



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA LA
PLANTA DOSIFICADORA DE HORMIGÓN DE LA EMPRESA ASPHALT
PLANTS S.A.”**

RICARDO FELIPE MORALES RUBIO

SANGOLQUÍ – ECUADOR

2015

CERTIFICACIÓN DE TUTORÍA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

CERTIFICADO

Ing. Hugo Ortiz

Ing. Rodolfo Gordillo

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA LA PLANTA DOSIFICADORA DE HORMIGÓN DE LA EMPRESA ASPHALT PLANTS S.A”, realizado por Ricardo Felipe Morales Rubio, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

Debido a que se trata de un trabajo de investigación recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual tiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a Ricardo Felipe Morales Rubio que lo entregue al Ingeniero Luis Orozco, en su calidad de Coordinador de la Carrera.

Sangolquí, julio del 2015



Ing. Hugo Ortiz

DIRECTOR



Ing. Rodolfo Gordillo

CODIRECTOR

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

RICARDO FELIPE MORALES RUBIO

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA LA PLANTA DOSIFICADORA DE HORMIGÓN DE LA EMPRESA ASPHALT PLANTS S.A” ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, julio del 2015



Ricardo Felipe Morales Rubio

AUTORIZACIÓN

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

Yo, Ricardo Felipe Morales Rubio

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, la publicación en la biblioteca virtual de la Institución el trabajo “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA LA PLANTA DOSIFICADORA DE HORMIGÓN DE LA EMPRESA ASPHALT PLANTS S.A” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, julio del 2015



Ricardo Felipe Morales Rubio

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi familia.

A mi padre,

Por ser un hombre de bien, por compartirme sus conocimientos y ser ejemplo de emprendimiento y perseverancia, por brindarme su apoyo incondicional en todas las circunstancias de la vida.

A mi madre,

Quien ha estado siempre pendiente de brindarnos todo lo mejor, por ser una madre dedicada y amorosa, cuya personalidad ilumina a quienes estamos a su lado, por ser gran amiga y consejera.

A mi hermana y cuñado,

Quienes a la distancia me han brindado su apoyo y ánimos para seguir adelante.

A mi sobrinito Joachim,

Quien ha llegado a este mundo a brindarnos su inmensa alegría.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por brindarme su apoyo en la realización del presente trabajo.

A la empresa que ha formado mi padre, Asphalt Plants S.A, por brindarme las facilidades para poder culminar con éxito mi proyecto.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE por ofrecerme los conocimientos y formarme como profesional para cumplir de manera competente los retos de ingeniería.

A los ingenieros Hugo Ortiz y Rodolfo Gordillo por ser guías del presente proyecto y cuyos conocimientos fueron parte fundamental para el buen desarrollo del mismo.

Al skateboarding por brindarme las satisfacciones más grandes de la vida.

A los amigos de la boarding por ser personas descomplicadas con las que puedo pasar y disfrutar.

A todas las personas que de una u otra forma han estado conmigo compartiendo sus experiencias y motivándome a ser mejor.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Parte Introductoria

CERTIFICACIÓN DE TUTORÍA.....	Error! Bookmark not defined.
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	Error! Bookmark not defined.
AUTORIZACIÓN.....	Error! Bookmark not defined.
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
LISTADO DE TABLAS	xii
LISTADO DE CUADROS.....	xiv
LISTADO DE FIGURAS.....	xv
LISTADO DE ANEXOS.....	xx
RESUMEN	xxi
ABSTRACT	xxii

Cuerpo de la Tesis

CAPÍTULO I	1
PRELIMINARES.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. La construcción en el Ecuador.....	2
1.3. La empresa Asphalt Plants S.A.....	3
1.4. Descripción general del proyecto.....	3
CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1. Hormigón.....	5
2.1.1. Resistencia característica del hormigón.....	6
2.1.2. Materiales que conforman el hormigón.....	7
2.1.2.1. Cemento.....	7
2.1.2.2. Agregados	8
2.1.2.3. Agua.....	9
2.1.2.4. Aditivos.....	11
2.1.3. Dosificación y mezcla del hormigón	12

2.1.4.	Transporte, vaciado, compactación y fraguado.....	14
2.2.	Plantas dosificadoras de hormigón.....	15
2.2.1.	Elementos de las plantas dosificadoras de hormigón	16
2.2.1.1.	Tolvas	16
2.2.1.2.	Sistema de pesaje de agregados.....	16
2.2.1.3.	Sistema de transporte de agregados	16
2.2.1.4.	Silos de cemento.....	16
2.2.1.5.	Transportadores de cemento.....	16
2.2.1.6.	Sistema de pesaje de cemento	16
2.2.1.7.	Sistema de pesaje del agua.....	17
2.2.1.8.	Amasadora o mixer.....	17
2.2.1.9.	Sistema de control	17
2.2.2.	Clasificación de las plantas de hormigón	17
2.2.2.1.	Según su función	17
2.2.2.2.	Según su movilidad:	18
2.2.2.3.	Según su sistema de acoplo de áridos:.....	18
2.3.	Automatización de las plantas dosificadoras de hormigón.....	19
CAPÍTULO III		21
DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA.....		21
3.1.	Sistema mecánico de la planta dosificadora de hormigón	21
3.1.1.	Sistema de almacenamiento.....	21
3.1.1.1.	Tolvas de grava y arena	21
3.1.1.2.	Tolva de pesaje.....	22
3.1.1.3.	Tolva de cemento	23
3.1.1.4.	Silos	24
3.1.1.5.	Tanque de agua.....	25
3.1.1.6.	Tanque de aditivos.....	26
3.1.2.	Sistema de transporte.....	26
3.1.2.1.	Banda colectora	27
3.1.2.2.	Banda rápida.....	27
3.1.2.3.	Transportadores de tornillo sin fin.....	28
3.1.2.4.	Tuberías	30
3.2.	Sistema eléctrico de la planta dosificadora de hormigón	30
3.2.1.	Generación de energía	30
3.2.2.	Tablero de control	31

3.2.3.	Tablero de potencia	33
3.2.4.	Actuadores del sistema	33
3.2.5.	Sensores del sistema.....	36
3.3.	Sistema neumático de la planta dosificadora de hormigón.....	38
CAPÍTULO IV	41
DISEÑO	41
4.1.	Requerimientos	41
4.2.	Lista de variables de entrada y salida externas del sistema de dosificación de la planta de hormigón.....	42
4.3.	Diseño del sistema de dosificación de la planta dosificadora de hormigón.....	44
4.3.1.	Dosificación de grava, arena y cemento en la planta dosificadora de hormigón.....	44
4.3.2.	Dosificación de agua y aditivos en la planta dosificadora de hormigón.....	44
4.4.	Diseño del sistema de dosificación de grava	45
4.4.1.	Elementos del sistema de dosificación de grava	45
4.4.2.	Funcionamiento del sistema de dosificación de grava	45
4.4.3.	Diseño del sistema de dosificación de grava en modo de operación manual ...	47
4.4.4.	Diseño del sistema de dosificación de grava en modo de operación automático.....	48
4.5.	Diseño del sistema de dosificación de arena.....	49
4.5.1.	Elementos del sistema de dosificación de arena	50
4.5.2.	Funcionamiento del sistema de dosificación de arena.....	50
4.5.3.	Diseño del sistema de dosificación de arena en modo de operación manual....	52
4.5.4.	Diseño del sistema de dosificación de arena en modo de operación automático.....	53
4.6.	Diseño del sistema de dosificación de cemento.....	55
4.6.1.	Elementos del sistema de dosificación de cemento.....	55
4.6.2.	Funcionamiento del sistema de dosificación de cemento	55
4.6.3.	Diseño del sistema de dosificación de cemento en modo de operación manual	57
4.6.4.	Diseño del sistema de dosificación de cemento en modo de operación automático.....	59
4.7.	Diseño del sistema de dosificación de agua.....	60
4.7.1.	Elementos del sistema de dosificación de agua	61
4.7.2.	Funcionamiento del sistema de dosificación de agua.....	61
4.7.3.	Diseño del sistema de dosificación de agua en modo de operación manual.....	63

4.7.4.	Diseño del sistema de dosificación de agua en modo de operación automático.....	63
4.8.	Diseño del sistema de dosificación de aditivos.....	64
4.8.1.	Elementos del sistema de dosificación de aditivos.....	64
4.8.2.	Funcionamiento del sistema de dosificación de aditivos.....	65
4.8.3.	Diseño del sistema de dosificación de aditivos en modo de operación manual	66
4.8.4.	Diseño del sistema de dosificación de aditivos en modo de operación automático.....	67
4.9.	Diseño de la interfaz gráfica del sistema de control de la planta dosificadora de hormigón.....	68
4.10.	Diagrama de interconexión de la planta dosificadora de hormigón	69
CAPÍTULO V		71
IMPLEMENTACIÓN		71
5.1.	Lista de materiales.....	71
5.2.	Especificaciones de los equipos.....	71
5.2.1.	Fuente de poder LOGO! POWER.....	71
5.2.2.	Controlador SIMATIC S7-1200 1214C AC/DC/Relé.....	73
5.2.3.	Módulo de expansión de entradas y salida digitales SM1233	76
5.2.4.	Módulo de pesaje SIWAREX WP231.....	77
5.2.5.	Módulo signal board AI/AQ	79
5.2.6.	Celdas de carga SIWAREX WL 230 SB-S	82
5.2.7.	Sensor de flujo SIGNET 2536	82
5.3.	Diagramas de control y potencia del sistema de control de la planta dosificadora de hormigón	84
5.4.	Implementación del sistema de control de la planta dosificadora de hormigón	85
5.5.	Generación de fórmulas, alarmas y reportes.....	105
5.6.	Descripción de la interfaz gráfica del sistema de control de la planta dosificadora de hormigón	106
5.7.	Puesta en marcha del sistema.....	111
CAPÍTULO VI		115
PRUEBAS Y RESULTADOS		115
6.1.	Pruebas	115
6.2.	Resultados.....	120
CAPÍTULO VII		128

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	128
7.1. Conclusiones.....	128
7.2. Recomendaciones.....	129
REFERENCIAS.....	130
ANEXOS	Error! Bookmark not defined.

