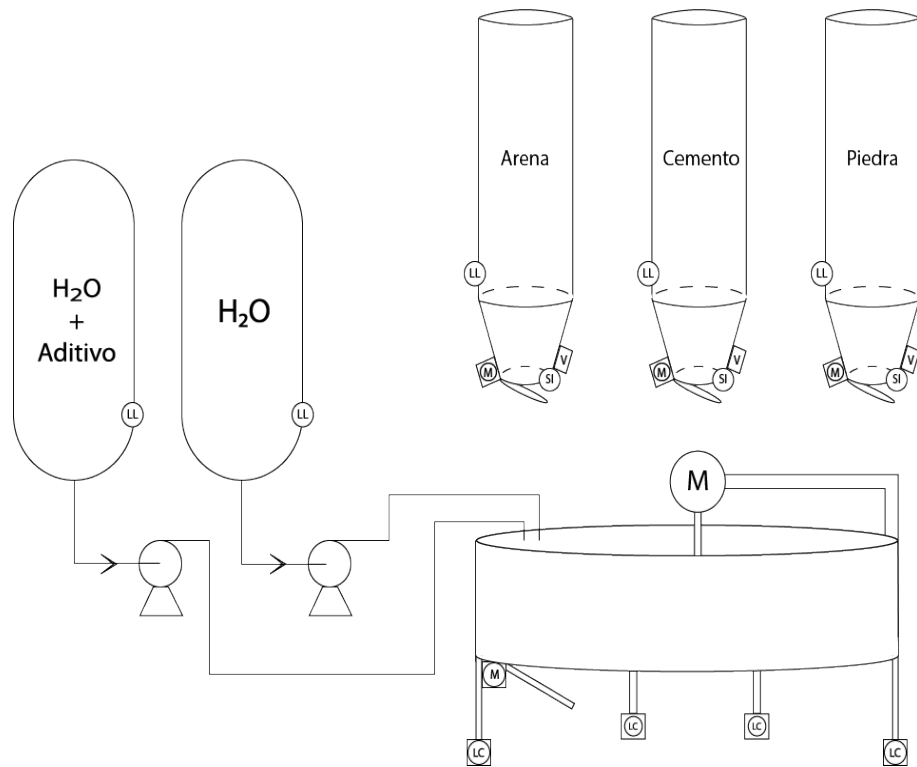


Figura 4.3. Esquema conceptual de la planta actual

En la figura 4.3 se muestra el esquema conceptual planteado de la planta:

- LL: Sensor de nivel.
- SI: Sensor de final de carrera.
- LC: Celda de carga.

4.5. Definición de los equipos e instrumentación para el control

A continuación se listarán y explicarán brevemente los dispositivos, equipos e instrumentación seleccionada para el control de la planta. Así como los criterios utilizados para su selección. En la tabla 4.2, se listan los elementos del sistema de control.

Tabla 4.2. Equipos e instrumentación para el control

Código	Equipo o dispositivo	Cantidad
A18-A19	Arduino Mega 2560 R3 Atmega16u2 Atmega2560	2
A17	Módulo de relés para Arduino de 16 relés (salida hacia contactores)	1
Ka, Kb, ..., Kl, Km	Relés (entrada al Arduino desde los sensores)	13
A20	Raspberry Pi 3	1
A21	RS-485 / Modbus Shield para Arduino / Raspberry	1
A22	Router Wi-Fi TPLINK Wr841hp	1
ALC [1, 2, 3, 4]	Celda de carga por compresión marca Laumas, modelo CBL de 2.500 kg	4
ATLS	Transmisor/Indicador de peso analógico y digital, marca Laumas, modelo TLS	1
ASI1,...,ASI8	Sensor inductivos, 2 hilos, 85-240 VAC, 18mm M7, tipo no rasante	8
ASC1,...,ASC5	Sensor capacitivo, 2 hilos, 85-240 VAC, 18mm M7, tipo no rasante	5

4.5.1. Arduino

El cerebro del sistema se concentra en el Arduino. En esta tarjeta de desarrollo se llevará a cabo la mayor parte de la programación, medición y acción sobre la planta. Como se mencionó anteriormente, Arduino es una empresa que fabrica tarjetas de desarrollo que llevan su nombre. Estas tarjetas vienen en diferentes modelos con distintas capacidades dependiendo de las necesidades o distintas consideraciones que se toman al momento de seleccionar una sobre la otra.

Se decide utilizar dos placas separadas de Arduino, uno para la operación principal automática de manera remota y la otra se destina al uso manual en caso de contingencia, falla o decisión del operador. De esta forma, los operadores cuentan con la opción de realizar manualmente la gestión del proceso si así lo desean, a través de un selector electromecánico que permite conmutar entre ambas

opciones. En la figura 4.4 se ilustra la tarjeta mencionada.

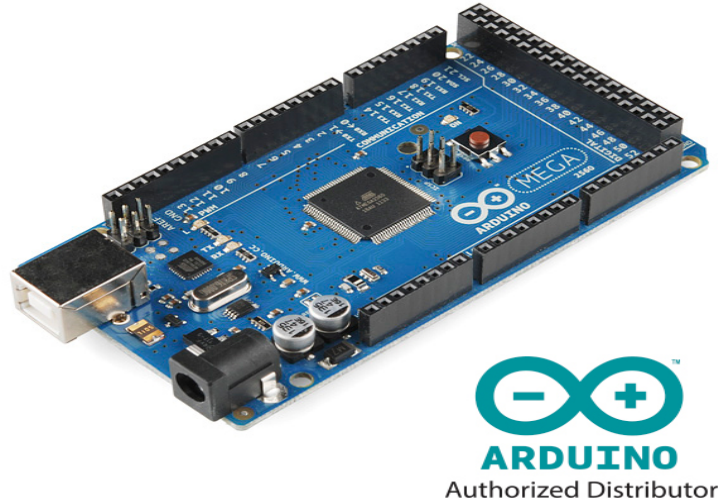


Figura 4.4. Arduino Mega 2560 R3

Arduino Mega 2560

El Arduino Mega 2560 es una de las tantas placas de Arduino. Esta posee un procesador ATmega2560. A su vez, tiene cincuenta y cuatro (54) pines de entrada/salida digitales, de los cuales catorce (14) de ellos pueden ser utilizados como salidas PWM, tiene dieciséis (16) entradas analógicas y cuatro (4) puertos UART para comunicación serial. También tiene un cristal oscilador de 16 MHz, puerto USB, entrada de corriente que puede ser por adaptador AC/DC o por baterías, entre otras.

El Arduino es un dispositivo que requiere ser conectado a una computadora a través de USB para que esta la envíe y deje grabado el programa que va a ejecutar, luego, el Arduino se conecta a una fuente de tensión externa y puede correr el programa sin necesidad de estar conectado a una computadora.

4.5.2. Multiplexador de señal

A nivel de conexiones lógicas, los Arduino se conectan a un seleccionador de tipo multiplexador que se encarga de dejar pasar las señales de uno u otro dependiendo del estado en que se encuentre el selector mecánico. La figura 4.5 hace referencia a lo mencionado. Las salidas del Arduino encargado de la acción remota identificado como A18 se conectan a las entradas A0-A3 de los multiplexadores mientras que las del Arduino de la acción local se conectan a las B0-B3. Si el selector electromecánico se encuentra en la posición remota, se envía una señal de 0 V al pin SEL y este deja pasar la señal proveniente de los pines A0-A3. Caso contrario, si el selector se encuentra en la posición de control local, se envía una señal de 5 V y deja pasar las señales del Arduino A19. Para más detalles de las conexiones, ver los anexos 8 y 5.

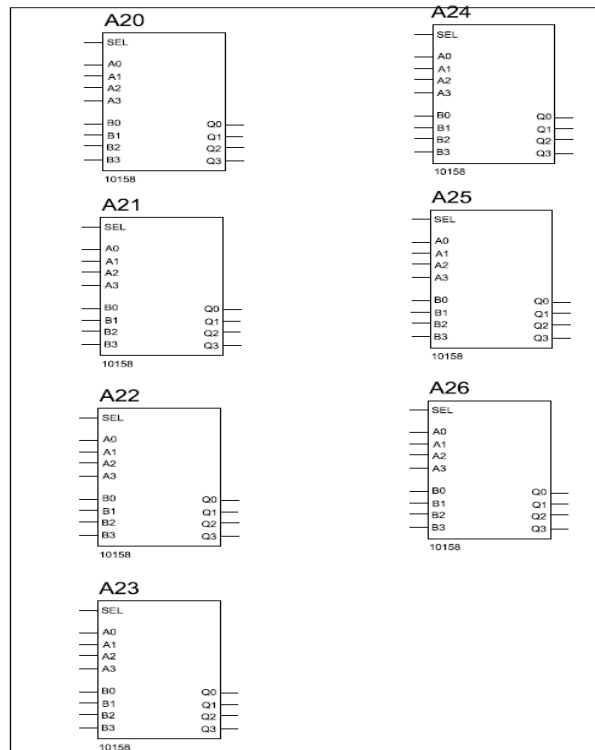


Figura 4.5. Módulo multiplexador de señal

4.5.3. Relés

Por ser la placa Arduino el cerebro del sistema, este requiere de canales para comunicarse e interactuar con la planta. Para esto se cuenta con distintos módulos de expansión que le permiten realizar las distintas tareas de medición y acción.

Se tiene el módulo de relés para Arduino de dieciséis (16) relés código A17 para controlar la apertura y cierre de las tapas de los silos. Estos relés reciben una señal de 5 V DC en su bobina de control y conmutan a 208 V AC en sus terminales de fuerza. Dichos relés se conectan a los contactores que activan los motores ya que poseen toda la circuitería interna necesaria para que el acople no requiera nada adicional.

De forma similar, se tienen los relés Ka–Km. Estos actúan de forma inversa a los anteriores, los sensores al activarse mandan una señal en 208 V AC a la bobina de control de los relés y a su vez dan una señal de 5 V DC a una entrada del Arduino. En la figura 4.6 se ilustra el módulo mencionado.

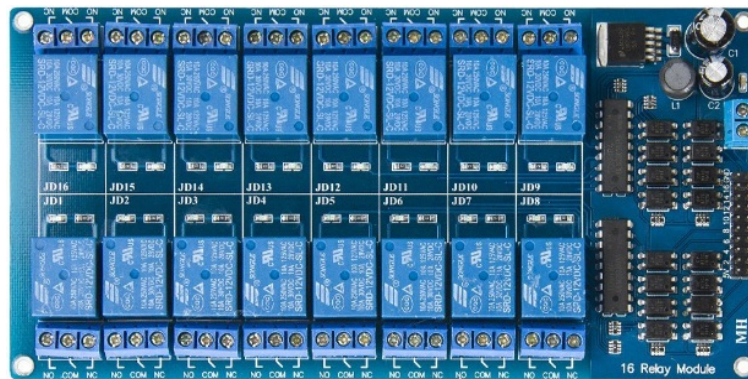


Figura 4.6. Módulo de 16 relés para Arduino con protección optoacoplador

4.5.4. Raspberry Pi

Se quiere que la comunicación entre el sistema y la HMI se realice de forma inalámbrica a través de Wi-Fi. Para esto, se utiliza el Raspberry Pi que es el intermediario en la comunicación entre la HMI y el Arduino. Para esto, se utilizan los protocolos de comunicación HTTP y Web Socket entre la HMI y el Raspberry y para la comunicación con el Arduino se utiliza un Modbus Shield RS-485. El shield de conexión se muestra en la figura 4.7.

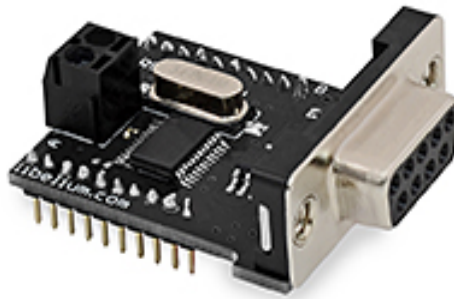


Figura 4.7. RS-485 / Modbus Shield para Arduino / Raspberry

Raspberry Pi 3

El Raspberry Pi 3 ilustrado en la figura 4.8, es una computadora en una sola tarjeta con conectividad inalámbrica. Este tiene un procesador ARM de cuatro (4) núcleos de 1.2 GHz, 1 GB de memoria RAM, Bluetooth, ETHERNET inalámbrico, almacenamiento microSD, cuarenta (40) pines de entrada/salida, puerto HDMI, salida de audio, cuatro (4) puertos USB, entre muchas otras.



Figura 4.8. Raspberry Pi 3

4.5.5. Router Wi-Fi

Se utiliza el Router Wi-Fi TPLINK Wr841hp para conectar el sistema de arduino-raspberry con el teléfono móvil Android que se usará para controlar el proceso. Dicho router se muestra en la figura 4.9.



Figura 4.9. Router Wi-Fi TPLINK Wr841hp

4.5.6. Celdas de carga

Se utilizan cuatro (4) celdas de carga por compresión marca Laumas, modelo CBL de 2.500 kg cada una en las bases de los soportes de la planetaria para medir el peso de los elementos. Este elemento se instala con un equipo adicional para su protección, modelo V10000 como se muestra en la figura 4.10.



Figura 4.10. Celda de carga marca Laumas, modelo CBL

Primero, se debe calibrar la tara para que la planetaria sola (sin carga) ofrezca una medición nula, y así, una vez se agregan los elementos a la mezcla se pueda realizar el control por incremento de peso y se conoce qué cantidad de cada componente se agregó. Estas celdas de carga envían la información de forma analógica al transmisor de peso, el cual se encarga de adecuar la señal y convertirla en digital para su debido manejo.

4.5.7. Transmisor/indicador de peso

El transmisor/indicador de peso analógico y digital marca Laumas, modelo TLS, recibe la señal eléctrica de peso analógica proveniente de las celdas de carga, la adecua, la convierte a digital y la envía a través del puerto serial RS-485 bajo el protocolo Modbus RTU. Dicho dispositivo se muestra en la figura 4.11.

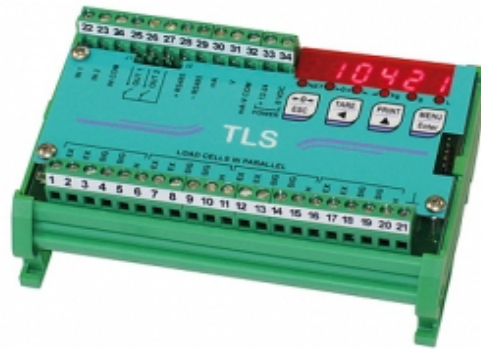


Figura 4.11. Transmisor/Indicador de peso analógico y digital marca Laumas, modelo TLS

4.5.8. Sensores

Los sensores seleccionados, tanto los inductivos como los capacitivos, son sensores de presencia y se muestran en la figura 4.12. Estos determinan la presencia de un objeto y en sus terminales conmutan entre 0 V y 208 V AC, dando señal de la presencia o ausencia del objeto de interés dependiendo de la intención del instalador.



Figura 4.12. Sensor

4.6. Definición de la interfaz humano-máquina (HMI) del sistema

Para complementar el sistema automatizado de la mezcla de concreto, se decide tener una interfaz de comunicación entre el proceso y el usuario. Dicha interfaz puede tomar diferentes formas dependiendo de las necesidades. Se decide entonces que sea un software para dispositivos inteligentes móviles programado en ionic. Ionic, es una herramienta gratuita y libre para el desarrollo de aplicaciones móviles multiplataforma, lo que significa que se programa en un único lenguaje y se compila de forma que funcione para distintas plataformas indistintamente.

En la figura 4.13, se presenta un diagrama del esquema de comunicación de la HMI con el Arduino que muestra la manera en que se realiza el intercambio de información entre los dispositivos:

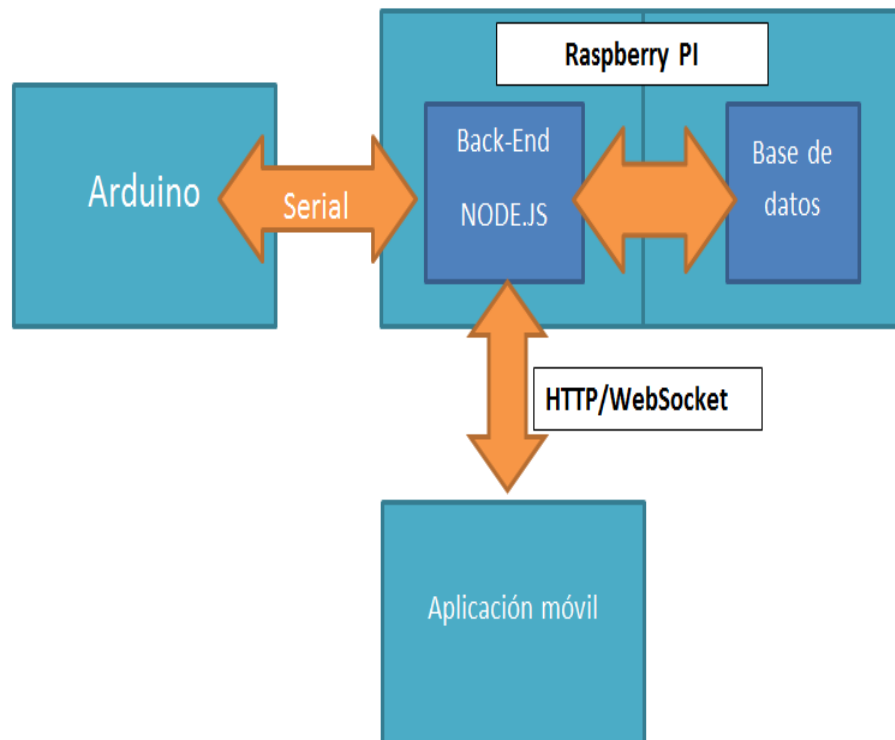


Figura 4.13. Esquema de comunicación HMI-Arduino

En el esquema se puede apreciar que el Arduino envía y recibe información proveniente del Raspberry Pi. El Raspberry Pi tiene un programa interno en el sistema operativo linux que se denomina *Backend*, programado en Node.js. Dicho programa tiene a su vez una base de datos en MongoDB con la cual se almacena la información requerida para la ejecución de la aplicación como los registros de usuarios y otras acciones que requieran ser almacenadas. De la misma forma, el Raspberry Pi se comunica con la aplicación móvil a través de un protocolo llamado HTTP/WebSocket mediante un módulo de Wi-Fi.