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.	Parámetros de funcionamiento de las celdas de carga de la planta dosificadora de hormigón	37
Tabla 2.	Parámetros de funcionamiento del sensor de flujo de la planta dosificadora de hormigón.....	38
Tabla 3.	Parámetros de ingreso para inicio del modo de operación automático del sistema de dosificación de grava.	48
Tabla 4.	Parámetros de ingreso para inicio del modo de operación automático del sistema de dosificación de arena.	54
Tabla 5.	Parámetros de ingreso para inicio del modo de operación automático del sistema de dosificación de cemento.	59
Tabla 6.	Parámetros de ingreso para inicio del modo de operación automático del sistema de dosificación de agua.	63
Tabla 7.	Parámetros de ingreso para inicio del modo de operación automático del sistema de dosificación de aditivos.	67
Tabla 8.	Especificaciones técnicas de la fuente de alimentación.....	72
Tabla 9.	Especificaciones técnicas del controlador Simatic S7 1200 1214C	74
Tabla 10.	Especificaciones técnicas del módulo de expansión de entradas y salidas digitales SM1233	76
Tabla 11.	Especificaciones técnicas del módulo de pesaje Siwarex WP231	77
Tabla 12.	Especificaciones técnicas del módulo signal board SB1231	80
Tabla 13.	Especificaciones técnicas de la celda de carga SIWAREX WL230 SB-S.....	82
Tabla 14.	Especificaciones técnicas del sensor de flujo SIGNET 2536	83
Tabla 15.	Tabla de datos iniciales de las pruebas del sistema de dosificación de grava...	115
Tabla 16.	Tabla de datos finales de las pruebas del sistema de dosificación de grava	116
Tabla 17.	Tabla de porcentaje de error de las pruebas del sistema de dosificación de grava	116
Tabla 18.	Tabla de datos iniciales de las pruebas del sistema de dosificación de arena ...	116
Tabla 19.	Tabla de datos finales de las pruebas del sistema de dosificación de arena.....	117
Tabla 20.	Tabla de porcentaje de error de las pruebas del sistema de dosificación de arena	117
Tabla 21.	Tabla de datos iniciales de las pruebas del sistema de dosificación de cemento.....	117
Tabla 22.	Tabla de datos finales de las pruebas del sistema de dosificación de cemento.	117
Tabla 23.	Tabla de porcentaje de error de las pruebas del sistema de dosificación de cemento.....	118

Tabla 24.	Tabla de datos iniciales de las pruebas del sistema de dosificación de cemento.....	118
Tabla 25.	Tabla de datos finales de las pruebas del sistema de dosificación de cemento .	118
Tabla 26.	Tabla de porcentaje de error de las pruebas del sistema de dosificación de agua	118
Tabla 27.	Tabla de la primera prueba de dosificación de hormigón	119
Tabla 28.	Tabla de la segunda prueba de dosificación de hormigón	119
Tabla 29.	Prueba de revenimiento en dosificación de 1 metro cúbico de hormigón	120
Tabla 30.	Tabla de datos iniciales del sistema de dosificación de grava	120
Tabla 31.	Tabla de resultados del sistema de dosificación de grava.....	120
Tabla 32.	Resultado del porcentaje de error del sistema de dosificación de grava.....	121
Tabla 33.	Tabla de datos iniciales del sistema de dosificación de arena.....	121
Tabla 34.	Tabla de resultados del sistema de dosificación de arena.....	122
Tabla 35.	Resultado del porcentaje de error del sistema de dosificación de arena.....	122
Tabla 36.	Tabla de datos iniciales del sistema de dosificación de cemento	123
Tabla 37.	Tabla de resultados del sistema de dosificación de cemento	123
Tabla 38.	Resultado del porcentaje de error del sistema de dosificación de cemento	124
Tabla 39.	Tabla de datos iniciales del sistema de dosificación de agua.....	124
Tabla 40.	Tabla de resultados del sistema de dosificación de agua.....	124
Tabla 41.	Resultado del porcentaje de error del sistema de dosificación de agua.....	125
Tabla 42.	Tabla de resultados de dosificación de agregados en la primera fórmula.....	125
Tabla 43.	Tabla de resultados de dosificación de agregados en la segunda fórmula.....	126
Tabla 44.	Tabla de resultados de la prueba de revenimiento.....	127

LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1.	Principales fuentes de variación de resistencia del hormigón (LAFARGE, 2010).....	6
Cuadro 2.	Aditivos químicos – definiciones y efectos (Sika, 2007).....	11
Cuadro 3.	Variables de entrada externas.....	42
Cuadro 4.	Variables de salida externas.....	43
Cuadro 5.	Actuadores y sensores que intervienen en el sistema de dosificación de grava..	47
Cuadro 6.	Actuadores y sensores que intervienen en el sistema de dosificación de arena ..	52
Cuadro 7.	Actuadores y sensores que intervienen en el sistema de dosificación de cemento.....	57
Cuadro 8.	Actuadores y sensores que intervienen en el sistema de dosificación de agua ...	62
Cuadro 9.	Actuadores y sensores que intervienen en el sistema de dosificación de aditivos.	65

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.	Principales contribuciones por industrias al PIB del 2013 (Universo, 2014)	2
Figura 2.	Esquema de la planta dosificadora de hormigón.....	4
Figura 3.	Imagen del hormigón.....	5
Figura 4.	Cristales formados por la reacción química entre el agua y el cemento. (www.ipc.org, 2014)	13
Figura 5.	Sistema de almacenamiento de la planta dosificadora de hormigón	21
Figura 6.	Tolvas para depósito de agregados.....	22
Figura 7.	Mecanismo de apertura de las tolvas de agregados.....	22
Figura 8.	Tolva de pesaje de agregados.....	23
Figura 9.	Tolva de pesaje de cemento	23
Figura 10.	Mecanismo de apertura de la tolva de pesaje de cemento	24
Figura 11.	Silos de cemento en planta dosificadora de hormigón	24
Figura 12.	Chimenea de descompresión.....	25
Figura 13.	Mecanismo de apertura de silos	25
Figura 14.	Reservorio de agua	26
Figura 15.	Sistema de transporte de la planta dosificadora de hormigón.....	26
Figura 16.	Banda colectora.....	27
Figura 17.	Mecanismo de activación de la banda colectora	27
Figura 18.	Banda rápida	28
Figura 19.	Mecanismo de activación de la banda rápida.....	28
Figura 20.	Transportadores de tornillo sin fin	29
Figura 21.	Mecanismo de activación de los transportadores de tornillo sin fin.....	29
Figura 22.	Transporte de agua por medio de tuberías	30
Figura 23.	Generador eléctrico de la planta dosificadora de hormigón.....	30
Figura 24.	Tablero del circuito de transferencia de energía	31
Figura 25.	Caja de mando local de la planta dosificadora de hormigón.....	31
Figura 26.	Tablero de mando de la planta dosificadora de hormigón	32
Figura 27.	Display para el control de peso de agregados	32
Figura 28.	Arrancadores directos en el tablero de potencia de la planta dosificadora de hormigón.....	33
Figura 29.	Motor de banda colectora	34
Figura 30.	Motor banda rápida	34

Figura 31.	Motor tornillo sin fin	34
Figura 32.	Características del motor del compresor de la planta dosificadora	35
Figura 33.	Motovibrador acoplado al costado de la tolva de cemento.....	35
Figura 34.	Conexión de electroválvula en la planta dosificadora	36
Figura 35.	Celda de carga ubicada en la tolva de pesaje	36
Figura 36.	Caja de conexión de celdas de carga	37
Figura 37.	Flujómetro utilizado para la dosificación de agua.....	38
Figura 38.	Compresor de la planta dosificadora de hormigón.....	39
Figura 39.	Cilindro neumático para apertura de tolvas	39
Figura 40.	Válvulas de mariposa para apertura de silos	39
Figura 41.	Aireador o pulmón colocado en uno de los silos.....	40
Figura 42.	Electroválvula neumática 5/2 monoestable.....	40
Figura 43.	Sistema de dosificación de grava	45
Figura 44.	Lazo de control sistema de dosificación de grava	46
Figura 45.	Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de dosificación de grava	46
Figura 46.	Grafcet de primer nivel para dosificación de grava en modo manual	48
Figura 47.	Grafcet de primer nivel para dosificación de grava en modo automático.....	49
Figura 48.	Sistema de dosificación de arena.....	50
Figura 49.	Lazo de control del sistema de dosificación de arena.....	51
Figura 50.	Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de dosificación de arena	51
Figura 51.	Grafcet de primer nivel para dosificación de arena en modo manual	53
Figura 52.	Grafcet de primer nivel para dosificación de grava en modo automático.....	54
Figura 53.	Sistema de dosificación de cemento.....	55
Figura 54.	Lazo de control del sistema de dosificación de cemento.....	56
Figura 55.	Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de dosificación de cemento.....	56
Figura 56.	Grafcet de primer nivel para dosificación de cemento en modo manual	58
Figura 57.	Grafcet de primer nivel para dosificación de cemento en modo automático	60
Figura 58.	Sistema de dosificación de agua.....	61
Figura 59.	Lazo de control del sistema de dosificación de cemento.....	61
Figura 60.	Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de dosificación de agua	62
Figura 61.	Grafcet de primer nivel para dosificación de agua en modo manual.....	63
Figura 62.	Grafcet de primer nivel para dosificación de agua en modo automático.....	64
Figura 63.	Sistema de dosificación de aditivos.....	64

Figura 64.	Lazo de control del sistema de dosificación de aditivos.....	65
Figura 65.	Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de dosificación de aditivos .	66
Figura 66.	Grafcet de primer nivel para dosificación de aditivos en modo manual.....	67
Figura 67.	Grafcet de primer nivel para dosificación de agua en modo automático.....	68
Figura 68.	Diseño de las ventanas del sistema de control de la planta dosificadora de hormigón.....	69
Figura 69.	Mapa de navegación de la interfaz humano máquina del sistema.....	69
Figura 70.	Diagrama de interconexión de la planta dosificadora de hormigón	70
Figura 71.	Fuente de poder LOGO! POWER.....	72
Figura 72.	PLC Siemens Simatic S7-1200 1214C	74
Figura 73.	Módulo de señal: entradas/salidas digitales SM1223	76
Figura 74.	Módulo de pesaje Siwarex WP231.....	77
Figura 75.	Módulo signal board SB1231	79
Figura 76.	Celda de carga SIWAREX WL230 SB-S	82
Figura 77.	Sensor de flujo SIGNET 2536	83
Figura 78.	Diagrama de configuración de equipos del sistema de control para la planta dosificadora de hormigón	85
Figura 79.	Grafcet de segundo nivel para sistema de dosificación de grava en modo manual	86
Figura 80.	Función de bloque utilizada para la activación de la compuerta en la tolva de grava	87
Figura 81.	Función de bloque utilizada para la activación de la banda colectora.....	87
Figura 82.	Función de bloque utilizada para la activación de la banda rápida	87
Figura 83.	Grafcet de segundo nivel para sistema de dosificación de grava en modo automático.....	88
Figura 84.	Función de bloque utilizada para el funcionamiento del sistema de dosificación de grava en modo automático.....	89
Figura 85.	Grafcet de segundo nivel para sistema de dosificación de arena en modo manual	90
Figura 86.	Función de bloque utilizada para la activación de la compuerta en la tolva de arena	90
Figura 87.	Función de bloque utilizada para la activación del motovibrador de la tolva de arena	91
Figura 88.	Función de bloque utilizada para la activación de la banda colectora.....	91
Figura 89.	Función de bloque utilizada para la activación de la banda rápida	91

Figura 90.	Grafcet de segundo nivel para sistema de dosificación de arena en modo automático.....	92
Figura 91.	Función de bloque utilizada para el funcionamiento del sistema de dosificación de arena en modo automático	93
Figura 92.	Grafcet de segundo nivel para sistema de dosificación de cemento en modo manual	94
Figura 93.	Función de bloque utilizada para la activación de la compuerta del silo 1	95
Figura 94.	Función de bloque utilizada para la activación de la compuerta del silo 2	95
Figura 95.	Función de bloque utilizada para la activación del tornillo sin fin del silo 1	95
Figura 96.	Función de bloque utilizada para la activación del tornillo sin fin del silo 2	96
Figura 97.	Función de bloque utilizada para la activación del pulmón en silo 1	96
Figura 98.	Función de bloque utilizada para la activación del pulmón en silo 2	96
Figura 99.	Función de bloque utilizada para la activación del motovibrador de la tolva de cemento.....	96
Figura 100.	Grafcet de segundo nivel para sistema de dosificación de cemento en modo automático.....	99
Figura 101.	Función de bloque utilizada para el funcionamiento del sistema de dosificación de cemento 1 en modo automático	99
Figura 102.	Función de bloque utilizada para el funcionamiento del sistema de dosificación de cemento 2 en modo automático	100
Figura 103.	Grafcet de segundo nivel para sistema de dosificación de agua en modo manual	101
Figura 104.	Función de bloque utilizada para la activación de la bomba de agua.....	101
Figura 105.	Grafcet de segundo nivel para sistema de dosificación de agua en modo automático.....	102
Figura 106.	Función de bloque utilizada para el funcionamiento del sistema de dosificación de agua en modo automático	102
Figura 107.	Grafcet de segundo nivel para sistema de dosificación de aditivos en modo manual	103
Figura 108.	Función de bloque utilizada para la activación de la bomba de aditivos	103
Figura 109.	Grafcet de segundo nivel para sistema de dosificación de aditivos en modo automático.....	104
Figura 110.	Función de bloque utilizada para el funcionamiento del sistema de dosificación de aditivos en modo automático	104
Figura 111.	Bloque de función utilizado para el ingreso de fórmulas.....	105
Figura 112.	Bloque de función utilizado para la generación de alarmas.....	105
Figura 113.	Bloque de función utilizado para la generación de reportes	106

Figura 114.	Ventana de ingreso del sistema	106
Figura 115.	Ventana de control de acceso del sistema.....	107
Figura 116.	Ventana de operación del sistema en modo automático	107
Figura 117.	Ventana de horómetros	108
Figura 118.	Ventana de ingreso de fórmulas	109
Figura 119.	Ventana de operación del sistema en modo de operación manual	109
Figura 120.	Ventana de ingeniería	110
Figura 121.	Ventana de calibración de sensores	110
Figura 122.	Encendido del generador eléctrico de la planta.....	111
Figura 123.	Voltaje del generador de la planta.....	111
Figura 124.	Medición de voltaje en la línea de alimentación	112
Figura 125.	Medición de voltaje en la fuente de poder	112
Figura 126.	Medición de voltaje para alimentación de celdas de carga.....	113
Figura 127.	Sistema de control puesto en marcha.....	113
Figura 128.	Sistema de control para plantas dosificadoras de hormigón de la empresa Asphalt Plants S.A.....	114
Figura 129.	Resultados del sistema de dosificación de grava.....	121
Figura 130.	Resultados del sistema de dosificación de arena.....	122
Figura 131.	Resultados del sistema de dosificación de cemento	123
Figura 132.	Resultados del sistema de dosificación de agua.....	125
Figura 133.	Detalle del reporte generado por el sistema de control.....	126
Figura 134.	Prueba de revenimiento realizada.....	127
Figura 135.	Resultado de la prueba de la revenimiento	127

LISTADO DE ANEXOS

PLANOS ELÉCTRICOS DE POTENCIA Y CONTROL DEL SISTEMA**Error! Bookmark not defined.**

HOJAS DE DATOS **Error! Bookmark not defined.**

RESUMEN

El presente proyecto es una solución al requerimiento de la empresa Asphalt Plants S.A. de contar con un sistema de control propio para sus plantas dosificadoras de hormigón. La planta dosificadora de hormigón es una instalación conformada por sistemas de almacenamiento y distribución de grava, arena, cemento, agua y aditivos cuyo correcto funcionamiento permite distribuir estos materiales en cantidades específicas. Para el diseño del sistema propuesto se analizaron los sistemas mecánicos, eléctricos y neumáticos de la planta como pautas para determinar las variables de entrada y salida así como los equipos requeridos para el control del proceso, se realizan los diagramas de control y de potencia respectivos. El sistema está implementado en el controlador lógico programable SIMATIC S7 1200 de la marca Siemens y es operado mediante una interfaz humano máquina muy intuitiva y de fácil manejo la cual permite al operador ingresar, corregir, almacenar y visualizar los parámetros que intervienen en el proceso de elaboración del hormigón, así como activar o desactivar los actuadores de la planta, para el control de peso y una dosificación precisa se utilizan los módulos especiales de pesaje SIWAREX WP231 también de la marca Siemens. Toda la programación y configuración de los equipos es realizada mediante el software de ingeniería TIA PORTAL el cual ha facilitado la integración del proyecto. El sistema de control propuesto, brinda a la empresa una alternativa moderna y económica capaz de aumentar considerablemente la calidad del producto final manteniendo resistencias uniformes en el concreto que es lo que se busca en obras de construcción importantes.

PALABRAS CLAVE:

PLANTA DOSIFICADORA DE HORMIGÓN

CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

HORMIGÓN

DOSIFICACIÓN

PESAJE

ABSTRACT

This project brings a solution for Asphalt Plants S.A. Company to have their own control system for their concrete batch plants. A concrete batch plant is a structure used for storage and distribution of gravel, sand, cement, water and additives. A correct performance of the system allows the plant to distribute these materials in specific amounts. For the design of the project, mechanical, electrical and pneumatic systems were analyzed as patterns to determine inputs and output variables as well as equipment required for process control, respective power and control diagrams were drawn. The system was implemented in the programmable logic controller SIMATIC S7 1200 by Siemens and operated by an intuitive and user-friendly human machine interface which allows the operator to enter, edit, store and display parameters involved in the elaboration process of concrete as well as enable or disable the plant actuators, a special module SIWAREX WP231 by Siemens was also used for weight and precise dosing control. All programming and equipment configuration was done through the engineering software TIA PORTAL which has helped to make an easy integration of the project. The proposed control system offers to the company an economical and modern alternative that is able to significantly increase production by maintaining uniform resistances on concrete and increasing the product quality in the dosing process.