En este esquema queda en evidencia la importancia del Raspberry que termina siendo el cerebro del sistema al ser quien da las órdenes y recibe información de los demás dispositivos.

4.7. Diseño de las canalizaciones eléctricas para el sistema de control propuesto

Para el diseño de las canalizaciones eléctricas, se utilizaron criterios basados en las regulaciones expuestas en el Código Eléctrico Nacional 2009 (CEN) y siguiendo lo establecido en [18]. Entre estos criterios se encuentran: capacidad de corriente, corrección por temperatura, número de activos conductores de corriente por tubería, caída de tensión y capacidad de cortocircuito. Los planos referentes a las canalizaciones se encuentran en los anexos 1 y 2.

4.7.1. Criterios

A continuación se presentan los criterios o normas utilizados para la selección de los distintos elementos de la instalación eléctrica:

- Las tuberías fueron seleccionadas de 1" o 2" con el fin de abaratar costos para su compra al mayor.

- Las cajas de paso se seleccionaron de 6x6x4" por el mismo motivo. Además, estas permiten utilizar ambas las tuberías de 1" de diámetro como las de 2".
- Los datos de placa de los elementos seleccionados pueden establecer tensiones de 220 V, sin embargo, la alimentación utilizada para los equipos alimentados por el tablero 1 y el tablero 2 son en 208 V.

4.7.2. Alimentador del tablero 1

En la tabla 4.3, se presentan los conductores utilizados para alimentar las distintas cargas del tablero 1. Los motores alimentados por este tablero son trifásicos en 208 V 60 Hz:

Tabla 4.3. Potencias de motores trifásicos y sus corrientes según la tabla 430.250 del CEN

Equipo	Potencia [hp]	Corriente [A]	Cantidad	Tensión [V]
Motor tapas	10	38	4	208
Motor bombas	10	38	2	208
Motor vibradores	1,5	6,6	3	208
Fuente 24 VDC	-	20	1	208
Fuente 5 VDC	-	20	1	208
Sensor inductivo	-	0,2	8	208
Sensor capacitivo	-	0,2	5	208

Capacidad de corriente (ampacidad)

Según 430.24 del CEN, se estima el 125 % de la corriente a plena carga del motor más grande más la suma de la corriente nominal de los demás motores y equipos que dicho tablero alimenta. Esto arroja un resultado de requerimiento de corriente:

$$I_{total} = 299,9 \text{ A.} \quad (4.2)$$

A continuación se presenta la tabla 4.4, donde se aprecia la ampacidad nominal de algunos conductores aplicando los factores de corrección por temperatura y por número de activos conductores de corriente por tubería.

Tabla 4.4. Ampacidad de conductores 310.16. Factor de corrección por temperatura 310.16 a $41^{\circ}C - 45^{\circ}C$. Factor de corrección por más de tres conductores portadores de corriente 310.15 (B)(2)(a).

Calibre [kcmil]	Corriente nom. [A]	Factor temp.	Factor activos	Corriente final [A]
300	285	0,82	1	233,7
350	310	0,82	1	254,2
400	335	0,82	1	274,7
500	380	0,82	1	311,6

Caída de tensión

Para el cálculo de la caída de tensión se utilizó la siguiente expresión:

$$\% \Delta V = S_{[KVA]} \cdot L_{[km]} \cdot K; \quad (4.3)$$

donde:

$$K = \frac{r \cdot \cos(\Phi) + x \cdot \sen(\Phi)}{10 \cdot V_{[kV]}^2}. \quad (4.4)$$

En la tabla 4.5, se presentan los resultados obtenidos para distintos calibres.

Tabla 4.5. Tabla de cálculos de caída de tensión para distintos calibres del alimentador del tablero 1

Calibre [kcmil]	r [Ω/km]	x [Ω/km]	cos(Φ)	sin(Φ)	Tensión [V]	K	Distancia [km]	Caída de V. [%]
300	0,144	0,135	0,9	0,436	208	0,436	0,05	2,354
350	0,125	0,131	0,9	0,436	208	0,392	0,05	2,118
400	0,108	0,131	0,9	0,436	208	0,357	0,05	1,927
500	0,089	0,128	0,9	0,436	208	0,314	0,05	1,697

Nota: Se consideran tuberías de PVC conduit y se extrajeron los valores según la Tabla 9, pág. 775-776 del CEN. A su vez, se considera como valor general del factor de potencia 0,9 para todos los equipos.

Capacidad de cortocircuito

Para calcular la capacidad de cortocircuito del conductor, se calculó primero el cortocircuito simétrico en el punto de conexión más cercano, según la siguiente expresión:

$$I_{cc} = \frac{V}{\sqrt{r^2 + x^2} \cdot L_{[km]}}. \quad (4.5)$$

Y posteriormente, se utilizó la siguiente expresión para determinar el área efectiva transversal en circular mil que debe tener el conductor:

$$A_{cmil} = \frac{I_{cc}^2 \cdot \sqrt{t}}{\sqrt{0,0297 \cdot \log \left(\frac{T2+234}{T1+234} \right)}}. \quad (4.6)$$

La ecuación 4.6 fue obtenida del CEN, Tabla 240.92(B), página 82, donde: $T2 = 150^{\circ}C$; $T1 = 75^{\circ}C$; t = tiempo de acción de la protección (se toma un ciclo

16 ms). En la tabla 4.6, se presentan los resultados obtenidos luego de utilizar la ecuación 4.6 para distintos calibres de conductores.

Tabla 4.6. Cálculo de área en circular mils para el corto circuito

Calibre [kmil]	Distancia [km]	I _{cc} [kA]	t [s]	T1 [$^{\circ}C$]	T2 [$^{\circ}C$]	Área [kcmil]
300	0,5	10,67	0,016	75	150	25,510
350	0,5	12,68	0,016	75	150	30,315
400	0,5	14,431	0,016	75	150	34,481
500	0,5	17,116	0,016	75	150	40,894

Por el cumplimiento de estos criterios se decide utilizar para el alimentador del tablero 1, 3 conductores tipo THHW a $75^{\circ}C$, calibre 500kmil para los conductores de fase y un conductor del mismo tipo y de calibre 1/0 para la tierra según lo establecido en la tabla 250.66 del CEN. Para esto se selecciona una tubería de 4" de diámetro y una protección termomagnética de 300 A.

Para la selección del resto de los conductores, se realizaron los mismos cálculos y no serán repetidos a menos que sea necesario destacar algo en específico o algún criterio distinto, no antes mencionado.

4.7.3. Alimentador del tablero 3

En la tabla 4.7, se presentan los datos iniciales tomados en cuenta para el cálculo de los conductores con los que el tablero 3 alimenta el motor trifásico de 50 hp que acciona las aspas de la planetaria en 440 V 60 Hz:

Tabla 4.7. Potencias de motores trifásicos y sus corrientes según la tabla 430.250 del CEN

Equipo	Potencia [hp]	Corriente [A]	Cantidad	Factor	Tensión [V]
Motor aspas	50	65	1	1,25	208

$$I_{total} = 82 \text{ A.} \quad (4.7)$$

Capacidad de corriente (ampacidad)

En la tabla 4.8, se presentan los resultados obtenidos para los cálculos de la capacidad de corriente de los alimentadores del tablero 3.

Tabla 4.8.

Calibre [AWG]	Corriente nom. [A]	Factor temp.	Factor activos	Corriente final [A]
1	130	0,82	1	106,6

Caída de tensión

En la tabla 4.9, se presentan los resultados obtenidos para distintos calibres.

Tabla 4.9.

Calibre [AWG]	r [Ω/km]	x [Ω/km]	cos(Φ)	sin(Φ)	Tensión [V]	K	Distancia [km]	Caída de V. [%]
1	0,49	0,151	0,9	0,436	440	0,262	0,05	2,993

Capacidad de cortocircuito

En la tabla 4.10, se presentan los resultados obtenidos luego de utilizar la ecuación 4.6 para distintos calibres de conductores.

Tabla 4.10.

Calibre [AWG]	Distancia [km]	I _{cc} [kA]	t[s]	T1[°C]	T2[°C]	Área [kcmil]
1	0,5	3,347	0,016	75	150	7,997

Por el cumplimiento de estos criterios se decide utilizar para el alimentador del tablero 2, el calibre cuyas especificaciones se muestran en la tabla 4.11.

Tabla 4.11. Canalizaciones tablero 1. **Nota:** Conductor de tierra seleccionado según lo establecido en la tabla 250.66 del CEN

Calibre - 3 fases	Corriente nom.[A]	Protección[A]	Calibre[AWG] tierra	Tubería
# 1 AWG THHW 75 °C	130	100	# 8 AWG THHW 75 °C	2"

A continuación se presentarán únicamente los datos técnicos importantes de los conductores seleccionados y los cálculos de ser necesarios.

4.7.4. Canalizaciones de los motores alimentados por el tablero 1

En la tabla 4.12, se presentan los detalles de las canalizaciones determinadas para los equipos alimentados por el tablero 1.

Tabla 4.12.

Equipo	Potencia [hp]	Conductor [AWG] : 3F + 1T	I_{nom} [A]	Tubería	Protección[A]
Motores tapas de silos y extracción	10	4 + 10	85	2"	50
Motores vibradores	1 1/2	12 + 12	16,4	2"	20
Motores bombas	10	4 + 10	85	1"	50

4.7.5. Canalizaciones de los equipos de medición, sensores y fuentes, alimentados por el tablero 2

En la tabla 4.13, se presentan los detalles de las canalizaciones determinadas para los equipos alimentados por el tablero 2.

Tabla 4.13.

Equipo	Corriente [mA]	Conductor [AWG] : 1F + 1F cont. + 1T	I_{nom} [A]	Tubería	Protección [A]
Sensores inductivos	200	12 + 12	25	1"	20
Sensores capacitivos	200	12 + 12	25	1"	20
Celdas de carga	200	ST (5 x # 24 AWG)	—	Liquid tight	—
Fuente de 24 V DC	5	12 + 12	5	1"	20
Fuente de 5 V DC	5	12 + 12	5	1"	20

4.7.6. Canalizaciones del motor de las aspas de la planetaria, alimentado por el tablero 3 a 440 V

En la tabla 4.14, se presentan los detalles de las canalizaciones determinadas para el motor alimentado por el tablero 3.

Tabla 4.14.

Equipo	Potencia [hp]	Corriente [A]	Conductor [AWG] : 3F + 1T	I_{nom} [A]	Tubería	Protección [A]
Motor aspas planetaria	50	66	2 + 8	115	2"	100

Nota: Las tuberías son de aproximadamente 3 m cada una, los cruces y las

interconexiones se realizan a través de cajas de paso de PVC de 6x6x4 pulgadas.

4.7.7. Cableado de los dispositivos de control

Los elementos de control que se encuentran dentro del tablero 2 son cableados con conductores de cobre # 23 AWG y cabezales de tipo *jumper*. Entre estos se encuentran los Arduino, el transmisor/indicador de peso y los relés.

4.8. Diseño del tablero de control

Para diseñar el tablero de control, se realizaron los correspondientes diagramas unifilares, trifilares, de control y de sensores de toda la planta. Los diagramas mencionados anteriormente, así como las vistas de los tableros y el listado de bornes, se presentan a partir del anexo 3. La documentación técnica fue realizada según lo establecido en [19].

El sistema eléctrico de esta planta tiene la particularidad que requiere tres (3) tableros. Un tablero denominado Tablero 1, es el encargado de energizar todos los motores de 208 V. Este posee en su interior las protecciones termomagnéticas de dichos motores, los contactores y a su vez, alimenta al Tablero 2 que es el tablero de control.

El Tablero 2, tiene en su interior las dos placas de Arduino, los relés tanto de salida a los contactores como los entrada proveniente de los sensores, el indicador/transmisor de peso y las fuentes de tensión DC. Este tablero se justifica por la necesidad de separar los elementos y dispositivos dedicados al control por distintas razones, entre ellas su delicadeza por no estar fabricados para ambientes industriales, su sensibilidad al ruido eléctrico-magnético, interferencia en las señales, entre otras. También sobre este tablero están los botones y switch necesarios para realizar la operación sobre la máquina de forma local y manual en caso de ser

requerido por el operador. A su vez, se puede tener un dispositivo inteligente que pueda correr la aplicación para hacer el proceso de forma automática sin necesidad de tener un dispositivo móvil.

Por último, se tiene el Tablero 3 que alimenta al motor de las aspas de la planetaria. Este tablero trabaja en 440 V y es por esto que está separado de los anteriores. En la tabla 4.15, se presenta una lista de todos los elementos eléctricos utilizados en la planta.

Tabla 4.15. Listado de elementos eléctricos

Código	Nombre	Especificación	Cantidad	Observaciones
QT1	Protección termomagnética trifásica	350 A @ 208 V – 60 Hz – 85 kA	1	Protección principal del tablero 1
QT2	Protección termomagnética trifásica	100 A @ 440 V – 60 Hz – 65 kA	1	Protección principal del tablero 2
Q2, Q4, Q6, Q8, Q9, Q10	Protección termomagnética trifásica	60 A @ 220 V – 60 Hz – 20 kA	6	Protección de los motores de las compuertas de los silos, extracción de la planetaria y bombas
Q3, Q5, Q7	Protección termomagnética trifásica	20 A @ 220 V – 60 Hz – 10 kA	3	Protección de los motores de los vibradores
Q11	Protección termomagnética monofásica	20 A @ 220 V – 60 Hz – 2P – 10 kA	1	Protección de las fuentes DC en el tablero 2

Sigue en la página siguiente.

Código	Nombre	Especificación	Cantidad	Observaciones
QS1	Seccionador trifásico	350 A @ 208 V – 60 Hz	1	Seccionador del tablero 1
QS2	Seccionador trifásico	100 A @ 208 V – 60 Hz	1	Seccionador del tablero 2
K2, K3, K5, K6, K8, K9, K11, K12, K13, K14	Contactores trifásicos	40 A @ 220 V – 60 Hz	10	Contactor de los motores de las compuertas de los silos, extracción de la planetaria y bombas
K4, K7, K10	Contactores trifásicos	9 A @ 220 V – 60 Hz	3	Contactor de los motores de los vibradores de los silos
K15, K16, K17	Contactores trifásicos	80 A @ 440 V – 60 Hz	3	Contactores del arranque estrella – delta
Ka – Km	Relés	5 V DC	13	Relés de salida del Arduino a los contactores
KA1 – KA16	Relés	250 VAC	13	Relés de entrada del Arduino proveniente de los sensores
ASI1 – ASI8	Sensor inductivo	208 V – 60 Hz	8	Final de carrera de las tapas de los silos y de la extracción de la planetaria

Sigue en la página siguiente.

Código	Nombre	Especificación	Cantidad	Observaciones
ASC1 – ASC5	Sensor capacitivo	208 V – 60 Hz	5	Sensores de nivel bajo
AF1	Fuente de poder 24 V DC	220 V – 60 Hz	1	Alimentación del transmisor/indicador de peso
AF2	Fuente de poder 5 V DC	220 V – 60 Hz	1	Alimentación de los relés
S2-S8	Selector local/remoto 3 estados	7		Selector local/remoto; apertura/cierre de tapas; encendido/apagado de bombas; encendido/apagado motor de la planetaria
ALC1- ALC4	Celda de carga Laumas	4		Colocadas en bases de la planetaria
S1	Pulsador de emergen- cia/parada	1		Ubicado en el tablero 2 como parada de emergencia

En la sección de anexos presentes en este trabajo, se encontrarán los mencionados diagramas unifilares y trifilares, así como las vistas de los tableros y el listado de bornes. Las borneras utilizadas son de tipo UT4-TWIN HV.

CAPÍTULO V

PROGRAMACIÓN, VALIDACIÓN Y RESULTADOS

5.1. Programación de los controladores definidos

Para la programación de los controladores, se utilizó el entorno de desarrollo de Arduino donde se elaboraron los códigos que controlan el comportamiento del sistema y el programa Proteus para visualizar el comportamiento de forma simulada.