KEYWORDS:

CONCRETE BATCH PLANTS

PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER

CONCRETE

DOSING

WEIGHING

CAPÍTULO I

PRELIMINARES

1.1. Introducción

Es conocido que la industria de la construcción en el Ecuador, es una de las primeras fuentes de trabajo y de importancia en el país. Así mismo, requiere del uso de diferentes herramientas y maquinaria para su desempeño, entre ellas, las plantas de hormigón.

Las plantas dosificadoras de hormigón son instalaciones usadas frecuentemente en obras de construcción grandes. Estas plantas se encargan de distribuir los materiales (cemento, grava, arena, agua y aditivos) en proporciones adecuadas a una mezcladora o camión mezclador los cuales van a combinarlos para formar el hormigón.

El hormigón, es una piedra artificial usada extensamente en las edificaciones de las sociedades modernas, su durabilidad y resistencia varía de acuerdo a como son administrados sus componentes esenciales y también a las condiciones del medio. El hormigón es de gran importancia como material estructural ya que se adapta fácilmente a cualquier molde adquiriendo formas arbitrarias gracias a su consistencia en estado fresco, es sumamente resistente a la compresión pero frágil a la tensión, por ello, se utilizan estructuras de acero para compensar esta limitación.

Normalmente las plantas dosificadoras son manejadas por uno o varios operadores, estas personas deben tener el cuidado suficiente para que los materiales lleguen de tal manera que en la mezcla adquiera las propiedades deseadas, por ello, es muy importante un alto grado de supervisión y control durante todo el proceso, desde el proporcionamiento en peso de los componentes, el mezclado y vaciado, hasta la terminación del curado que es cuando se coloca el molde hasta que el hormigón se encuentra endurecido.

Lamentablemente pocas son las empresas que controlan de buena manera estos procesos, el resultado final va a ser pérdida de material, resistencias de hormigón variables, tiempo de vida de la obra corto y un sin número de inconvenientes más, es primordial entonces, contar con un sistema de control y supervisión fiable que pueda

asegurar en un principio las dosificaciones de los materiales para que en los procesos que siguen, el hormigón adquiera un alto estándar y sobre todo calidad uniforme.

1.2. La construcción en el Ecuador

En el Ecuador, desde los años 40, no existían leyes de licitaciones que normaran la contratación de constructores, sólo se disponía de una ley que regulaba el ejercicio profesional, cuya aplicación resultaba ineficaz debido a las condiciones económicas y tecnológicas que imperaban en el país. La falta de proveedores de materiales de construcción y maquinaria a nivel nacional, obligaba a importar cemento, hierro, asfalto y otras materias primas utilizadas en el sector mobiliario.

Acontecimientos como el terremoto de Ambato y la necesidad de normar las actividades del sector, hacen que constructores, consultores, industriales y comerciantes resolvieran la creación de una entidad legalmente constituida conformando el gremio ahora conocido como la Cámara de la Industria de la Construcción. (Cámara de la Industria de la construcción, 2014). A raíz de esto, la construcción en el Ecuador logra su escalamiento y aunque a lo largo de los años ha sufrido altibajos, actualmente es uno de los sectores de gran impacto para el país y el medio fundamental para absorber mano de obra poco calificada.

En la figura 1 se observa que la industria de la construcción es la que más aporta y dinamiza el crecimiento económico del Ecuador. (Universo, 2014)



Figura 1. Principales contribuciones por industrias al PIB del 2013 (Universo, 2014)

Sin embargo, para que el crecimiento del sector sea sostenido, es necesario el compromiso de los constructores para que desarrollen su actividad con visión empresarial, lo que exige mejorar parámetros de calidad, productividad y eficiencia, adoptando nuevas tecnologías, aumentando su nivel de competitividad y de éxito.

1.3. La empresa Asphalt Plants S.A.

La empresa ASPHALT PLANTS S.A, ubicada en la provincia del Guayas, es una empresa que ofrece servicios eléctricos y de automatización para el sector industrial público y privado. Empieza 20 años atrás y dirige su esfuerzo a la automatización, modificación estructural y de control de máquinas enfocándose principalmente al sector de la construcción. Es especializada en el tratamiento de plantas de asfalto, plantas de trituración y ha empezado a construir las primeras plantas de dosificación y pre-mezclado de hormigón en el Ecuador pasando a ser no sólo distribuidor sino productor. Está creando nuevos sistemas de control para sus nuevas plantas de producción nacional.

1.4. Descripción general del proyecto

El presente proyecto surge a raíz de la necesidad de la empresa Asphalt Plants S.A. de contar con un sistema de control propio para sus plantas dosificadoras de hormigón. Actualmente, la empresa recurre al uso de un sistema de control extranjero para el funcionamiento de sus plantas, si bien, ha resultado fiable en la implementación, el costo de este sistema resulta excesivamente caro.

Este proyecto ofrece a la empresa un sistema de control moderno y económico, capaz de optimizar los recursos que intervienen en el proceso y con la ventaja de visualizar todos los parámetros que en él ocurren.

El sistema de control será implementado en un PLC que será conectado a una pantalla, para que por medio de una interfaz gráfica, el operador pueda ingresar, corregir, almacenar y visualizar los parámetros que intervienen en el proceso de elaboración de hormigón. Básicamente, el sistema se encargará de que la planta haga dosificaciones de materiales según un diseño planteado, pudiendo existir la posibilidad de obtener mezclas de hormigones de resistencias normales (210 – 280 kg/cm²), de medianas resistencias

(350 – 420 kg/cm²) y de altas resistencias (> 480 kg/cm²). La figura 2, muestra cómo se halla estructurada la planta dosificadora de hormigón.

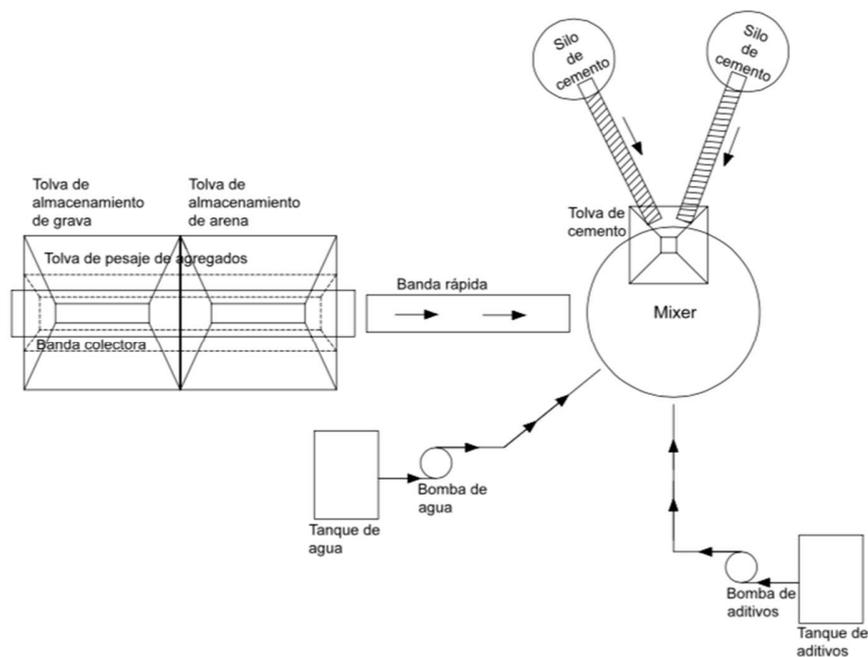


Figura 2. Esquema de la planta dosificadora de hormigón

Para que la planta dosificadora cumpla su función, será necesario controlar cinco sistemas de dosificación los cuales son:

- Sistema de dosificación de arena
- Sistema de dosificación de grava
- Sistema de dosificación de cemento
- Sistema de dosificación de agua
- Sistema de dosificación de aditivos

Se realizará el diseño e implementación de cada uno de ellos y se realizarán pruebas de laboratorio para confirmar que el producto final cumple con las expectativas del cliente. Se obtendrán las conclusiones y recomendaciones posteriores.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Hormigón

Se dice que el hormigón, figura 3, es una piedra artificial debido a que sus propiedades son semejantes a las que tienen las piedras naturales. El hormigón se obtiene mediante una mezcla cuidadosamente proporcionada de cemento, arena, grava y agua. Esta mezcla puede incluir aditivos los cuales conforman un quinto elemento y pueden ser químicos o de otros componentes como microsílices, cenizas volantes, limallas de hierro, etc. Y van a permitir conseguir propiedades especiales del hormigón (mayor resistencia, mejor trabajabilidad, baja densidad y más). (Proaño, 2014)

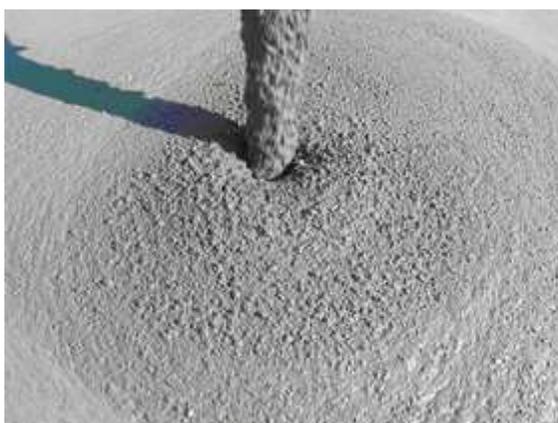


Figura 3. Imagen del hormigón

El cuerpo del material está conformado por agregados finos y gruesos, el agua y cemento van a interactuar químicamente para que se puedan unir las partículas del agregado y conformar una masa sólida. (Arthur H. Nilson, 1999)

Las características que hacen del hormigón el material de construcción por excelencia son sus propiedades de adquirir diversas formas en cualquier tipo de molde, altas resistencias al fuego y al clima, además que sus materiales se los puede conseguir a bajo costo y cerca del sitio de construcción con excepción del cemento y aditivos que generalmente definen el costo de la producción. (Proaño, 2014)

2.1.1. Resistencia característica del hormigón

La resistencia de una estructura va a depender de la resistencia de los materiales que lo constituyen, el hormigón es fabricado con materiales que por su naturaleza son inestables y cambiantes, por tanto una resistencia real y precisa del material es imposible conocer y constituyen variables aleatorias, además, la resistencia de una estructura va a depender también del cuidado que se tenga en la obra y se suma el hecho de que la combinación de estos elementos no puede ser matemáticamente igual de una amasada a la otra. (LAFARGE, 2010). La resistencia de toda la estructura puede aproximarse mediante datos conocidos, como estadísticas sobre resistencias reales de materiales o información similar que se encuentra extensamente disponible. (Proaño, 2014)

El cuadro 1 muestra las principales causas por las que puede variar la resistencia del hormigón.

Cuadro 1. Principales fuentes de variación de resistencia del hormigón (LAFARGE, 2010)

Variaciones en la fabricación del hormigón	Variaciones en los procesos de ensayo
Cambios en la relación agua/cemento debido a:	Procedimientos inadecuados de
- Falta de control en la cantidad de agua utilizada para cada mezcla.	muestreo.
- Variación en el contenido de humedad de los áridos.	Mala calidad de los moldes.
- Adición no controlada de agua a la mezcla.	Manejo descuidado de las muestras frescas.
Variación en la necesidad de agua de la mezcla por:	Falta de curado.
- Cambios en el tipo de árido: en la graduación, forma, tamaño y porosidad de las partículas.	Inicio del curado con retardo.
Cambios en el tipo y dosificación de los ingredientes:	Curado a temperaturas muy bajas.
- Áridos, fillers, aditivos.	Procedimiento de ensayo defectuosos:
Cambios en los procesos de mezclado, transporte, colocación y compactación del hormigón.	- No utilización del “capping”
Variación en la temperatura y el tipo de curado o ausencia de este.	- Superficies de los cilindros muy irregulares, cóncavas o convexas.
	- Uso de máquinas inapropiadas o no calibradas para realizar el ensayo.

Se puede apreciar la importancia del cuidado que se debe tener en los ensayos realizados en laboratorio, pues puede suceder que un proyecto bien elaborado sea

penalizado por malos ensayos o también que estos resultados no reflejen la realidad del hormigón en sitio y sea aceptada una obra defectuosa. En el país se emplean los métodos de ensayo de la ASTM, reconocidos y aceptados por el INEN y deben utilizarse sin cambios ni desviaciones. (LAFARGE, 2010)

Es claro que no se debe descuidar ninguna de las dos actividades, estas deben controlarse y fiscalizarse con mucho cuidado. Sin embargo, aun cuando son tomadas todas las precauciones en la elaboración y en ensayo de las probetas, estas tendrán un grado de variación en los resultados, ya que como se mencionaba anteriormente, el hormigón es un material “estadísticamente variable”, entonces los esfuerzos deberán ser dirigidos a reducir al mínimo esas variables. Con este propósito, la medida a tomar para una obra particular es, fijar una resistencia de diseño de la mezcla en laboratorio la cual será mayor que la resistencia especificada. (LAFARGE, 2010)

2.1.2. Materiales que conforman el hormigón

2.1.2.1. Cemento

Un material cementante es aquel que tiene las propiedades de adhesión y cohesión necesarias para unir agregados inertes y conformar una masa sólida de resistencia y durabilidad adecuadas. (Arthur H. Nilson, 1999)

Dentro de esta categoría no solo se incluye al cemento sino también a limos, asfaltos y alquitranes que se usan para la construcción de carreteras y otros. Para la fabricación del concreto estructural se utilizan exclusivamente los denominados cementos hidráulicos, el más común de todos es el cemento portland introducido en Inglaterra en 1824. (Arthur H. Nilson, 1999)

El cemento portland es un material grisáceo finamente pulverizado, conformado por silicatos de calcio y aluminio, existen cinco tipos de este cemento.

TIPO I: Comúnmente utilizado, los concretos formados con este tipo de cemento requieren aproximadamente 2 semanas para alcanzar la resistencia suficiente para vigas y losas.

Tipo II: Son cementos con propiedades modificadas para cumplir propósitos especiales, como cementos antibacteriales que pueden usarse en piscinas; cementos

hidrófobos que se deterioran muy poco en contacto con sustancias agresivas líquidas; cementos de albañilería que se los emplea en la colocación de mampostería; cementos impermeabilizantes que se los utiliza en elementos estructurales en que se desea evitar las filtraciones de agua u otros fluidos, etc.

Tipo III: Son los cementos de alta resistencia inicial y de fraguado rápido, alcanzan a los 7 y 14 días de colocados la resistencia que adquiere el cemento de tipo I en 28 días. Suelen utilizarse en obras de hormigón que están en contacto con flujos de agua durante su construcción o en obras que pueden inestabilizarse rápidamente durante la construcción.

Tipo IV: Son los cementos de fraguado lento, que producen poco calor de hidratación. Se los emplea en obras que contienen grandes volúmenes continuos de hormigón como las presas, permitiendo controlar el calor emitido durante el proceso de fraguado.

Tipo V: Son cementos resistentes a los sulfatos que pueden estar presentes en los agregados del hormigón o en el propio medio ambiente. La presencia de sulfatos junto con otros tipos de cementos provoca la desintegración progresiva del hormigón y la destrucción de la estructura interna del material compuesto.

2.1.2.2. Agregados

Conforman el 70 y 75 por ciento del volumen de la masa endurecida, el resto lo conforman la pasta endurecida, agua no combinada y vacíos de aire. Estos dos últimos no contribuyen a la resistencia de la mezcla por lo que la compactación del producto y la gradación del tamaño de los agregados resultan sumamente importante en el manejo y la elaboración del hormigón.

Es importante que estos agregados no solamente posean el tamaño adecuado, sino también que tengan la calidad necesaria y que sus superficies estén libres de cualquier impureza como arcillas, limos o materia inorgánica que afecten o debiliten la unión con la pasta de cemento, esto dará como resultado un mayor refuerzo, mayor resistencia a la intemperie y economía del concreto.

Normalmente los materiales son clasificados como material fino y material grueso. Para una gradación óptima, se pueden separar los agregados mediante tamizado. En dos

o tres grupos se pueden separar los materiales finos y en varios grupos los materiales gruesos.

Un material o agregado fino es cualquier material que pasa el tamiz número 4, es decir, cualquier tamiz con cuatro aberturas por pulgada lineal.

Un material o agregado grueso o grava puede ser cualquiera cuyo tamaño está controlado por la facilidad en que pueda entrar en las formaletas y los espacios entre barras de refuerzo, concretamente, no debe ser mayor a un quinto de la dimensión más pequeña de las formaletas o un tercio del espesor de las losas, ni tres cuartos de la distancia mínima entre barras de refuerzo. (Arthur H. Nilson, 1999)

2.1.2.2.1. Agregados livianos y agregados pesados

El peso unitario de un hormigón normal puede suponerse igual a 2300 kg/m³. Actualmente se han venido usando con mayor frecuencia hormigones livianos y pesados. Los hormigones livianos tienen pesos que no suelen exceder los 800 kg/m³, mientras que los hormigones de resistencias moderadas varían en pesos de 960 y 1360 kg/m³, este tipo de hormigón suele ser utilizado para rellenos. (Arthur H. Nilson, 1999)

Los concretos pesados son usados en muchos casos para aplicaciones especiales como son la protección contra rayos x o gamma en instalaciones nucleares, contrapesos en puentes colgantes, etc. Para estos hormigones se usan agregados que contienen hierro o sulfatos de bario (baritas) triturados en tamaños adecuados, también se usan aceros en fragmentos y esquirlas o perdigones a manera de finos y sus pesos suelen variar entre los 3200 y 3690 kg/m³, si sólo se ocupan minerales de hierro para los finos y acero para los agregados gruesos pueden llegar a alcanzar pesos de 5300 kg/m³. (Arthur H. Nilson, 1999)

2.1.2.3. Agua

El agua juega un rol importante en la elaboración del hormigón ya que va a reaccionar con el cemento para formar los cristales de cohesión para unir los agregados, la naturaleza del agua va a determinar si es adecuada o no para la fabricación del hormigón. (Sika, 2007).

2.1.2.3.1. Agua de mezclado

La calidad del agua es importante porque sus impurezas pueden interferir en la elaboración del hormigón y pueden inclusive llevar a una corrosión de los refuerzos cuando se realiza obras estructurales, por estas razones se debe considerar el tipo de agua que se utiliza en la mezcla y en el proceso de curado. En términos generales un agua apropiada es aquella que es apta para el consumo humano, sin embargo este criterio no siempre puede ser correcto, por ejemplo cuando el agua tiene altas concentraciones de potasio o sodio y hay peligro de una reacción con agregados alcalinos. (A.M. Neville, 2010)

Mientras el uso de agua potable es generalmente seguro, el uso de agua no potable también lo puede ser para elaborar hormigón. Como regla se tiene que, cualquier agua con un pH de 6.0 a 8.0 que no sea salada o salobre es apta para su uso. (A.M. Neville, 2010).