La simulación se realizó utilizando LEDs que simbolizan las salidas del Arduino. Estas salidas irían a los relés que activarían los contactores de los motores. También, se utilizaron switch encendido/apagado para simbolizar la entrada de los sensores. Se comenzó por definir el número y el tipo de las entradas y salidas que se tienen y se presentan a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 5.1. Tabla de entradas y salidas

	Objeto en sistema	Cantidad	Elemento
Entrada	Sensores de nivel de silos	3	Switch ON/OFF
	Sensores de nivel de tanques	2	Switch ON/OFF
	Sensores de cierre de tapa	8	Switch ON/OFF
	Entrada de peso	1	Potenciómetro
Salida	Bombas	2	LED
	Motores tapas	4	LED
	Vibradores	3	LED
	Motor planetaria	1	LED

La programación se dividió en dos bloques, uno que corresponde al funcio-

namiento del Arduino encargado de la operación automática/remota y el otro encargado de la operación manual/local.

5.1.1. Operación automática/remota

La programación de este bloque fue estructurada en base a un proceso tipo batch donde el programa corre y se ejecuta una vez hasta su culminación. Una vez finalizado, este aguarda confirmación u orden para realizarse nuevamente. El programa ejecuta inicialmente una rutina de verificación de condiciones iniciales necesarias para comenzar y de no cumplirse, no permite el inicio del batch.

Se recibe a través del puerto serial la información proveniente de la aplicación que indica la orden de comienzo, pausa o parada de emergencia y el porcentaje que se desea agregar de cada elemento de la mezcla. De la misma forma, se envía a la aplicación a través del puerto serial la información del estado actual del proceso para ser mostrado en la vista principal de la aplicación.

Si la aplicación envía la orden de comienzo y una receta de mezcla que cumpla con que su suma totaliza un 100 % y que ninguno de los elementos corresponde a menos del 5 %, entonces se enciende el motor de la planetaria y se continúa con el proceso.

Una vez encendida la planetaria, se enciende el motor encargado de la apertura del primer silo hasta que el sensor de final de carrera que indica la apertura completa se activa y se apaga el motor. Se enciende también el vibrador del mismo. Luego, se mide el peso agregado a la mezcla y un 2,5 % antes de alcanzar el peso ingresado por el usuario, se enciende el mismo motor pero en sentido contrario para cerrar la tapa hasta que el sensor de final de carrera que indica el cierre completo se active y se apaga el motor. Se apaga también el vibrador.

El cambio en el sentido de giro se logra a través de dos salidas distintas del Arduino que van cada una a un relé, y a su vez, cada uno a un contactor. Uno de estos contactores invierte dos (2) fases respecto al otro y así hacen girar el motor en sentidos contrarios. Dichos contactores se enclavan eléctricamente para evitar cortocircuitos.

Posteriormente, se corren rutinas que, de forma similar para cada silo, ejecutan la apertura o cierre de las tapas. Se verifica el peso agregado a la planetaria a través de una entrada analógica simulada con un potenciómetro. Las entradas analógicas del Arduino tienen una resolución de 10 bits, lo que significa que la lectura que recibe del potenciómetro, que varía entre 0 V y 5 V, la convierte a un equivalente entre 0 y 1.023 niveles de valores digitales. Cada ingrediente de la mezcla tiene asignado un porcentaje y estos se traducen en un nivel de giro del potenciómetro y el giro completo corresponde al total de la mezcla.

Nota: en la realidad, la empresa siempre produce la misma cantidad de concreto por defecto, esto es alrededor de 8 toneladas por batch, es por esto que en el programa se considera que el 100 % del peso final de la mezcla corresponde a un peso de 8 toneladas aproximadamente y a su vez, 5 V tanto en la simulación como en la emulación.

De la misma forma, el programa ejecuta funciones similares para todos los silos, vibradores y bombas. Luego, mezcla por cinco (5) segundos (esto corresponde a aproximadamente tres (3) minutos en la realidad) y realiza la apertura de la tapa de extracción de la planetaria (también parando con la señal de los sensores de final de carrera en ambos extremos), donde por efecto de la gravedad y del movimiento de las aspas, el concreto desciende y sale de la misma. Finalmente, se cierra esta tapa, se envía señal de que el proceso ha concluido y se aguarda confirmación de la aplicación para continuar y comenzar otro batch o finalizar el proceso apagando el motor de la planetaria.

El proceso de verificación de condiciones revisa que todas las tapas estén cerradas (si no lo están, se cierran), que todos los silos y tanques tengan suficiente material para concluir al menos un batch y que la planetaria se encuentre vacía. Si no se cumple alguna de estas condiciones, se envía a la aplicación un mensaje que se muestra en pantalla y no se permite comenzar el proceso hasta no cumplirse todas. Si los sensores de nivel de los silos detectan que no hay suficiente material una vez comenzado el proceso, el programa continúa ya que dichos sensores son de nivel bajo y fueron instalados sólo para indicar si hay suficiente material para producir al menos un batch.

La figura 5.1 muestra un diagrama de flujo alusivo al proceso que cumple el programa de control de forma remota.

Adicional a esto, si el programa recibe la orden para pausar el proceso, se ocasiona el cierre de las tapas, si estas se encuentran abiertas, se apagan los vibradores y las bombas. Sin embargo, el motor de la planetaria se mantiene girando. La orden detener opera de la misma forma pero esta sí concluye con el apagado del motor de la planetaria. Esto debe ocurrir únicamente en casos de verdadera emergencia ya que detener el movimiento de las aspas puede llevar a que el concreto se solidifique estando aún en la planetaria. Si la parada se realiza a través de la aplicación, esta solicita doble confirmación por seguridad. De igual forma, en el tablero de control hay un botón de parada de emergencia que puede ser accionado manualmente independientemente de si la máquina está en estado automático o manual.

El programa se encuentra enviando constantemente a la HMI un mensaje indicando el estado en que se encuentra, para ser leído por el usuario.

A continuación se presentan las figuras 5.2, 5.3, 5.4 y 5.5, alusivas a la simulación.

Figura 5.1. Diagrama de flujo del programa de control de forma remota

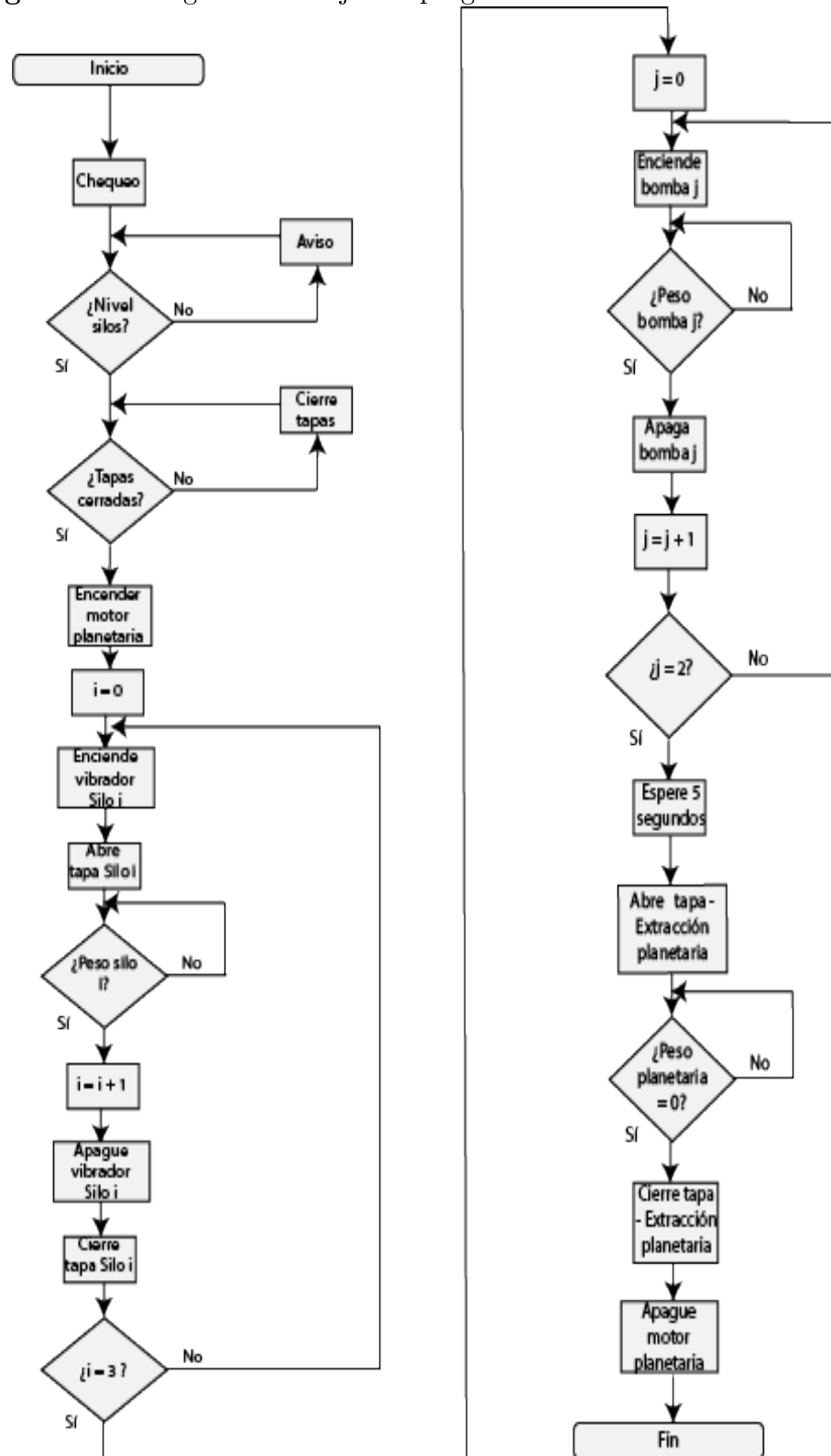


Figura 5.2. Sensores de nivel de los tanques y silos

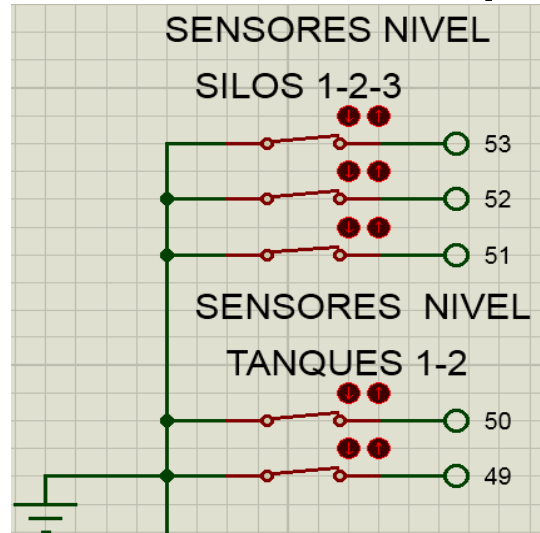


Figura 5.3. Sensores de final de carrera

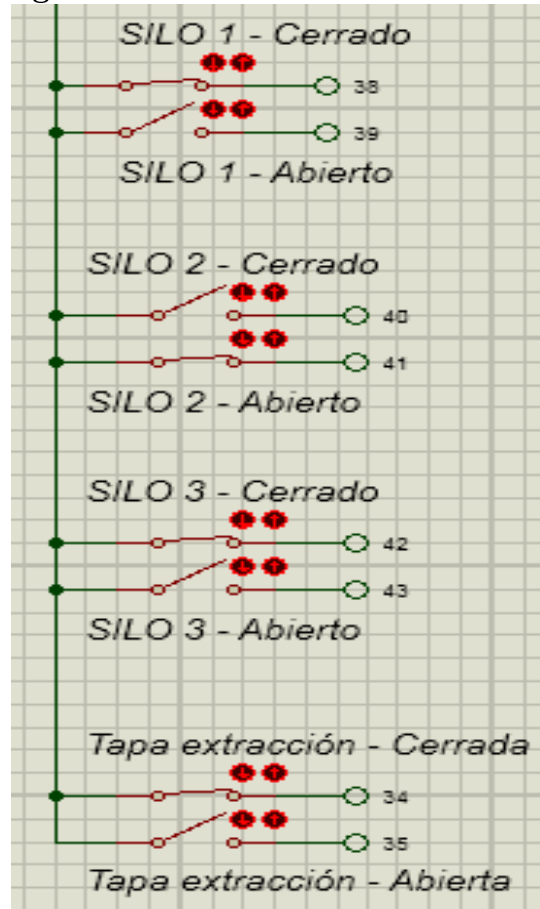


Figura 5.4. Entrada analógica de peso

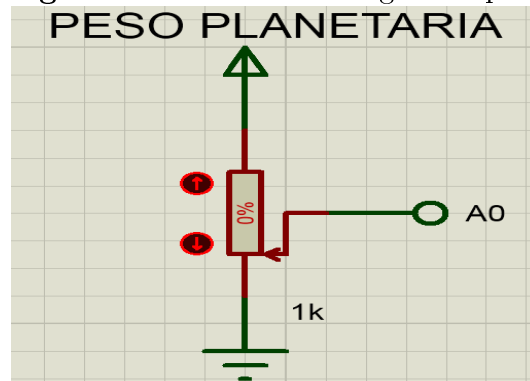
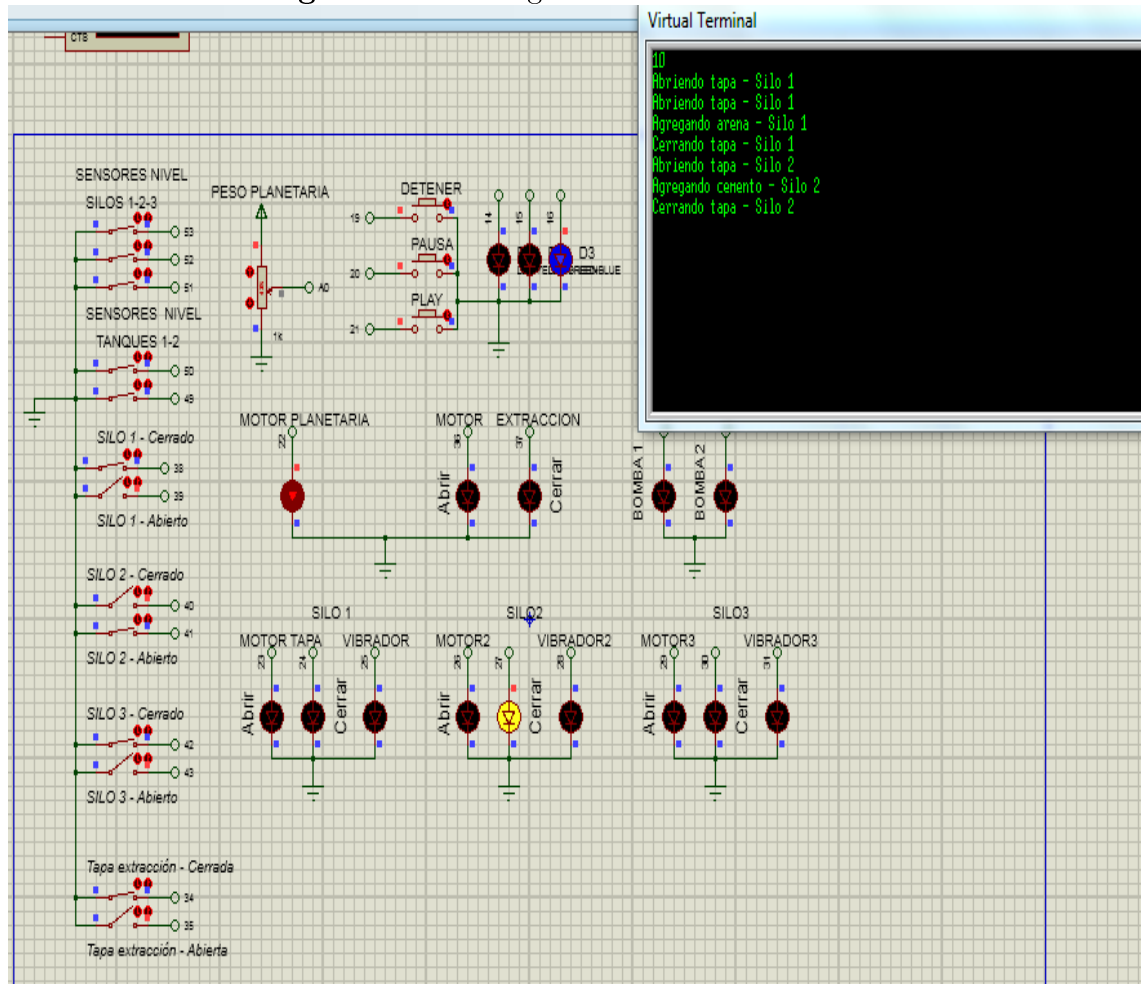


Figura 5.5. Vista general de la simulación



5.1.2. Operación manual/local

En el caso del control de forma local, el operador tendría que seleccionarlo a través de un selector físico de tres (3) estados. Esto deja a la HMI como una opción para visualizar el estado del proceso y no para tomar decisiones sobre el mismo. Para esto se utiliza el módulo multiplexador.

El Arduino ejecuta un programa más simple en el que le da a la aplicación las señales provenientes de los sensores y el estado en que se encuentra la máquina. El programa recibe órdenes provenientes de los botones instalados en el tablero de control. La apertura de las tapas se hace pulsando el botón de apertura y este proceso se detiene de forma automática cuando así lo indique el sensor de final de carrera. De forma similar ocurre en el cierre pero pulsando el botón de cierre. El encendido y apagado de los vibradores se hace pulsando una vez el botón para encender y pulsando el mismo nuevamente para apagar. De igual forma operan las bombas, la tapa de extracción de la planetaria y el motor de las aspas de la misma.

Este Arduino no toma acciones de control por si solo a excepción del apagado de los motores de de las tapas cuando se confirma el final de carrera. También, este cuenta con una rutina de chequeo inicial para cerrar las tapas (si se encuentra alguna abierta) o apagar los motores que estén encendidos (exceptuando el de las aspas de la planetaria) al comenzar el programa. Esto se hace con el fin de que si ocurre una falla en el funcionamiento automático y se decide pasar a la operación manual en el medio del proceso, este sea capaz de tomar el control de la planta generando una condición inicial segura de operación.

5.1.3. Consideraciones

- Se establece una banda de tolerancia para la dosificación de los elementos del $\pm 5\%$, esto quiere decir que si la cantidad agregada de cualquiera de los elementos difiere hasta en un 5% por encima o por debajo, el programa no tomará alguna acción adicional. De lo contrario, este dará un aviso al operador a través de la aplicación haciéndole saber que este hecho ocurrió, específicamente en cuál ingrediente y correrá la rutina de pausa cerrando todas las tapas y apagando los motores exceptuando el de las aspas de la planetaria. Esto con el fin de aguardar la confirmación del usuario para continuar o dar la opción para pasar al modo manual y recalcular la mezcla de ser necesario.
- Se considera que los batch que se realizan en la empresa son siempre de aproximadamente 8 toneladas. Es por esto que el usuario no tiene la opción de ingresar la cantidad de mezcla total que se desea. Se recomienda considerar que el usuario pueda ingresar el peso exacto que se quiere producir de mezcla para una fase próxima de este proyecto.
- Cuando se pasa a la operación manual, el programa del Arduino encargado de esta modalidad no tiene control sobre el peso agregado, el control queda en manos del usuario, este podrá observar el peso agregado a través del indicador/transmisor de peso ubicado en el tablero de control. Esto se puede apreciar con mayor detalle en el anexo 17 .
- Los dos Arduino son independientes y están aislados galvánicamente. Esto se hace con el fin de asegurar que si ocurre una falla en alguno de ellos, no se afecten entre si y el intercambio de operación entre automático y manual se haga sin acarrear los problemas que tuvo el anterior. Cada uno realiza la medición y la recepción de datos de la planta de forma separada a través del módulo multiplexador de señales.

- En el modo automático, el cierre de las tapas de los silos se realiza cuando la medición de peso se acerca en un 2,5 % antes de alcanzar el porcentaje introducido. Esto se hace con el fin que la dosificación sea lo más exacta posible. **Nota:** Sería necesario realizar pruebas directamente con la máquina para determinar experimentalmente el valor más apropiado para el cierre de la tapa, se recomienda esto para fases futuras de este proyecto.

5.2. Desarrollo del sistema de HMI seleccionado

A nivel conceptual, se tenía contemplado utilizar un Raspberry Pi 3 para la comunicación entre la aplicación y el Arduino; sin embargo, no fue posible la adquisición del dispositivo durante la realización del trabajo. Es por esto que la comunicación entre la aplicación y el Arduino se emuló empleando un computador de forma similar a como lo hace el Raspberry. Como se menciona en el marco teórico, un Raspberry es básicamente una computadora pequeña, tiene su propio sistema operativo y funciona como tal. La computadora en este caso funciona como intermediario entre la aplicación y el Arduino, corriendo un software y una base de datos interna.

La HMI consta de una aplicación para dispositivos móviles y fue desarrollada en el framework ionic, bajo la premisa que esta debe enviar una señal al Arduino para comenzar su funcionamiento. Además, envía el porcentaje que debe agregar de cada elemento a la mezcla y tiene la posibilidad de enviar una señal de pausa/reanudar y también parada de emergencia. En este orden de ideas, la aplicación puede mostrar en pantalla el proceso en que se encuentra el Arduino, como por ejemplo: “Abriendo tapa - Silo 1”.

La aplicación primero solicita que se ingrese un usuario y una clave, datos que son previamente almacenados en la base de datos, de esta forma, un usuario no registrado no podría tener control sobre la máquina. A su vez, tanto la aplicación

como el Raspberry están conectados a través de una red local con un router Wi-Fi, es decir, otro dispositivo móvil no podría tener acceso si no se encuentra dentro de la misma red que también está protegida por contraseña.

Si se ingresa un usuario y una contraseña válidos, se despliega una vista con tres (3) botones: “Iniciar”, “Pausa” y “Parada de emergencia”. Si se pulsa “Iniciar”, se despliega un formulario donde se deben introducir los porcentajes de cada ingrediente de la mezcla y estos deben sumar 100 %. De lo contrario, el programa da un aviso para que el operador corrija. En la figura 5.6, se muestra el formulario.

Figura 5.6. HMI - Formulario receta de mezcla

Si se cumple la condición, la aplicación envía esta información al Arduino y este comienza el proceso. A su vez, la aplicación muestra en pantalla el resultado de la receta introducida por el usuario y muestra un mensaje proveniente del Arduino con el estado en que se encuentra el proceso y el porcentaje agregado hasta el momento.

Nota: Se considera que la aplicación estará sólo en manos de un operador capacitado para la ejecución del proceso, de modo que los valores ingresados y las acciones tomadas son responsabilidad del mismo y no del software.

Mientras la operación del Arduino está en curso, mediante la aplicación, el usuario tiene la opción de pulsar “Pausa”, lo cual llevará al Arduino a ejecutar su rutina dispuesta para tal fin que cierra las tapas abiertas y apaga los motores encendidos exceptuando el de las aspas de la planetaria. Si el usuario pulsa “Continuar”, el Arduino reanuda el proceso en el que se encontraba. Si el usuario pulsa “Parada de emergencia” en cualquier momento, la aplicación muestra un mensaje emergente pidiendo confirmación dos veces por seguridad. En la figura 5.7, se muestra la vista principal de la aplicación, en la figura 5.8, se muestra el mensaje de confirmación mencionado.

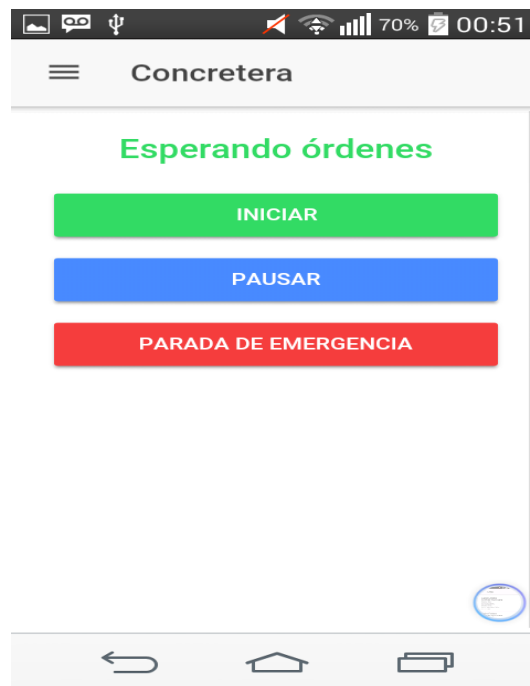


Figura 5.7. HMI - Vista principal

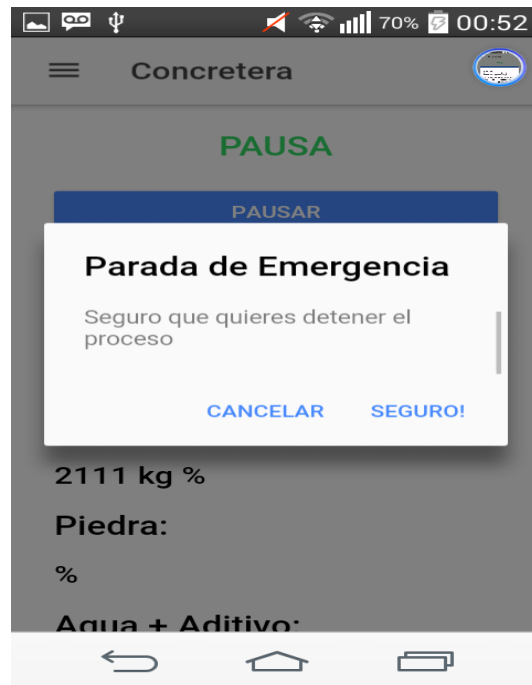


Figura 5.8. HMI - Mensaje de confirmación de parada

Como se mencionó en la sección anterior, si la dosificación de un ingrediente se excede en un 5 % o más, se da un mensaje a la aplicación para avisar al usuario de lo ocurrido y el proceso se pausa, si el usuario decide continuar, debe pulsar “Continuar”, de lo contrario, debe dirigirse al tablero de control y cambiar al modo de operación manual para continuar el proceso una vez haya hecho los ajustes necesarios en el diseño de la mezcla. En la figura 5.9, se muestra el mensaje mencionado.

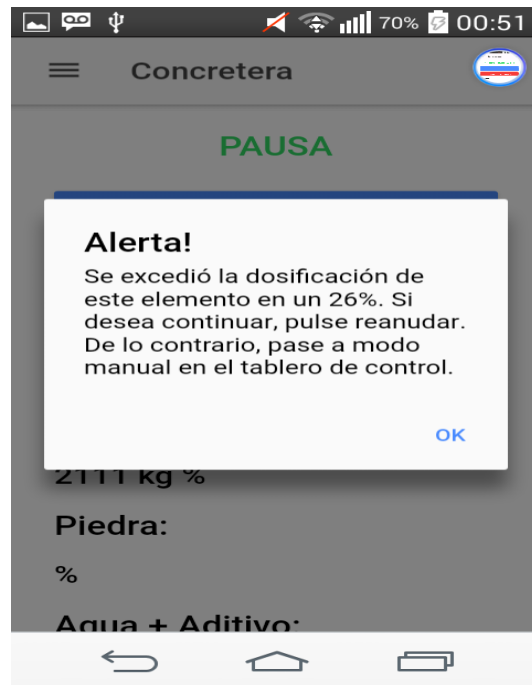


Figura 5.9. HMI - Mensaje de alerta

Una vez culminado un batch completo, el Arduino espera, con el motor de la planetaria en funcionamiento, la confirmación de la aplicación para comenzar de nuevo o detenerse por completo apagando el motor. En las figuras 5.10 y 5.11, se muestran vistas de la aplicación en funcionamiento automático y manual respectivamente.

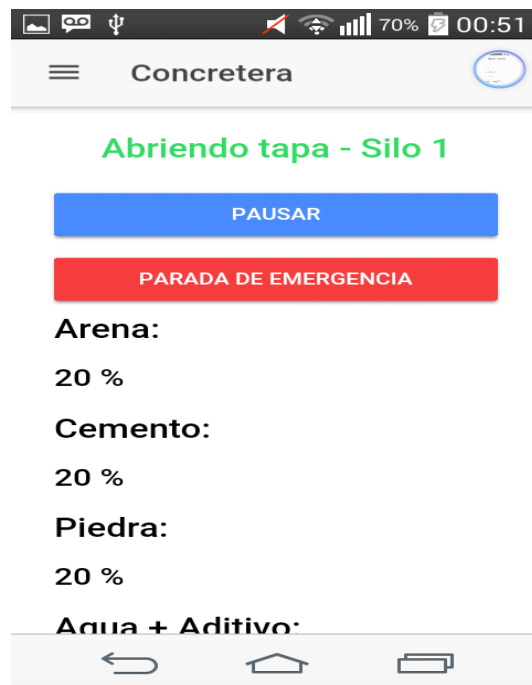


Figura 5.10. HMI - Funcionamiento automático

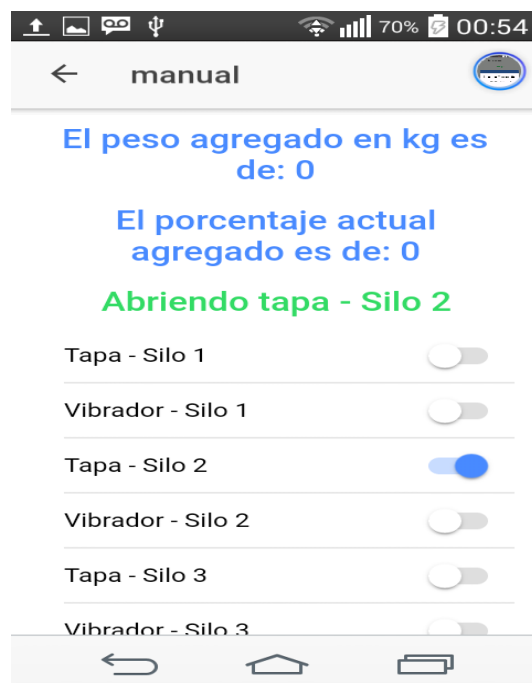


Figura 5.11. HMI - Funcionamiento manual

Por otra parte, a través del menú de la aplicación se puede acceder a un historial donde se refleja la información referente a las operaciones realizadas por los usuarios. La vista del historial se muestra en la figura 5.12.

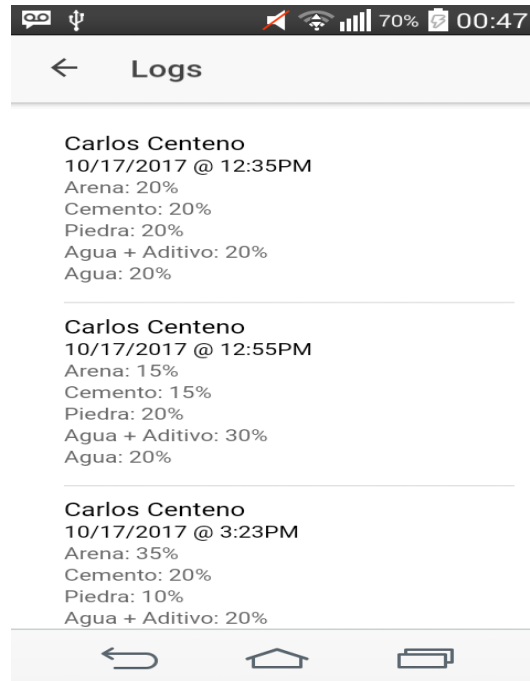


Figura 5.12. HMI - Historial

5.3. Validación de la programación de los dispositivos

La validación se realizó a través un montaje en protoboard en forma de emulación del sistema real, es decir, no se realizó un modelo a pequeña escala de la máquina sino una representación simbólica del comportamiento del sistema completo. Se utilizó una placa de Arduino Mega, LEDs y switch.

La medición de peso se emula a través de un potenciómetro, el cual, tiene su tensión máxima y mínima entre 5 V DC y 0 V DC respectivamente. Esta tensión es recibida por el pin A15 del Arduino que es capaz de realizar la conversión de analógico a digital con una resolución de 1.023 bits, esto significa que esa

escala de 0 V a 5 V analógicos la convierte en una escala de 0 a 1.023 valores digitales equivalentes. De esta forma se pretende emular una medición de peso de la planetaria que iría de 0 a 8 toneladas aproximadamente en cada batch. Cabe destacar que en la planta real, el peso se leería de forma directa a través de las celdas de carga, estas enviarían la información de forma analógica al transmisor e indicador de peso. Luego, este enviaría la información de forma digital a través de comunicación serial al Arduino.

La aplicación se ejecutó en un dispositivo móvil y la comunicación entre ambos se realizó a través de una computadora portátil y un módulo Wi-Fi.

Como se mencionó anteriormente, las salidas digitales del Arduino que entrarían a los relés que activan los contactores que accionan los motores, son representados a través de LEDs de distintos colores para diferenciar su función. Los sensores que irían a los relés que entran al Arduino, son simbolizados como switch tipo encendido/apagado.

Las conexiones se hicieron con cables tipo *Jumper* y cables # 23 AWG. El programa se carga en el Arduino a través del puerto USB de la computadora. Las órdenes provenientes de la aplicación son enviadas a través de la conexión Wi-Fi a la computadora y esta las envía de forma serial al Arduino por el puerto USB.

La computadora es la encargada de ejecutar el denominado *backend* que se encarga de la comunicación con la base datos, la aplicación en el teléfono a través del Wi-Fi y el Arduino a través del puerto serial.

5.4. Resultados

En las figuras 5.13, 5.14, 5.15 y 5.16, se muestra el funcionamiento del diseño en dos estados diferentes. El dispositivo móvil se comunica con la computadora a

través de un router Wi-Fi y, a su vez, la computadora con el Arduino a través del puerto serial. Las órdenes enviadas por la aplicación son recibidas por el Arduino y este envía un mensaje a la aplicación que se muestra en pantalla con el estado en el que se encuentra.