La norma EN 1008 que establece la idoneidad para el agua de amasado y curado, enumera los siguientes tipos de agua: (Sika, 2007)

- *Agua potable:* Es adecuada para el hormigón. No necesita pruebas.
- *Agua recuperada de procesos en la industria del hormigón (por ejemplo, agua de lavado):* Generalmente es adecuada para el hormigón pero debe cumplir con los requerimientos del Anexo A de la norma (por ej., que el peso adicional de sólidos en el hormigón que aparecen cuando se usa el agua recuperada de los procesos en la industria debe ser menor que el 1% del peso total de los áridos que se encuentran en la mezcla).
- *Agua subterránea:* Puede ser adecuada para el hormigón pero se debe verificar.
- *Agua superficial y agua de procesos industriales:* Puede ser adecuada para el hormigón pero se debe verificar.
- *Agua de mar o agua salobre:* Puede ser adecuada para el hormigón no reforzado pero no es adecuada para el hormigón armado o pretensado. Se

debe verificar el contenido máximo de cloro permitido en el hormigón con refuerzo armado o insertos metálicos.

- *Agua de desechos:* No es adecuada para el hormigón.
- *Agua combinada:* Es una mezcla de agua recuperada de procesos en la industria del hormigón y agua de un origen diferente. En este caso se aplican los requerimientos para los tipos de agua combinada.

2.1.2.3.2. Agua de curado

Generalmente un agua satisfactoria para el mezclado es apta para el curado, sin embargo, agua que contiene CO₂ libre puede causar erosión en la superficie, el hierro y la materia orgánica pueden causar decoloración en el hormigón y el agua de mar puede llegar a atacar los refuerzos en el hormigón estructural, es esencial que el agua de curado esté libre de sustancias que puedan atacar el hormigón terminado. (A.M. Neville, 2010).

2.1.2.4. Aditivos

Los aditivos que se usan para la fabricación del hormigón lo constituyen químicos o polvos que son agregados en pequeñas cantidades durante el mezclado, basándose en el contenido del cemento, los aditivos influyen en las propiedades del hormigón fresco y/o endurecido (Sika, 2007)

Los aditivos químicos deben cumplir los requisitos de la norma ASTM494 que regula las especificaciones estándar de los aditivos químicos en el concreto.

Cuadro 2. Aditivos químicos – definiciones y efectos (Sika, 2007)

Reductor de agua: Permite reducir el contenido de agua en una mezcla de hormigón sin afectar la consistencia o aumenta la trabajabilidad sin cambiar el contenido de agua, o combina ambos efectos.

Superplastificante: Permite reducir en gran medida el contenido de agua en una mezcla de hormigón sin afectar la consistencia, o aumenta en gran medida la trabajabilidad sin cambiar el contenido de agua, o combina ambos efectos.

Estabilizador: Reduce la exudación del agua de amasado en el hormigón fresco.

CONTINÚA →

Incorporador de aire: Introduce una cantidad específica de pequeñas burbujas de aire bien distribuidas durante el proceso de mezclado. Este aire permanece en el hormigón luego de su endurecimiento.

Acelerante de fraguado: Reduce el tiempo de fraguado inicial, con aumento de la resistencia inicial.

Acelerante del endurecimiento: Acelera la resistencia inicial con o sin efecto sobre el tiempo de fraguado.

Retardador: Retarda el tiempo de fraguado inicial y prolonga la consistencia.

Reductor de la absorción de agua: Reduce la absorción de agua por capilaridad del hormigón endurecido.

Retardador/reductor de agua: Tiene efectos combinados como reductor de agua (efecto principal) y retardador (efecto adicional).

Retardador/superplastificante: Tiene efectos combinados como superplastificante (efecto principal) y retardador (efecto adicional).

Acelerante de fraguado/reductor de agua: Tiene efectos combinados como reductor de agua (efecto principal) y acelerador de fraguado (efecto adicional) Otros productos como los reductores de retracción, inhibidores de corrosión, etc. no se encuentran todavía cubiertos por la norma EN-934-2.

La microsílca y las cenizas volantes no son estrictamente aditivos para el hormigón pero son usados comúnmente para reemplazar parte del cemento en la mezcla, estos elementos tienden a aumentar la resistencia del hormigón a edades superiores a los 28 días en el caso de las cenizas y a edades tempranas entre 3 a 28 días con la microsílca y han sido importantes en la producción de hormigón de alta resistencia. Cuando se utilizan estos materiales, se acostumbra a referirse a la relación agua-materiales en lugar de la relación agua-cemento, y puede ser tan baja como 0.25 para concretos de alta resistencia. (Arthur H. Nilson, 1999)

2.1.3. Dosificación y mezcla del hormigón

El principal objetivo de la dosificación es que el hormigón resultante tenga la resistencia, manejabilidad y costo adecuados, este último obliga a utilizar la mínima

cantidad de cemento y a disponer de una buena gradación de agregados para obtener mejores compactaciones, así será menor la pasta de cemento necesaria para llenar los vacíos de la mezcla. Siendo la relación agua-cemento el factor principal que controla la resistencia del hormigón. (Arthur H. Nilson, 1999)

Una relación agua-cemento baja conduce a hormigones de mayor resistencia y calidad, para que todo el cemento presente en una mezcla reaccione químicamente con el agua se necesita mínimo una relación agua-cemento del 25% en peso, esto hará que se formen pequeños puentes cristalizados entre las superficies de los agregados como se observa en la figura 4, estos cristales son los responsables de la cohesividad entre las partículas y la resistencia del hormigón final.

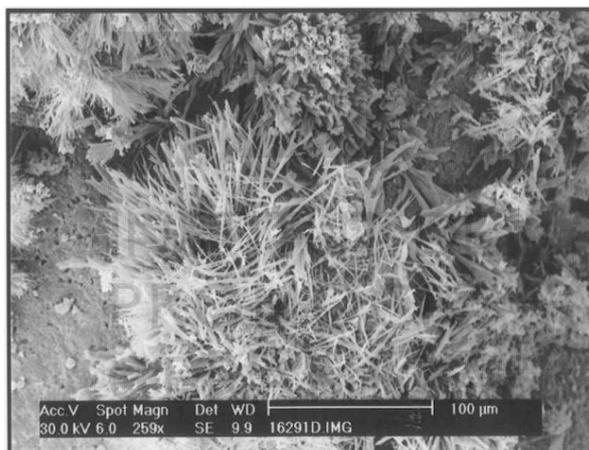


Figura 4. Cristales formados por la reacción química entre el agua y el cemento.
(www.ipc.org, 2014)

Desafortunadamente una relación agua-cemento del 25%, que en teoría brinda la mayor resistencia en el hormigón, no puede ser conseguida en un hormigón normal pues es imposible trabajar con este material, por lo que, para asegurar una mezcla homogénea y trabajabilidad se necesita una relación agua-cemento mínima del 60%.

Para una definición completa de las proporciones es usual especificar el peso de agua, arena y agregado grueso por bulto de cemento de 50 kg. De esta manera, una mezcla puede definirse como aquella que contenga 24 kg de agua, 122 kg de arena y 202 kg de agregado grueso.

Como alternativa, las cantidades para una mezcla se definen en términos del peso total de cada componente necesario para fabricar un metro cúbico de concreto húmedo, es decir, 290 kg de cemento, 170 kg de agua, 713 kg de arena seca y 1088 kg de agregado grueso seco.

La relación agua-cemento (a/c) se puede calcular dividiendo el peso de la cantidad total del agua por el peso del cemento que se añade, se debe tomar en cuenta también la humedad y el agua absorbida por los agregados, y se lo puede expresar de la siguiente manera:

$$\frac{a}{c} = A_o - A_g - \frac{A_h}{c} \quad \text{ó} \quad \frac{a}{c_{eq}} = A_o - \frac{A_g}{c + (K \times \text{adición tipo II})}$$

$A_o = \text{Agua efectiva}$

$A_g = \text{Agua en agregados}$

$A_h = \text{humedad de los agregados}$

La cantidad de agua absorbida por los agregados es determinada de acuerdo a la norma EN 1097-6 que se refiere a las pruebas de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados. (Sika, 2007)

2.1.4. Transporte, vaciado, compactación y fraguado

La segregación de material es el principal inconveniente que se tiene cuando se realiza el transporte del hormigón, debido a la heterogeneidad de la mezcla, los componentes pesados tienden a asentarse mientras que los livianos, particularmente el agua, tienden a elevarse. El peligro de la segregación ha hecho descartar algunos medios de transporte comunes como vertederos y bandas transportadoras por otros que minimicen esta tendencia. (Arthur H. Nilson, 1999)

El vaciado es el proceso de transferir el concreto fresco, del dispositivo de conducción al sitio final de colocación en las formaletas. Previamente al vaciado se debe quitar el óxido suelto de los refuerzos, limpiar las formaletas y tratar de forma adecuada las superficies endurecidas, un vaciado correcto evita la segregación en la mezcla, el

desplazamiento de las formaletas y adherencias deficientes entre capas sucesivas de concreto.