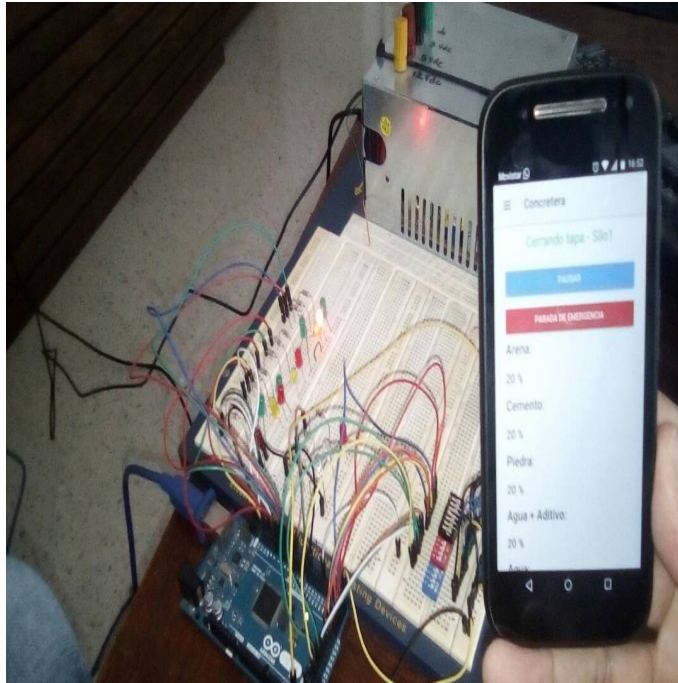


Figura 5.13. HMI - Historial



Figura 5.14. HMI - Historial

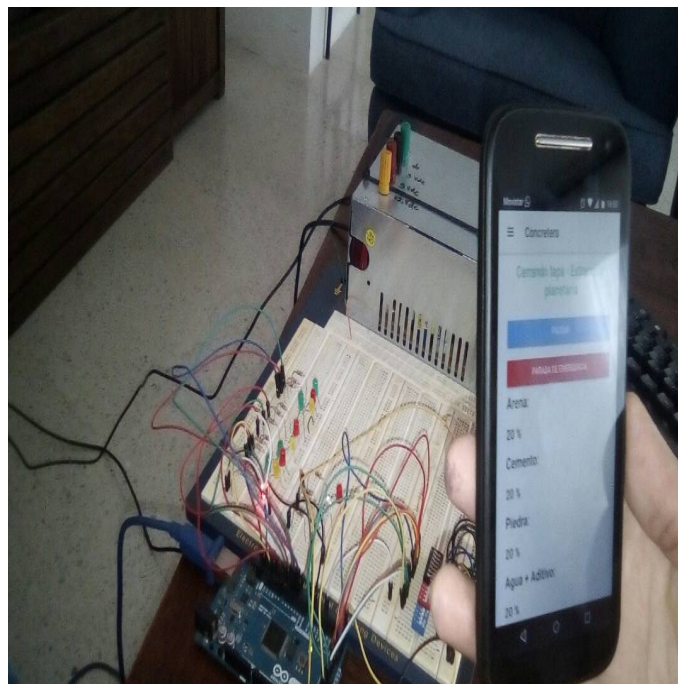


Figura 5.15. HMI - Historial

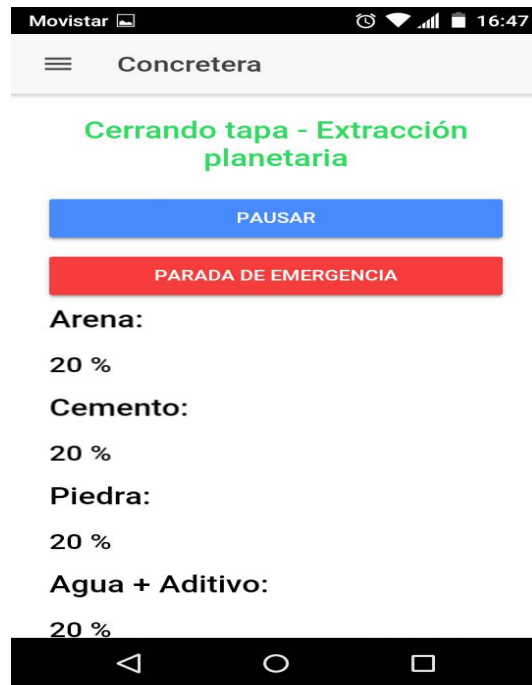


Figura 5.16. HMI - Historial

CONCLUSIONES

Se diseñó el sistema de control con plataformas de desarrollo para la automatización del proceso de mezcla de concreto de la planta concretera de la empresa Tempreca C.A. Gracias a esto, la empresa Tempreca C.A. podrá poner en marcha la automatización de su concretera disminuyendo sus costos de operación, mano de obra, mejorando la calidad de su producto y minimizando sus pérdidas.

Se documentó el proceso de mezclado del concreto y sus distintas técnicas consultando la bibliografía disponible y comúnmente utilizada por los ingenieros, estudiantes y profesores del área.

Se documentaron algunas de las normativas vigentes referentes al proceso de obtención del concreto y sus estándares de calidad.

Se comparó la factibilidad de implementar el sistema de control con plataformas de desarrollo vs. PLC. Se pudo concluir que ambos son igualmente capaces con distintas bondades y limitaciones, siendo el precio y la posibilidad de utilizar sistemas *open source* o libres, los principales motivos por los cuales se decidió utilizar el Arduino.

Se diseñó el esquema conceptual de la planta con el cual se pudo obtener un mejor entendimiento del funcionamiento en general, así como también permitió plantear la mejor solución en cuanto a los dispositivos que eran necesarios agregar.

Se definieron los equipos e instrumentación para el control principalmente utilizando los disponibles en el *stock* o almacén de la empresa 3phasic Solutions.

Se definió la interfaz humano-máquina (HMI) del sistema, la cual resultó en una aplicación para dispositivos inteligentes.

Se diseñaron las canalizaciones eléctricas para el sistema de control y fuerza propuestos, siguiendo lo establecido principalmente en el CEN y cuidando los criterios para un óptimo funcionamiento como la capacidad de corriente, la caída de tensión y la capacidad de corto circuito de los conductores.

Se diseñó el tablero de control a través del diseño del diagrama unifilar de la planta, el diagrama trifilar, los planos de canalizaciones, el diagrama de control, el diagrama de sensores y el listado de bornes. Esta documentación se presenta en los anexos del presente trabajo.

Se programaron los controladores definidos que fueron el Arduino encargado de la acción automática/remota y el de la acción manual/local.

Se desarrolló la HMI seleccionada que resultó en una aplicación para dispositivos inteligentes lo cual permite un gran margen de acción y posibilidades de uso como teléfonos inteligentes, tablets, computadoras y otros.

Se realizó la validación de la programación de los dispositivos, lo cual permite la visualización de manera simbólica de lo que sería el funcionamiento de la máquina una vez sea implementado.

RECOMENDACIONES

Se recomienda para próximas fases del proyecto o para futuros que consideren realizar algo similar, lo siguiente:

- Colocar medidores de corriente como pinzas amperímetricas en la entrada de los motores, para así dar señal al dispositivo programable de que, en efecto, el motor está funcionando. De lo contrario, programar acciones para esta eventualidad.
- Programar la comunicación maestro-esclavo para que el esclavo envíe algún tipo de mensaje al maestro, informando que se cumplió la orden dada. Esto no significa que el esclavo espere órdenes siguientes, sólo que envíe una especie de bandera para simbolizar el cumplimiento de la orden.
- Realizar pruebas directamente sobre la planta para determinar de forma experimental el porcentaje, nivel o momento en el que el programa automático debe cerrar la tapa de los silos o apagar las bombas para obtener el valor más cercano posible al ingresado por el operador mediante la HMI.
- Incluir un dispositivo que permita la medición de humedad relativa de los agregados en los silos e incluso dentro de la planetaria para poder calcular automáticamente en base a esos datos la cantidad de agua que se debe agregar a la mezcla al final.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] B. H. Pineda, “Proceso batch o por lotes,” 2014, [Web; accedido el 15-10-2017]. [Online]. Available: URL{<https://prezi.com/lgvmojddzkqq/proceso-batch-o-por-lotes/>}
- [2] G. Rapetti, “Introducción a los relés,” 2017, [Web; accedido el 15-10-2017]. [Online]. Available: URL{<https://www.inventable.eu/introduccion-a-los-reles/>}
- [3] P. Hernandez, “Sensores inductivos,” 2013, [Web; accedido el 15-10-2017]. [Online]. Available: URL{<https://prezi.com/4xv41hdxduzt/sensores-inductivos/>}
- [4] C. F. P. Pinilla, “Sensores capacitivos,” 2015. [Online]. Available: <https://prezi.com/pzyn2o1bwxbc/sensores-capacitivos/>
- [5] E. S. Alfonso, “Sensores de peso o celdas de carga,” 2014. [Online]. Available: https://prezi.com/qjsb_g3g4r2z/sensores-de-peso-o-celdas-de-carga/
- [6] Hacedores, “Qué tarjeta de desarrollo debo elegir?” 2014. [Online]. Available: <http://hacedores.com/que-tarjeta-de-desarrollo-elegir-parte-1/>
- [7] Wordpress, “Qué es arduino,” 2014. [Online]. Available: <http://hacedores.com/que-tarjeta-de-desarrollo-elegir-parte-1/>
- [8] abc, “Qué es raspberry pi y para qué sirve?” 2013. [Online]. Available: <http://www.abc.es/tecnologia/informatica-hardware/20130716/abci-raspberry-como-201307151936.html>

- [9] R. R. Villa, “Lenguaje c,” 2013. [Online]. Available: <https://prezi.com/5g39sjktycge/lenguaje-c/>
- [10] NetConsulting, “Node.js: Qué es y para que sirve nodejs?” 2015. [Online]. Available: <https://www.netconsulting.es/blog/nodejs/>
- [11] Genbetadev, “Mongodb: qué, cómo funciona y cuándo podemos usarlo (o no),” 2014. [Online]. Available: <https://www.genbetadev.com/bases-de-datos/mongodb-que-es-como-funciona-y-cuando-podemos-usarlo-o-no>
- [12] N. Instruments, “Comunicación serial: Conceptos generales,” 2004. [Online]. Available: <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/039001258CEF8FB686256E0F005888D1>
- [13] C. Mvp, “Desarrollador web: Front-end, back-end y full stack. quién es quién?” 2015. [Online]. Available: <https://www.campusmvp.es/recursos/post/Desarrollador-web-Front-end-back-end-y-full-stack-Quien-es-quien.aspx>
- [14] J. J. P. Rivas, “Qué es y cómo empezar con ionic framework,” 2015. [Online]. Available: <http://www.phonegapspain.com/que-es-y-como-empezar-con-ionic-framework/>
- [15] M. Ubl and E. Kitamura, “Introducción a los websockets: incorporación de sockets a la web,” 2010. [Online]. Available: <https://www.html5rocks.com/es/tutorials/websockets/basics/>
- [16] CCM, “El protocolo http,” 2017. [Online]. Available: <http://es.ccm.net/contents/264-el-protocolo-http>
- [17] J. Porrero, C. Ramos, and J. Grases, *Manual de concreto estructural.(3era edición): Caracas: SIDETUR*, 2009.

- [18] CODELECTRA, *COVENIN 398:1984. Símbolos gráficos para instalaciones eléctricas en inmuebles.(1era revisión): Caracas: CODELECTRA*, 1984.
- [19] —, *COVENIN 2811:1998. Tableros Eléctricos de media y baja tensión. Documentación técnica.(1era revisión): Caracas: CODELECTRA*, 1998.

BIBLIOGRAFÍA

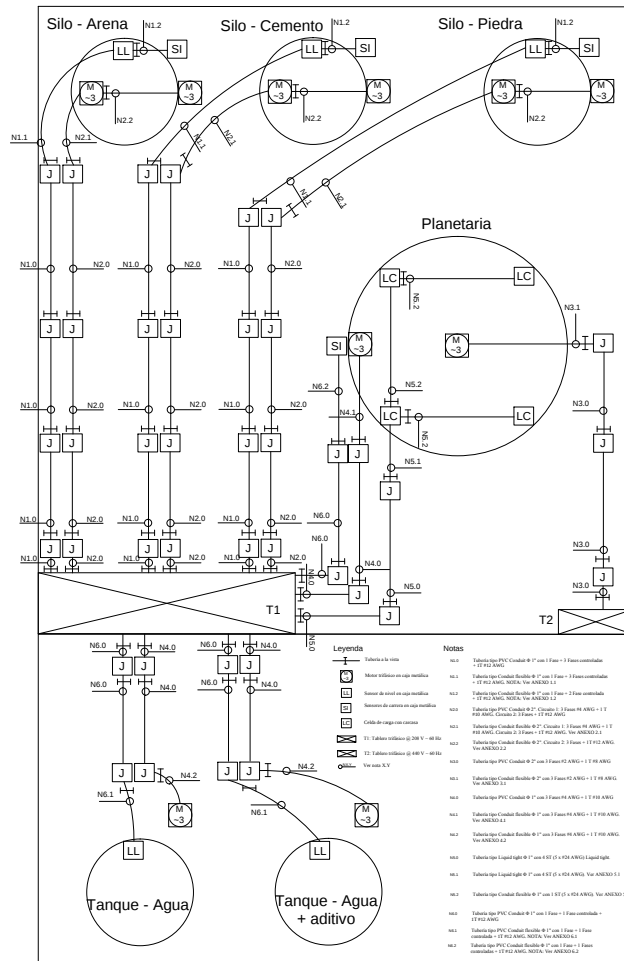
En el presente apartado se presenta la bibliografía consultada mas no mas no citada.

Código Eléctrico Nacional (2009). 8va. Revisión. CODELECTRA.

IEC (60617 : 1997). Graphical symbols for diagrams– Geneva: International Electrotechnical Comission.