La compactación es lograda mediante el uso de vibradores mecánicos de alta frecuencia y pueden ser internos o externos, los primeros son preferibles y son los más usados ya que se sumergen en la mezcla y son complementados con los segundos cuando se tienen formaletas muy delgadas o cuando los obstáculos no permiten sumergir los dispositivos. El vaciado y la compactación son decisivas en la calidad final del concreto.

El hormigón gana cerca del 70 por ciento de resistencia en la primera semana después de su colocación, esta resistencia va a depender principalmente de las condiciones de humedad y temperatura durante este periodo inicial. El 30 por ciento de la resistencia del hormigón puede perderse por secado prematuro del concreto o si la temperatura desciende los 5 grados centígrados durante sus primeros días, a menos que el concreto se mantenga en estado húmedo un buen periodo.

El mantenimiento de las condiciones adecuadas durante este tiempo se conoce como fraguado o curado.

Para evitar los daños expuestos, se deben mantener continuamente húmedas las superficies expuestas del concreto y a temperaturas que no desciendan los 5 grados centígrados, esto se puede lograr calentando el agua de la mezcla y empleando métodos de aislamiento térmico cuando las temperaturas del aire son bajas y mediante rociado, empozamiento, recubrimiento con láminas de plástico o mediante la aplicación de materiales sellantes para retardar la evaporación y mantener las condiciones de humedad del hormigón colocado. (Arthur H. Nilson, 1999)

2.2. Plantas dosificadoras de hormigón

Las plantas dosificadoras de hormigón, son estructuras mecánicas creadas con el fin de proveer la cantidad adecuada de un conjunto de materiales que al ser mezclados dan como resultado hormigón.

2.2.1. Elementos de las plantas dosificadoras de hormigón

Estas plantas están compuestas de sistemas de almacenamiento y distribución para los diferentes materiales e incluyen tolvas, silos, cintas de transporte, básculas, sensores, motores, cilindros neumáticos, etc.

2.2.1.1. Tolvas

Son un conjunto de recipientes de gran capacidad que van de 10m³ a 200m³ y son utilizadas para almacenar los agregados para la elaboración del hormigón.

2.2.1.2. Sistema de pesaje de agregados

Las celdas de carga son los sensores utilizados para el pesaje de los materiales que van a ser utilizados en la fabricación del hormigón, estos pueden ser utilizados en un sistema de cinta pesadora que pesa los diferentes agregados por adición o en un sistema de tolvas pesadoras independientes que pesan por separado cada agregado.

2.2.1.3. Sistema de transporte de agregados

Para transportar los agregados es común el uso de las cintas transportadoras las cuales brindan fiabilidad y requieren poco mantenimiento. Otras alternativas de transporte incluyen los elevadores de cangilones que ocupan menor espacio en la planta pero requieren mayores mantenimientos u ofrecen menor durabilidad.

2.2.1.4. Silos de cemento

Para almacenar el cemento se utilizan silos con capacidades que varían desde los 30 a los 1000 metros cúbicos, estos silos incorporan sistemas de filtrado de cemento, válvulas de seguridad de sobrepresión, sistemas de niveles de cemento.

2.2.1.5. Transportadores de cemento

El transporte del cemento es realizado mediante tornillos sin fin en tubos cerrados.

2.2.1.6. Sistema de pesaje de cemento

Para pesar el cemento se utiliza una báscula o tolva pesadora con celdas de carga incorporadas.

2.2.1.7. Sistema de pesaje del agua

Se puede utilizar una báscula o tolva pesadora pero como alternativa económica se utiliza un contador de agua para realizar una medición volumétrica.

2.2.1.8. Amasadora o mixer

Es utilizado en las plantas de hormigón de amasado, dependiendo el hormigón que se desea obtener, viscosidad, niveles de homogeneidad y tamaño de agregados se pueden utilizar mixer de doble eje horizontal, de eje vertical, planetarios, de tambor, etc.

2.2.1.9. Sistema de control

Las plantas de hormigón deben ser instalaciones automatizadas con sistemas integrados de control de peso y producciones, estos sistemas de control se realiza mediante controladores lógicos programables o microcontroladores.

Pueden existir otros elementos como sistemas de dosificación de aditivos, de fibras, sistemas neumáticos de cemento, etc. Cuya incorporación dependerá del tipo de hormigón a fabricar.

2.2.2. Clasificación de las plantas de hormigón

Las plantas dosificadoras de hormigón pueden ser clasificadas según su función, su movilidad y según su sistema de acoplo de áridos.

2.2.2.1. Según su función

2.2.2.1.1. Plantas de dosificación

La característica de una planta dosificadora de hormigón es que estas plantas carecen de una central amasadora o mixer. La mezcla de los componentes dosificados será vertida en un camión hormigonera que se encargará de homogeneizar la mezcla.

2.2.2.1.2. Plantas de mezclado

Estas plantas incluyen una central amasadora o mixer la cual dispondrá de hormigón listo para ser utilizado.

2.2.2.1.3. Plantas de grava cemento

Las plantas de grava cemento realizan una mezcla semi-seca de grava con cemento, generalmente estas plantas realizan la dosificación y pesaje de los materiales en modo continuo.

2.2.2.1.4. Plantas combinadas

Las plantas de hormigón combinadas disponen de un sistema de by-pass para realizar un hormigón amasado con mixer en la propia planta o descargar el hormigón directamente a un camión hormigonera.

2.2.2.2. Según su movilidad:

Las plantas de hormigón también pueden ser clasificadas según su movilidad, pudiéndose tener plantas fijas, móviles y modulares.

2.2.2.2.1. Plantas de hormigón fijas:

Estas plantas han sido diseñadas para trabajar en un solo sitio de trabajo a lo largo de su vida útil.

2.2.2.2.2. Plantas de hormigón móviles.

Son plantas diseñadas para trabajar en diversos lugares, la característica de estas plantas es que pueden desmontarse una vez finalizado el proyecto para trasladarse a otro, suelen disponer de un tren de rodadura de modo que únicamente se necesita de una cabeza tractora para realizar el transporte de las principales partes de la planta.

2.2.2.2.3. Plantas modulares:

Son aquellas diseñadas para trabajar en varios lugares y difieren de las plantas móviles en que estas no disponen de un sistema de rodadura sino que consisten en diferentes módulos estructurales que son fácilmente transportables y su montaje es rápido ya que sus componentes se encuentran previamente preinstalados en cada módulo.

2.2.2.3. Según su sistema de acoplo de áridos:

Según el lugar donde se almacenan los agregados que serán utilizados en la fabricación del hormigón se tienen dos tipos de plantas.

2.2.2.3.1. Plantas verticales:

En las plantas de hormigón de tipo vertical el acopio de agregados se lo realiza en la parte superior de la planta de modo que la descarga de los mismos puede ser realizada de manera rápida, estas plantas ayudan a obtener grandes producciones y buenos rendimientos.

2.2.2.3.2. Plantas horizontales:

En este tipo de plantas el acopio de los materiales se lo realiza a nivel del suelo, y no sobre el nivel de amasado o dosificado de la planta, la ventaja que brinda este tipo de plantas es que la estructura de la planta resulta más sencilla, se puede hacer un pre stock de material y se puede aumentar la producción y rendimiento utilizando transportadores de mayor capacidad o tolvas de espera sobre el nivel de amasado con la cantidad justa de material.

2.3. Automatización de las plantas dosificadoras de hormigón

Hasta hace unas décadas las plantas dosificadoras de hormigón, eran sistemas de accionamiento manual con sistemas de pesado de relojes de aguja para indicación de pesos de los diferentes materiales del hormigón y accionamientos mediante mandos de palanca.

Luego se empezaría a implementar las primeras automatizaciones con soluciones electromecánicas para mejorar los procesos de estas plantas usando lógicas de funcionamiento a través de relés y cilindros neumáticos y electroválvulas para activaciones de compuertas.

Paulatinamente, las plantas dosificadoras de hormigón se han equipado cada vez con mejores sistemas para su funcionamiento y hoy en día adoptan equipos electrónicos avanzados como son los PLC y herramientas para administrar y controlar todo el proceso productivo, brindando mayores precisiones en los pesajes de materiales con la implementación de celdas de carga.

Actualmente la mayoría de plantas de hormigón automatizadas cuentan con sistemas scada que permiten a los operadores tener un mejor entendimiento de lo que sucede en la

planta en tiempo real y realizar ingresos de parámetros y cambios de recetas muy rápidamente, optimizando recursos y tiempos de entrega del producto.

Para automatizar una planta dosificadora de hormigón es necesario que esta cuente con mecanismos de accionamiento electroneumáticos para apertura de las compuertas de las tolvas, de igual manera, deberán tener sistemas mecanizados para la dosificación del cemento por lo general un tornillo sin fin o válvulas de cierre con actuadores para el caso de dosificación por efecto de gravedad. Para las dosificaciones de agua estas plantas emplearán caudalímetros o flujómetros para mayores precisiones y para pesaje de agregados se ubicarán celdas de carga.

Con estos requisitos se podrá implementar un sistema automatizado el cual brindará innumerables ventajas, entre estas:

- Evitar la repetitividad de tareas por parte del hombre
- Mejor control de calidad
- Mayor eficiencia
- Mayor productividad
- Reducción del trabajo
- Optimización de recursos

CAPÍTULO III

DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

3.1. Sistema mecánico de la planta dosificadora de hormigón

La planta dosificadora de hormigón de la empresa Asphalt Plants S.A. cuenta con sistemas de almacenamiento y transporte, los que se encargan de guardar y distribuir el material según la necesidad que se presente.