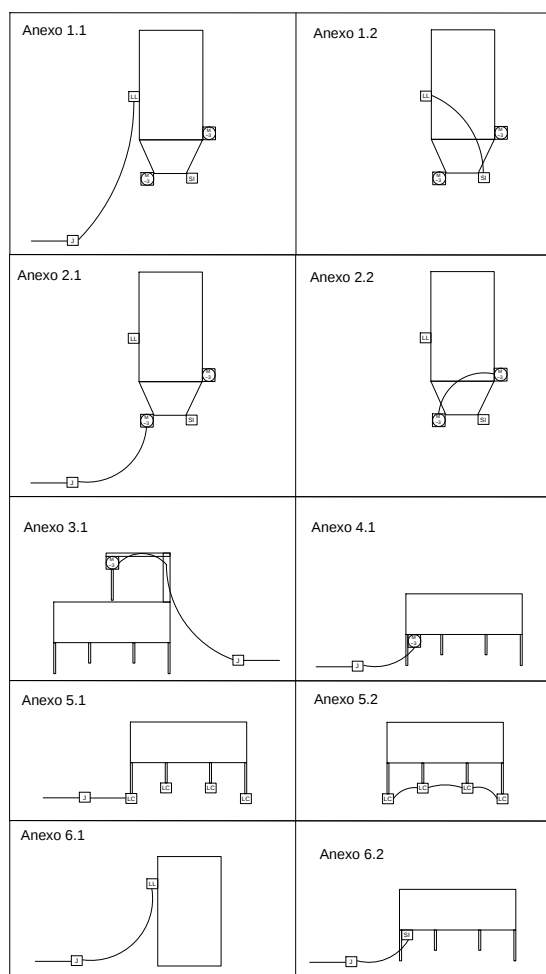
ANEXO I

PLANO CANALIZACIONES



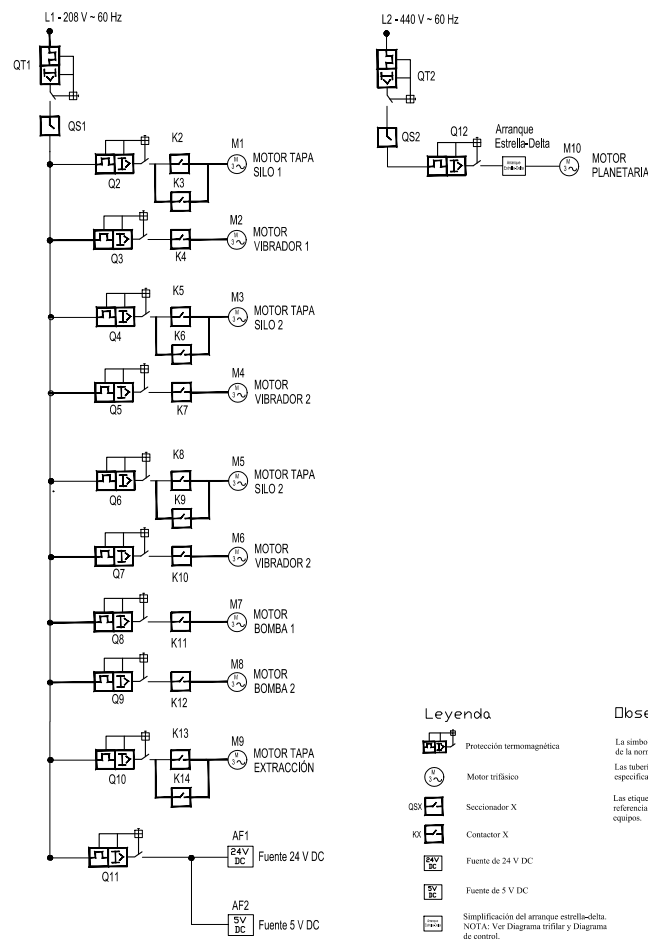
ANEXO II

PLANO CANALIZACIONES - CONTINUACIÓN



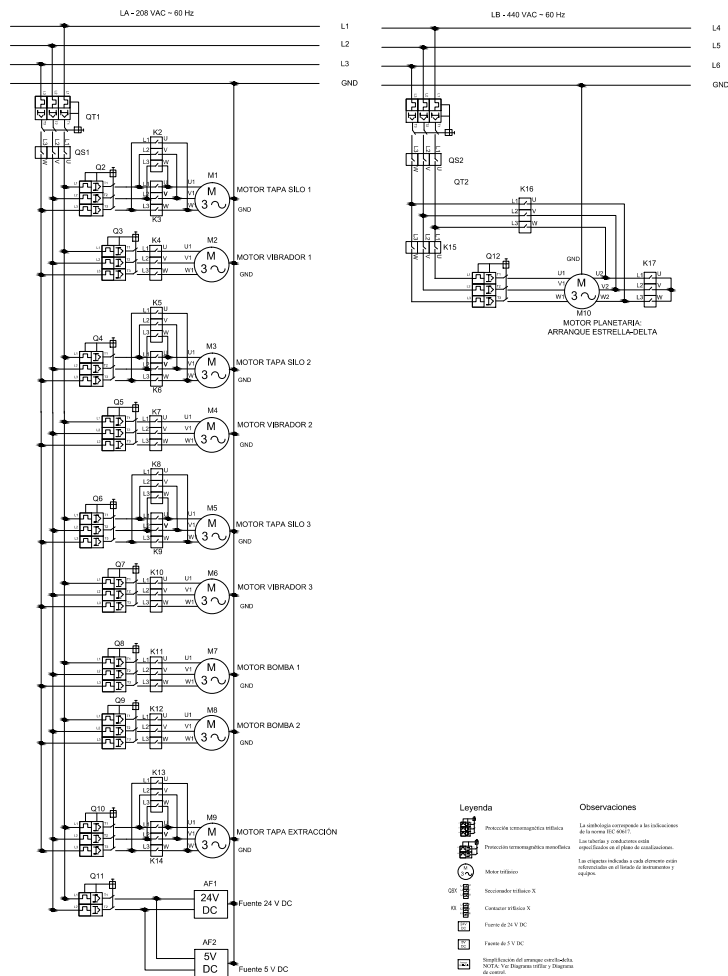
ANEXO III

DIAGRAMA UNIFILAR



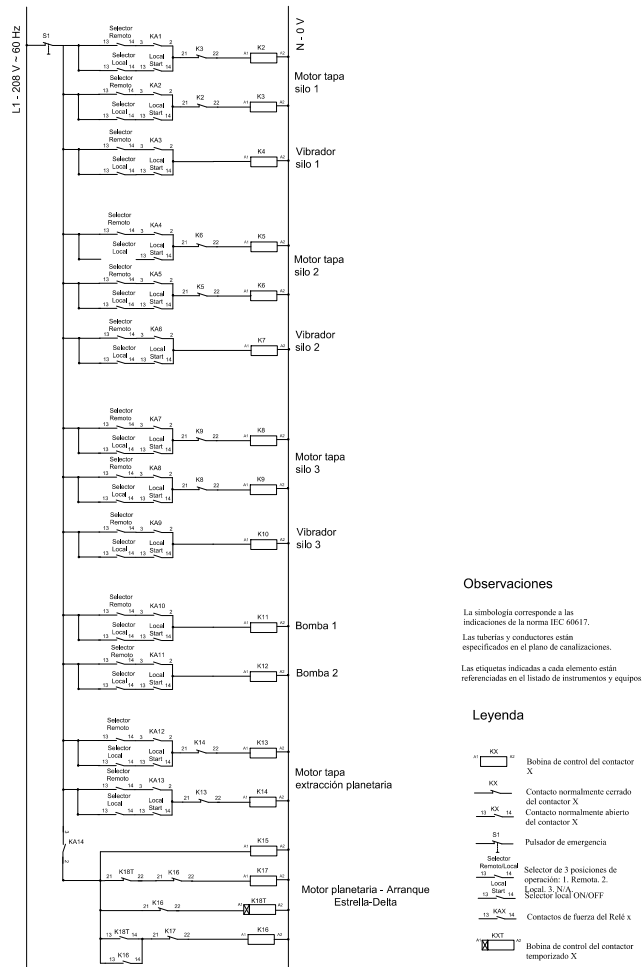
ANEXO IV

DIAGRAMA TRIFILAR



ANEXO V

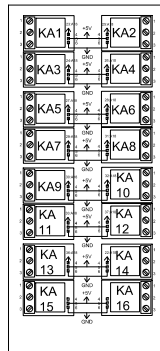
DIAGRAMA DE CONTROL



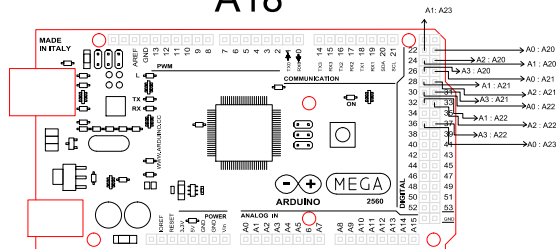
ANEXO VI

DIAGRAMA DE CONTROL - CONTINUACIÓN

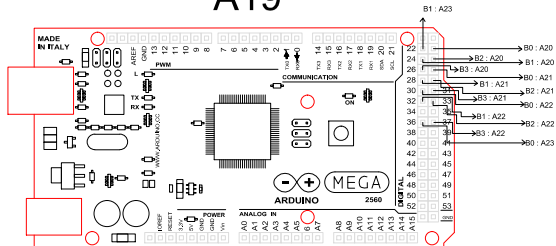
KA17



A18

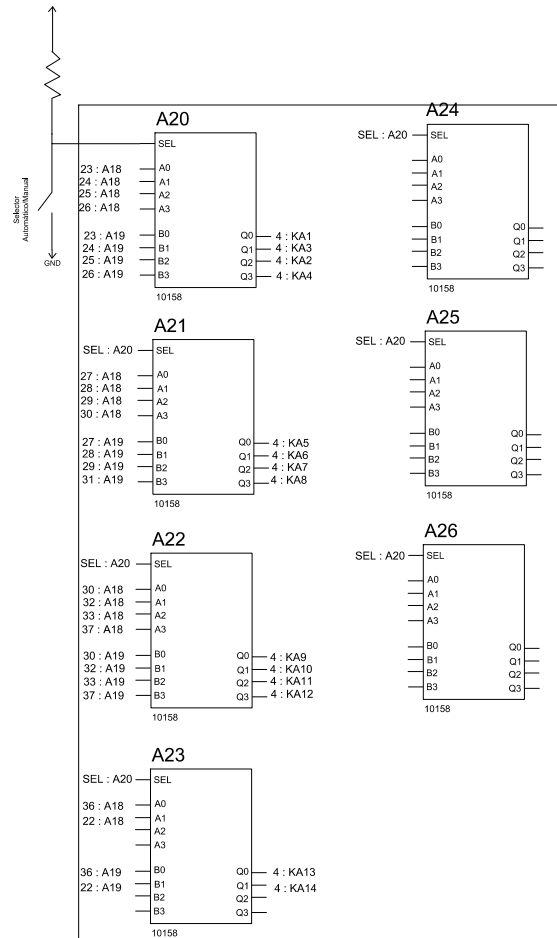


A19



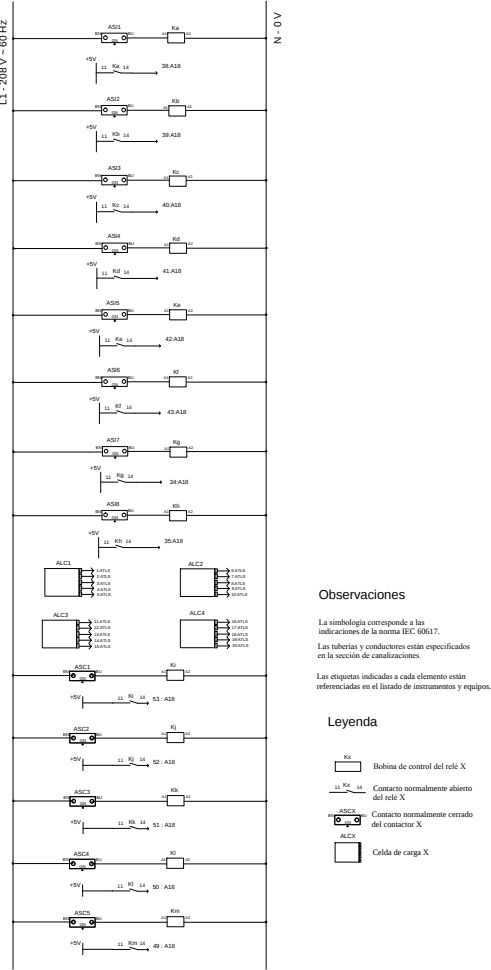
ANEXO VII

DIAGRAMA DE CONTROL - CONTINUACIÓN



ANEXO VIII

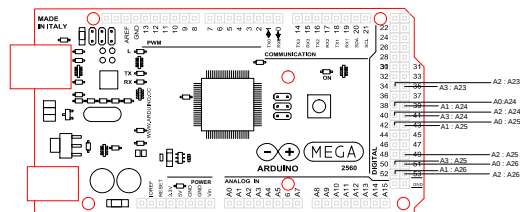
DIAGRAMA DE SENSORES



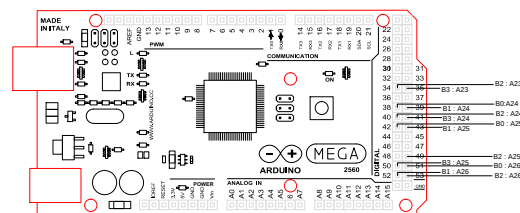
ANEXO IX

DIAGRAMA DE SENSORES - CONTINUACIÓN

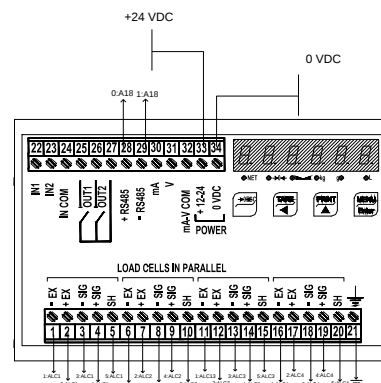
A18



A19

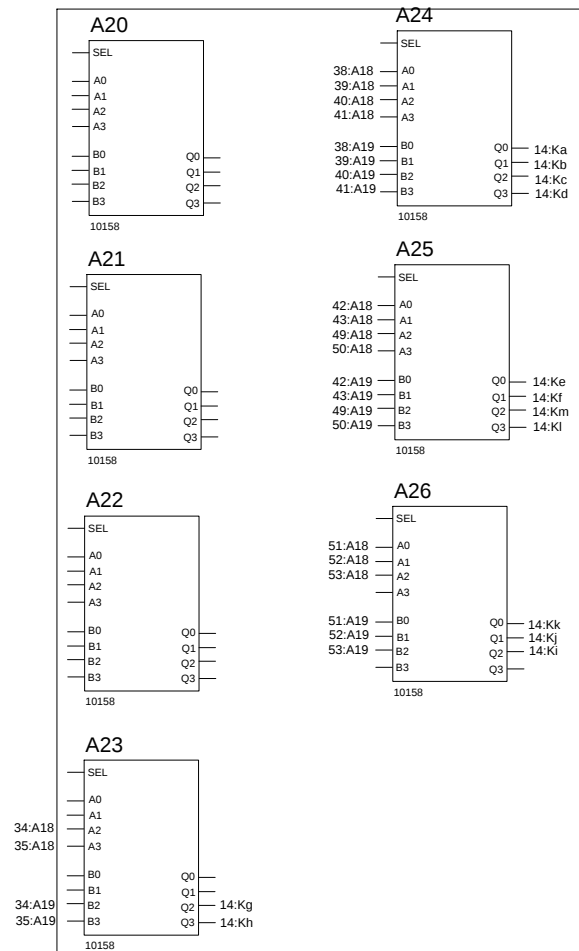


ATLS



ANEXO X

DIAGRAMA DE SENSORES - CONTINUACIÓN

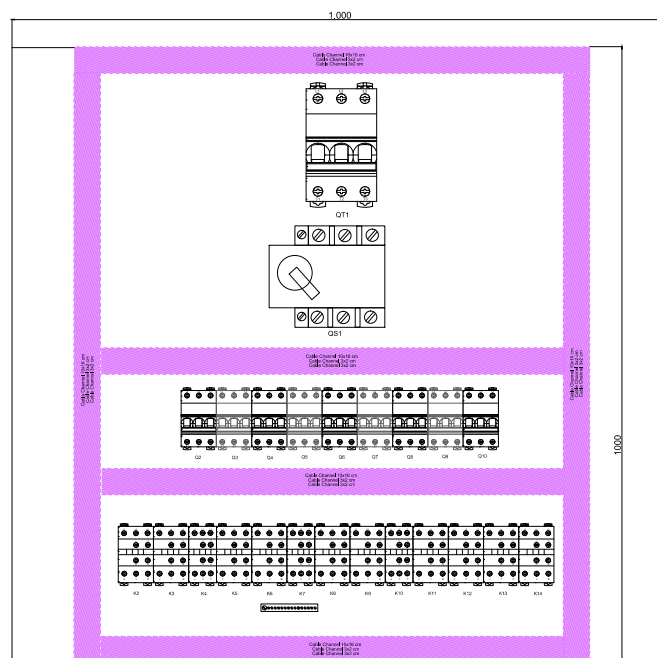


ANEXO XI

TABLERO 1 - Vista interior

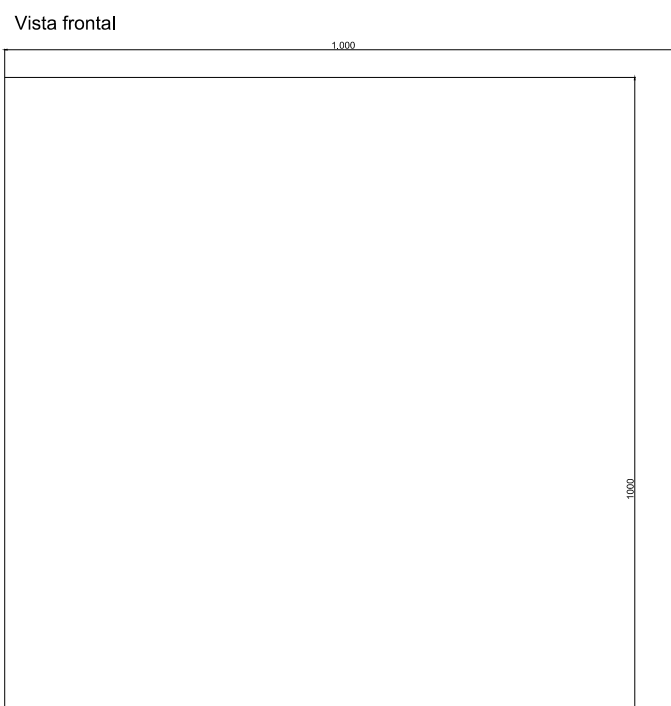
Tablero de Control 1 NEMA 2

Vista interior



ANEXO XII

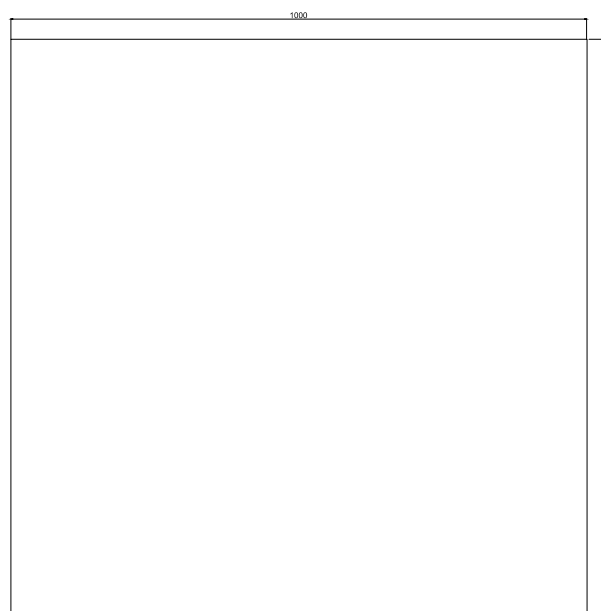
TABLERO 1 - Vista frontal



ANEXO XIII

TABLERO 1 - Vista lateral derecha

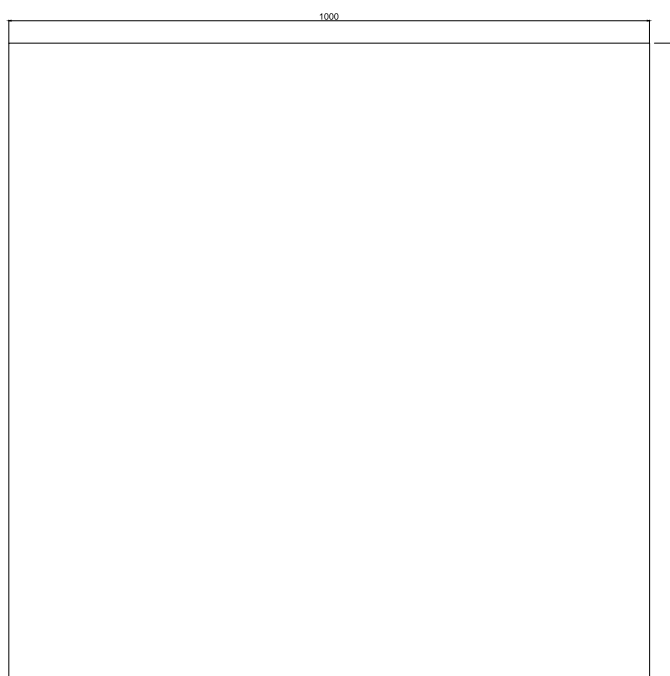
Vista lateral derecha



ANEXO XIV

TABLERO 1 - Vista lateral izquierda

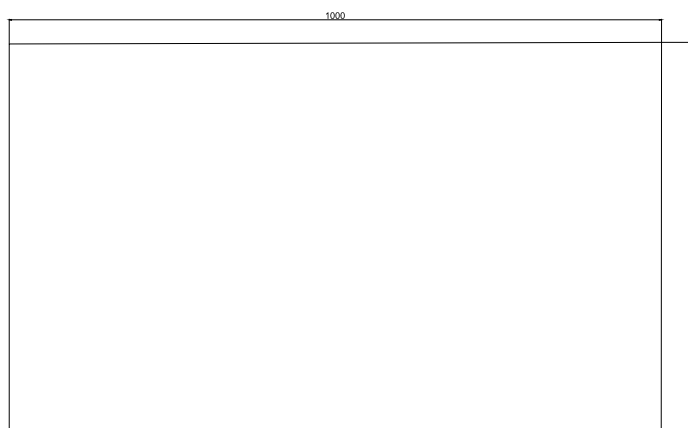
Vista lateral izquierda



ANEXO XV

TABLERO 1 - Vista inferior

Vista inferior

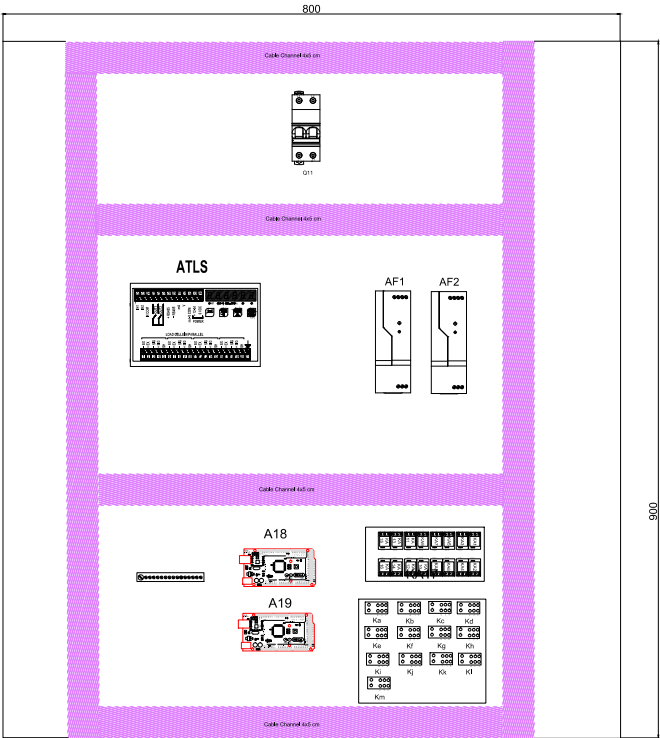


ANEXO XVI

TABLERO 2 - Vista interior

Tablero de Control 2 NEMA 2

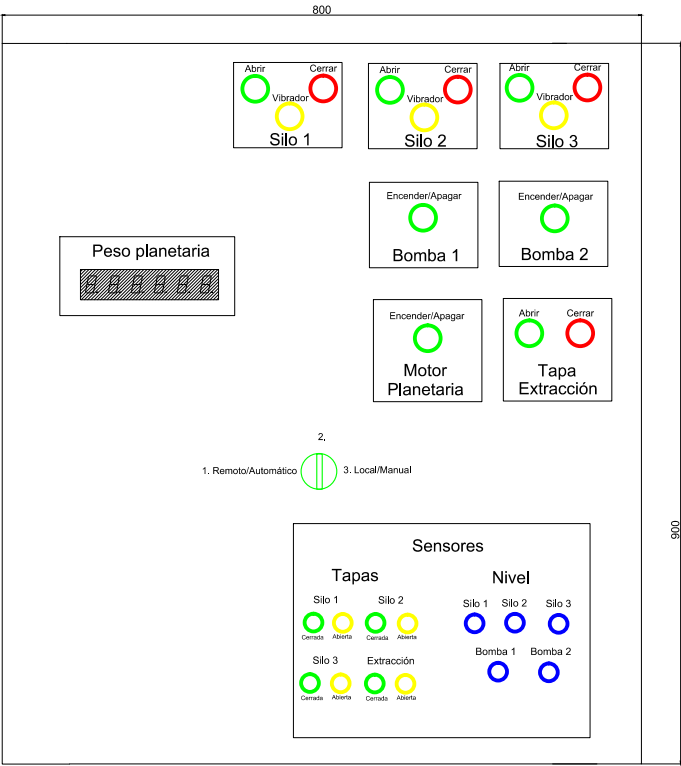
Vista interior



ANEXO XVII

TABLERO 2 - Vista frontal

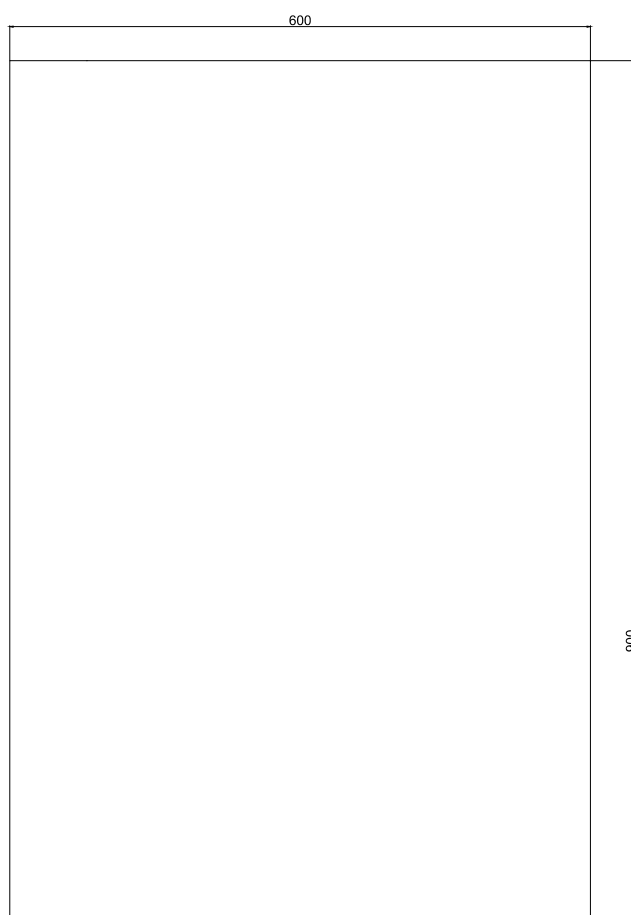
Vista frontal



ANEXO XVIII

TABLERO 2 - Vista lateral derecha

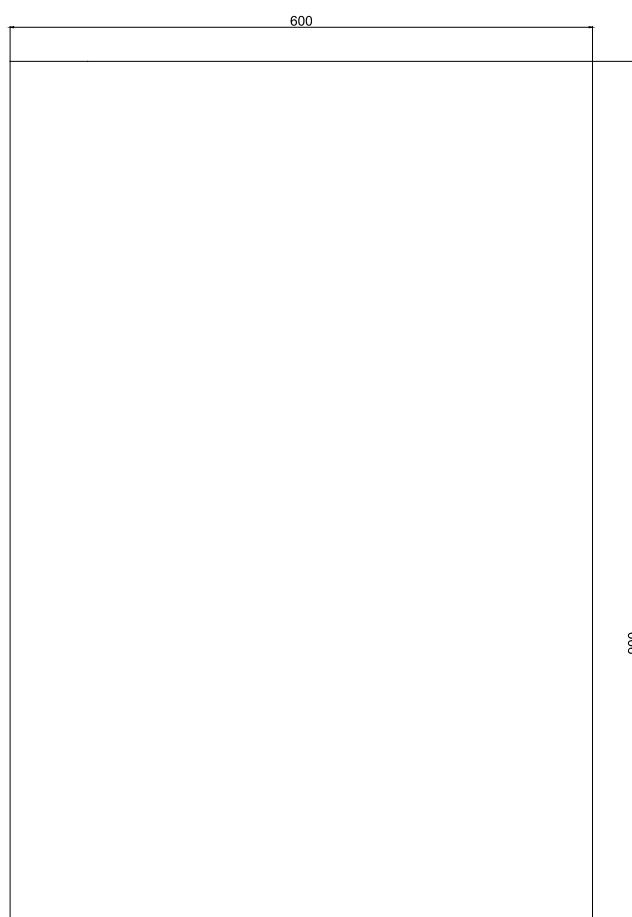
Vista lateral derecha



ANEXO XIX

TABLERO 2 - Vista lateral izquierda

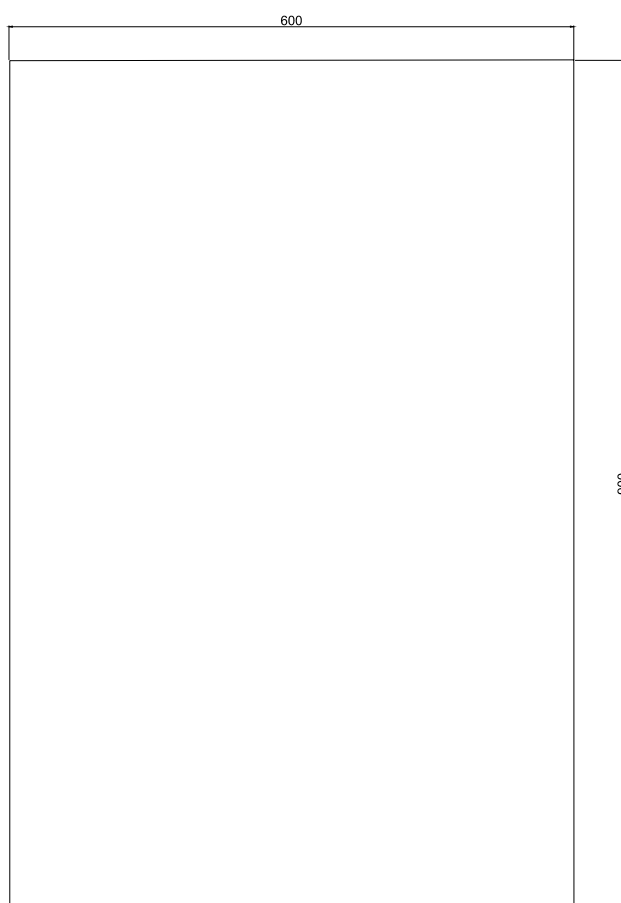
Vista lateral izquierda



ANEXO XX

TABLERO 2 - Vista inferior

Vista inferior

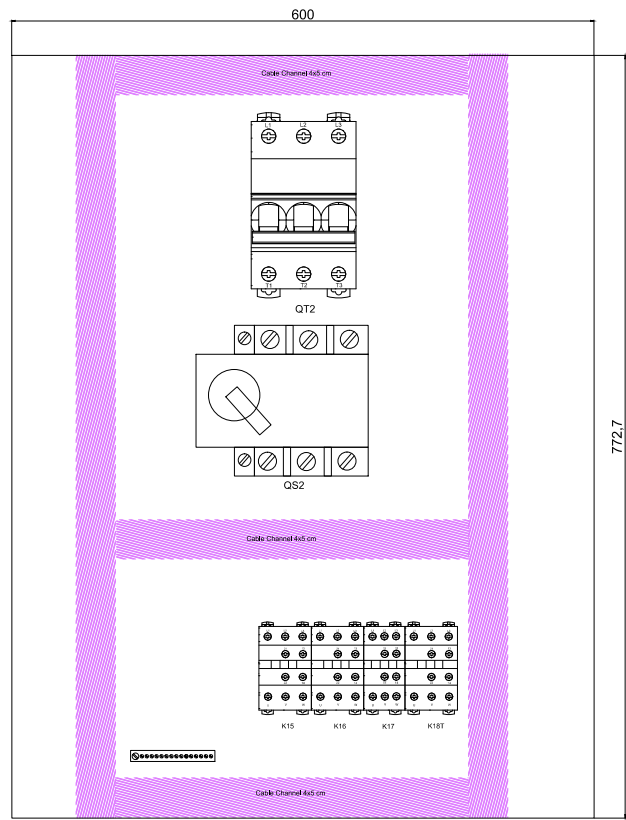


ANEXO XXI

TABLERO 3 - Vista interior

Tablero de Control 3 NEMA 2

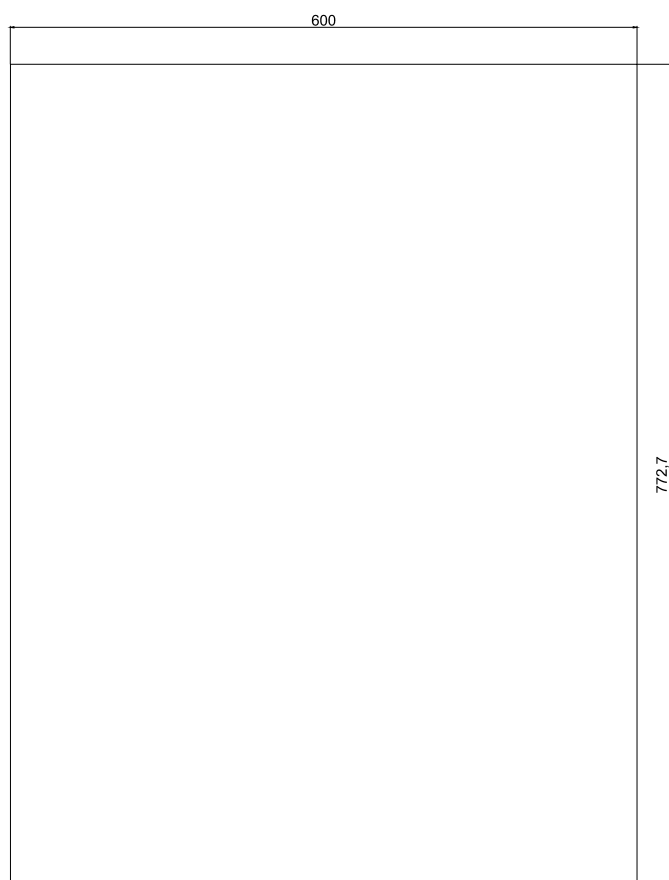
Vista interior



ANEXO XXII

TABLERO 3 - Vista frontal

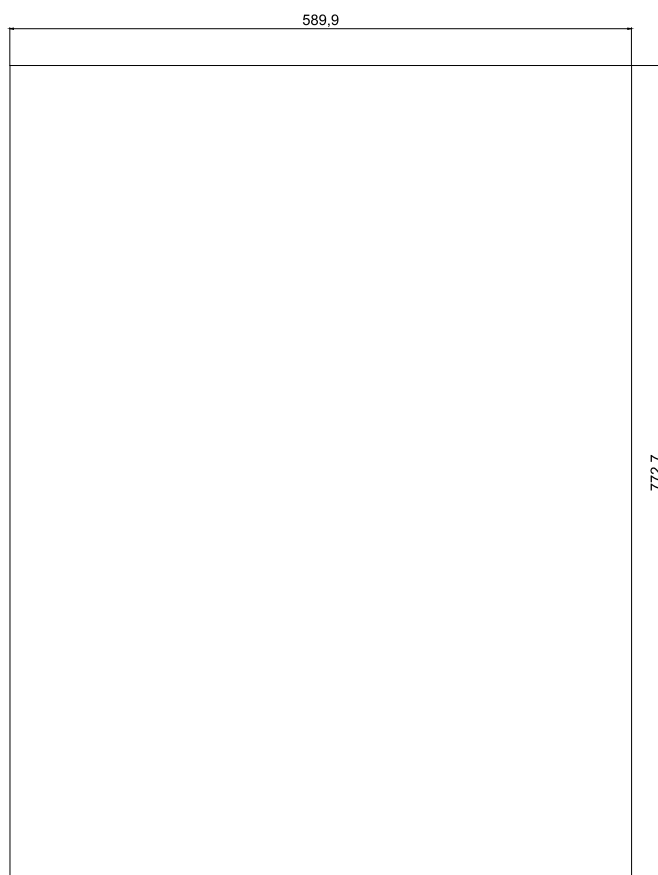
Vista frontal



ANEXO XXIII

TABLERO 3 - Vista lateral derecha

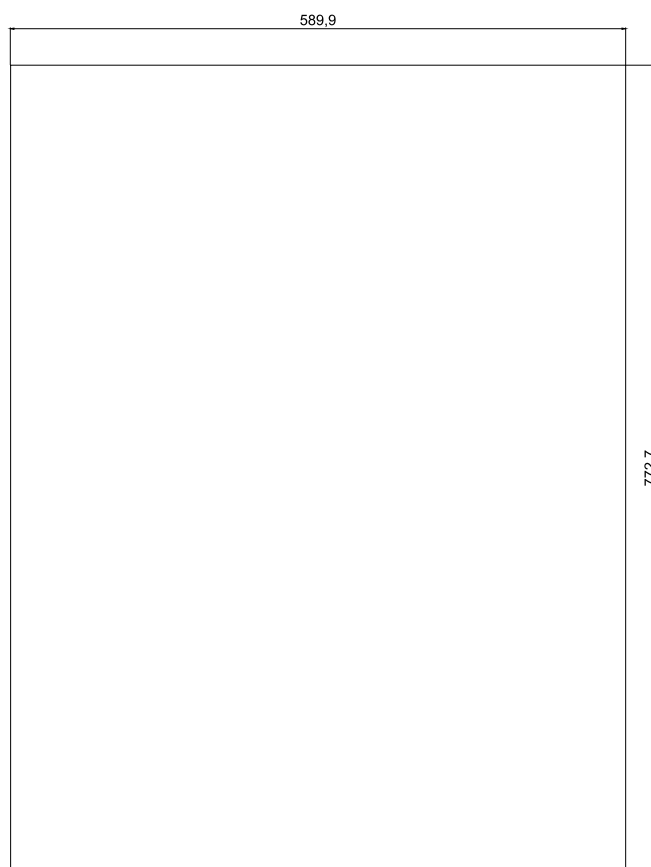
Vista lateral derecha



ANEXO XXIV

TABLERO 3 - Vista lateral izquierda

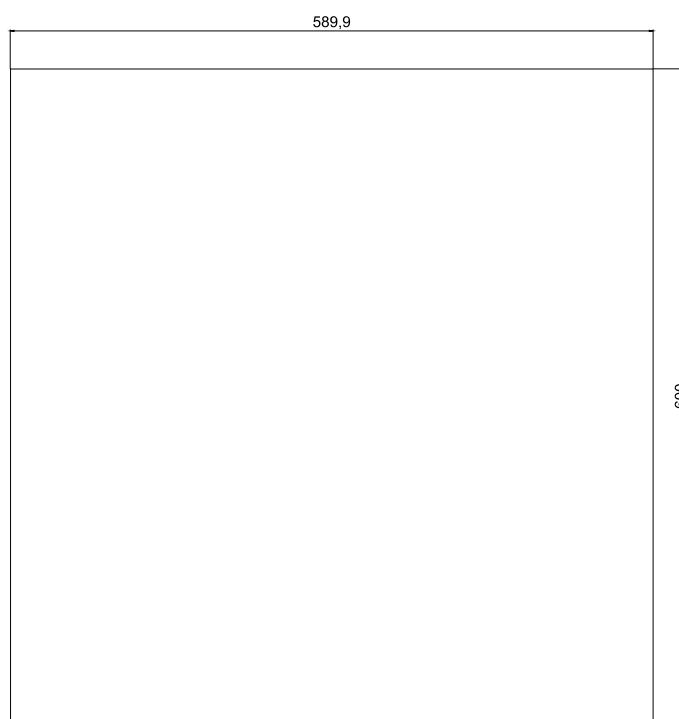
Vista lateral izquierda



ANEXO XXV

TABLERO 3 - Vista inferior

Vista inferior



ANEXO XXVI

LISTADO DE BORNES

Tabla 26.1. Bornera de entrada de fuerza. Tablero 1

Calibre [AWG]	ID cable	Destino aguas arriba		Borne	Destino aguas abajo	Calibre [AWG]
1/0	GND	Tierra del alimenta- dor	O	Barra de tierra	X048-X049	# 10
	GND				X050-X051	# 10
	GND				X052-X053	# 10
	GND				X054-X055	# 12
	GND		O		X056-X057	# 12

Tabla 26.3. Bornera de salida de fuerza. Tablero 1

Calibre [AWG]	ID cable	Destino aguas arriba	Borne	Destino aguas abajo	Calibre [AWG]
# 4	L1	U:K3	X019	U1:M1	# 4

Sigue en la página siguiente.

Calibre [AWG]	ID cable	Destino aguas arriba	Borne	Destino aguas abajo	Calibre [AWG]
# 4	L2	V:K3	X020	V1:M1	# 4
# 4	L3	W:K3	X021	W1:M1	# 4
# 12	L1	U:K4	X022	U1:M2	# 12
# 12	L2	V:K4	X023	V1:M2	# 12
# 12	L3	W:K4	X024	W1:M2	# 12
# 4	L1	U:K6	X025	U1:M3	# 4
# 4	L2	V:K6	X026	V1:M3	# 4
# 4	L3	W:K6	X027	W1:M3	# 4
# 12	L1	U:K7	X028	U1:M4	# 12
# 12	L2	V:K7	X029	V1:M4	# 12
# 12	L3	W:K7	X030	W1:M4	# 12
# 4	L1	U:K9	X031	U1:M5	# 4
# 4	L2	V:K9	X032	V1:M5	# 4
# 4	L3	W:K9	X033	W1:M5	# 4
# 12	L1	U:K10	X034	U1:M6	# 12
# 12	L2	V:K10	X035	V1:M6	# 12
# 12	L3	W:K10	X036	W1:M6	# 12
# 4	L1	U:K11	X037	U1:M7	# 4
# 4	L2	V:K11	X038	V1:M7	# 4
# 4	L3	W:K11	X039	W1:M7	# 4
# 12	L1	U:K12	X040	U1:M8	# 12
# 12	L2	V:K12	X041	V1:M8	# 12
# 12	L3	W:K12	X042	W1:M8	# 12

Sigue en la página siguiente.

Calibre [AWG]	ID cable	Destino aguas arriba	Borne	Destino aguas abajo	Calibre [AWG]
# 4	L1	U:K14	X043	U1:M9	# 4
# 4	L2	V:K14	X044	V1:M9	# 4
# 4	L3	W:K14	X045	W1:M9	# 4
# 12	L1	T1:QS1	X046	X100	# 12
# 12	L2	T2:QS1	X047	X101	# 12
# 10	GND	Barra de tierra	X048	GND:M1	# 10
# 10	GND	Barra de tierra	X049	GND:M2	# 10
# 10	GND	Barra de tierra	X050	GND:M3	# 10
# 10	GND	Barra de tierra	X051	GND:M4	# 10
# 10	GND	Barra de tierra	X052	GND:M5	# 10
# 10	GND	Barra de tierra	X053	GND:M6	# 10
# 10	GND	Barra de tierra	X054	GND:M7	# 10
# 10	GND	Barra de tierra	X055	GND:M8	# 10
# 10	GND	Barra de tierra	X056	GND:M9	# 10

Sigue en la página siguiente.

Calibre [AWG]	ID cable	Destino aguas arriba	Borne	Destino aguas abajo	Calibre [AWG]
# 10	GND	Barra de tierra	X057	GND:AF1- AF2	# 10

Tabla 26.5. Bornera de salida de fuerza. Tablero 1

Calibre [AWG]	ID cable	Destino aguas arriba	Borne	Destino aguas abajo	Calibre [AWG]
# 4	L1	U:K3	X019	U1:M1	# 4
# 4	L2	V:K3	X020	V1:M1	# 4
# 4	L3	W:K3	X021	W1:M1	# 4
# 12	L1	U:K4	X022	U1:M2	# 12
# 12	L2	V:K4	X023	V1:M2	# 12
# 12	L3	W:K4	X024	W1:M2	# 12
# 4	L1	U:K6	X025	U1:M3	# 4
# 4	L2	V:K6	X026	V1:M3	# 4
# 4	L3	W:K6	X027	W1:M3	# 4
# 12	L1	U:K7	X028	U1:M4	# 12
# 12	L2	V:K7	X029	V1:M4	# 12
# 12	L3	W:K7	X030	W1:M4	# 12
# 4	L1	U:K9	X031	U1:M5	# 4
# 4	L2	V:K9	X032	V1:M5	# 4
# 4	L3	W:K9	X033	W1:M5	# 4
# 12	L1	U:K10	X034	U1:M6	# 12

Sigue en la página siguiente.

Calibre [AWG]	ID cable	Destino aguas arriba	Borne	Destino aguas abajo	Calibre [AWG]
# 12	L2	V:K10	X035	V1:M6	# 12
# 12	L3	W:K10	X036	W1:M6	# 12
# 4	L1	U:K11	X037	U1:M7	# 4
# 4	L2	V:K11	X038	V1:M7	# 4
# 4	L3	W:K11	X039	W1:M7	# 4
# 12	L1	U:K12	X040	U1:M8	# 12
# 12	L2	V:K12	X041	V1:M8	# 12
# 12	L3	W:K12	X042	W1:M8	# 12
# 4	L1	U:K14	X043	U1:M9	# 4
# 4	L2	V:K14	X044	V1:M9	# 4
# 4	L3	W:K14	X045	W1:M9	# 4
# 12	L1	T1:QS1	X046	X100	# 12
# 12	L2	T2:QS1	X047	X101	# 12
# 10	GND	Barra de tierra	X048	GND:M1	# 10
# 10	GND	Barra de tierra	X049	GND:M2	# 10
# 10	GND	Barra de tierra	X050	GND:M3	# 10
# 10	GND	Barra de tierra	X051	GND:M4	# 10
# 10	GND	Barra de tierra	X052	GND:M5	# 10

Sigue en la página siguiente.

Calibre [AWG]	ID cable	Destino aguas arriba	Borne	Destino aguas abajo	Calibre [AWG]
# 10	GND	Barra de tierra	X053	GND:M6	# 10
# 10	GND	Barra de tierra	X054	GND:M7	# 10
# 10	GND	Barra de tierra	X055	GND:M8	# 10
# 10	GND	Barra de tierra	X056	GND:M9	# 10
# 10	GND	Barra de tierra	X057	GND:AF1- AF2	# 10

Tabla 26.7. Bornera de entrada de control. Tablero 1

Calibre [AWG]	ID cable	Destino aguas arriba	Borne	Destino aguas abajo	Calibre [AWG]
# 10	L1	X150	X058	21:K3	# 10
# 10	L1	X151	X059	21:K2	# 10
# 10	L1	X152	X060	A1:K4	# 10
# 10	L1	X153	X061	21:K6	# 10
# 10	L1	X154	X062	21:K5	# 10
# 10	L1	X155	X063	A1:K7	# 10
# 10	L1	X156	X064	21:K9	# 10
# 10	L1	X157	X065	21:K8	# 10

Sigue en la página siguiente.

Calibre [AWG]	ID cable	Destino aguas arriba	Borne	Destino aguas abajo	Calibre [AWG]
# 10	L1	X158	X066	A1:K10	# 10
# 10	L1	X158	X066	A1:K11	# 10
# 10	L1	X159	X067	A1:K12	# 10
# 10	L1	X160	X068	21:K13	# 10
# 10	L1	X161	X069	21:K14	# 10
# 10	L1	X162	X070	21:K13	# 10

Tabla 26.9. Bornera de entrada de fuerza. Tablero 2

Calibre [AWG]	ID cable	Destino aguas arriba		Borne	Destino aguas abajo	Calibre [AWG]
# 12	L1	X046		X100	L1:Q11	# 12
# 12	L2	X047		X101	L2:Q11	# 12
# 1	GND	Tierra del alimenta- dor	O	Barra de tierra	GND:KA17	# 18
				GND:AF1- GND:AF2	# 12	
				21:ATLS		
				X174-X175		
				X176-X177		
			O	X178-X179		

Tabla 26.11. Bornera de entrada de control. Tablero 2

Calibre [AWG]	ID cable	Destino aguas arriba	Borne	Destino aguas abajo	Calibre [AWG]
# 12	L1	BU:ASI1	X102	A1:Ka	# 12
# 12	L1	BU:ASI2	X103	A1:Kb	# 12
# 12	L1	BU:ASI3	X104	A1:Kc	# 12
# 12	L1	BU:ASI4	X105	A1:Kd	# 12
# 12	L1	BU:ASI5	X106	A1:Ke	# 12
# 12	L1	BU:ASI6	X107	A1:Kf	# 12
# 12	L1	BU:ASI7	X108	A1:Kg	# 12
# 12	L1	BU:ASI8	X109	A1:Kh	# 12
# 12	L1	BU:ASC1	X110	A1:Ki	# 12
# 12	L1	BU:ASC2	X111	A1:Kj	# 12
# 12	L1	BU:ASC3	X112	A1:Kk	# 12
# 12	L1	BU:ASC4	X113	A1:Kl	# 12
# 12	L1	BU:ASC5	X114	A1:Km	# 12

Tabla 26.13. Bornera de salida de control. Tablero 2

Calibre [AWG]	ID cable	Destino aguas arriba	Borne	Destino aguas abajo	Calibre [AWG]
# 12	L1	2:KA1	X150	X058	# 12
# 12	L1	2:KA2	X151	X059	# 12

Sigue en la página siguiente.

Calibre [AWG]	ID cable	Destino aguas arriba		Borne	Destino aguas abajo	Calibre [AWG]
# 12	L1	2:KA3		X152	X060	# 12
# 12	L1	2:KA4		X153	X061	# 12
# 12	L1	2:KA5		X154	X062	# 12
# 12	L1	2:KA6		X155	X063	# 12
# 12	L1	2:KA7		X156	X064	# 12
# 12	L1	2:KA8		X157	X065	# 12
# 12	L1	2:KA9		X158	X066	# 12
# 12	L1	2:KA10		X159	X067	# 12
# 12	L1	2:KA11		X160	X068	# 12
# 12	L1	2:KA12		X161	X069	# 12
# 12	L1	2:KA13		X162	X070	# 12
# 12	L1	2:KA14		X163	X300	# 12
# 12	L1	T2:Q11		X164	X301	# 12
# 12	L1	T1:Q11	O	X165	BN:ASI1- BN:ASI2	# 12
				X166	BN:ASC1	
				X167	BN:ASI3- BN:ASI4	
				X168	BN:ASC2	
				X169	BN:ASI5- BN:ASI6	
				X170	BN:ASC3	
				X171	BN:ASI7- BN:ASI8	

Sigue en la página siguiente.

Calibre [AWG]	ID cable	Destino aguas arriba		Borne	Destino aguas abajo	Calibre [AWG]
# 12	GND	Barra de tierra		X172	BN:ASC4	# 12
			O	X173	BN:ASC5	
			O	X174	GN:ASI1- ASI2- ASC1	
				X175	GN:ASI3- ASI4- ASC2	
				X176	GN:ASI5- ASI6- ASC3	
				X177	GN:ASI7- ASI8	
				X178	GN:ASC4	
			O	X179	GN:ASC5	

Tabla 26.15. Bornera de entrada de fuerza. Tablero 3

Calibre [AWG]	ID cable	Destino aguas arriba	Borne	Destino aguas abajo	Calibre [AWG]
# 2	L4	T1:QT2	X200	L1:QS2	# 2
# 2	L5	T2:QT2	X201	L2:QS2	# 2
# 2	L6	T3:QT2	X202	L3:QS2	# 2

Sigue en la página siguiente.

Calibre [AWG]	ID cable	Destino aguas arriba	Borne	Destino aguas abajo	Calibre [AWG]
# 8	GND	Tierra del alimenta- dor	Barra de tierra	X256	# 8

Tabla 26.17. Bornera de salida de fuerza. Tablero 3

Calibre [AWG]	ID cable	Destino aguas arriba	Borne	Destino aguas abajo	Calibre [AWG]
# 2	L4	U:K15	X250	U1:M10	# 2
# 2	L5	V:K15	X251	V1:M10	# 2
# 2	L6	W:K15	X252	W1:M10	# 2
# 2	L4	W:K16	X253	U2:M10	# 2
# 2	L5	V:K16	X254	V2:M10	# 2
# 2	L6	U:K16	X255	W2:M10	# 2
# 8	GND	Barra de tierra	X256	GND:M10	# 8

Tabla 26.19. Bornera de entrada de control. Tablero 3

Calibre [AWG]	ID cable	Destino aguas arriba	Borne	Destino aguas abajo	Calibre [AWG]
# 12	L1	X163	X300	13:K15	# 12
# 12	L2	X164	X301	A2:K15	# 12