3.1.1. Sistema de almacenamiento

El sistema de almacenamiento es un conjunto de 4 tolvas, 2 silos y 2 tanques, cada uno de estos elementos cumple una función específica como se ilustra en la figura 5.

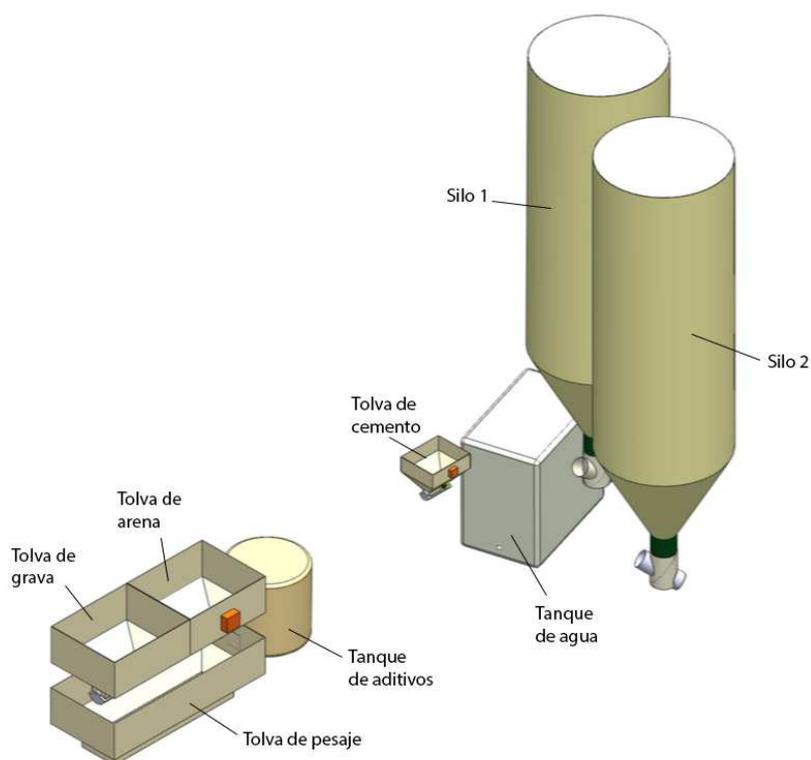


Figura 5. Sistema de almacenamiento de la planta dosificadora de hormigón

3.1.1.1. Tolvas de grava y arena

Las 2 tolvas dispuestas de manera adyacente son las que reciben la arena y grava a ser utilizados en el proceso, cada tolva tiene una capacidad de 10 m³ y cuentan en su parte

inferior con una compuerta del tipo simplex cuyo mecanismo de apertura se logra por el accionamiento de un cilindro neumático y permite que los agregados sean descargados por efecto de la gravedad cuando son activados. La tolva que almacena la arena tiene un motovibrador en una de sus paredes para evitar el atascamiento de material. La función principal de estas tolvas es retener el material que va a ser utilizado en la fabricación del hormigón, tienen que ser llenadas regularmente para tener un flujo de material continuo. En las figuras 6 y 7 se visualizan sus componentes.



Figura 6. Tolvas para depósito de agregados



Figura 7. Mecanismo de apertura de las tolvas de agregados

3.1.1.2. Tolva de pesaje

Debajo de las tolvas de almacenamiento el sistema cuenta con una tolva especial que es la tolva de pesaje que se muestra en la figura 8, es una estructura única conformada por dos tolvas, en conjunto con la banda transportadora, retiene el material y gracias a 4 celdas de carga miden el peso apropiado de cada uno de los agregados antes de ser

distribuidos, en la zona donde se descarga la arena tiene instalado en una de sus paredes un motovibrador para evitar atascamiento de la arena.



Figura 8. Tolva de pesaje de agregados

3.1.1.3. Tolva de cemento

En otra ubicación de la planta se halla la tolva de pesaje de cemento, esta tolva está suspendida mediante una estructura de barras y dispone de 4 celdas de carga que ayudan a medir el peso de cemento que se almacena en la misma cuando el sistema entra en funcionamiento, cuenta en su parte inferior con una compuerta tipo dúplex accionada mediante un cilindro neumático, de igual manera, un motovibrador es colocado en uno de sus costados para evitar que el cemento se adhiera a las paredes. En la figura 9 se puede apreciar la tolva de cemento con el motovibrador acoplado a su costado, en la figura 10 vemos el mecanismo de apertura de esta tolva para descargar el cemento al mixer.



Figura 9. Tolva de pesaje de cemento



Figura 10. Mecanismo de apertura de la tolva de pesaje de cemento

3.1.1.4. Silos

Los silos de la planta son estructuras verticales cilíndricas utilizadas para almacenar el cemento, en su parte superior se encuentran equipados con una chimenea que descomprime el interior y evitan la salida del contenido a la atmósfera, en el interior cuentan con pulmones que evitan que se atasque el cemento, en su parte inferior están conectados por medio de una válvula de mariposa a un tubo cerrado que contiene un tornillo sin fin el cual funciona mediante un motor acoplado en uno de sus extremos. En la figura 11 vemos los 2 silos con los que cuenta la planta dosificadora de la empresa, en la figura 12 se indican las chimeneas de descompresión y en la figura 13 tenemos el mecanismo de apertura de los silos mediante una válvula mariposa y una electroválvula.



Figura 11. Silos de cemento en planta dosificadora de hormigón



Figura 12. Chimenea de descompresión



Figura 13. Mecanismo de apertura de silos

3.1.1.5. Tanque de agua

En la figura 14 vemos el reservorio de agua que se utiliza para su almacenamiento, la dosificación de este elemento se realiza mediante tuberías las cuales están conectadas a una electrobomba hidráulica y a un flujómetro los que permiten una correcta distribución de estos líquidos, estas tuberías desembocan al mixer.



Figura 14. Reservorio de agua

3.1.1.6. Tanque de aditivos

Actualmente el sistema no cuenta con un sistema de dosificación de aditivos, el diseño de este sistema es considerado en este proyecto para su futura implementación.

3.1.2. Sistema de transporte

El sistema de transporte o distribución, está conformado por 2 bandas transportadoras, 2 transportadores de tornillo sin fin y tuberías como se aprecia en la figura 15.

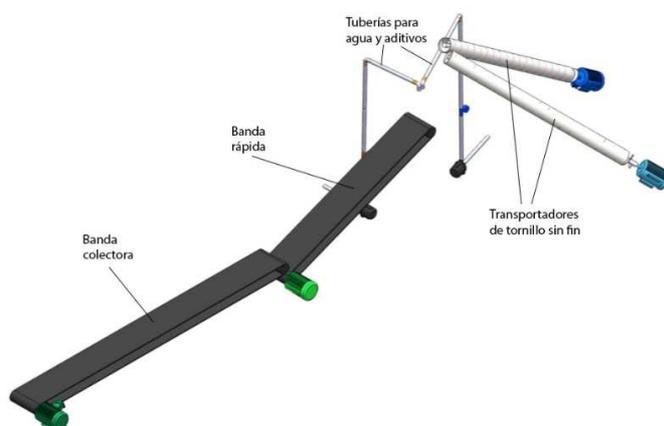


Figura 15. Sistema de transporte de la planta dosificadora de hormigón

3.1.2.1. Banda colectora

La banda colectora que se muestra en la figura 16, se ubica debajo de la tolva de pesaje, es una estructura de goma en forma de correa cerrada en anillo con una unión vulcanizada, En la figura 17 se aprecia el motor acoplado en uno de sus rodillos el cual activa el funcionamiento de esta banda.



Figura 16. Banda colectora



Figura 17. Mecanismo de activación de la banda colectora

3.1.2.2. Banda rápida

Seguido a la banda colectora, se halla la banda rápida, esta banda está ubicada en ángulo y es la encargada de enviar la arena y grava al mixer, su estructura y mecanismo de activación se puede ver en las figuras 18 y 19.



Figura 18. Banda rápida



Figura 19. Mecanismo de activación de la banda rápida

3.1.2.3. Transportadores de tornillo sin fin

El transportador de tornillo sin fin está conformado por aspas helicoidales montadas en una tubería cerrada, este mecanismo transporta el cemento al mixer evitando que se esparza por el aire ya que es un polvo muy fino, en la figura 20 se puede apreciar los

tornillos sin fin que se proyectan hacia la tolva de cemento, el mecanismo que activa estos transportadores se muestra en la figura 21.



Figura 20. Transportadores de tornillo sin fin



Figura 21. Mecanismo de activación de los transportadores de tornillo sin fin

3.1.2.4. Tuberías

Las tuberías se encargan de transportar el agua y los aditivos hacia el mixer, disponen de bombas hidráulicas las cuales controlan la salida de estos componentes, estos transportadores se observan en la figura 22.



Figura 22. Transporte de agua por medio de tuberías

3.2. Sistema eléctrico de la planta dosificadora de hormigón

3.2.1. Generación de energía

La planta está alimentada por un sistema trifásico de 220VAC a 60Hz con protección a tierra, dispone de un generador propio (figura 23) el cuál entra en funcionamiento mediante un sistema de transferencia automático en caso de ausencia de energía de la red pública (figura 24).



Figura 23. Generador eléctrico de la planta dosificadora de hormigón



Figura 24. Tablero del circuito de transferencia de energía

3.2.2. Tablero de control

En la cabina de operación se encuentra la caja de mando local (figura 25) en donde se realizan todas las operaciones del sistema.



Figura 25. Caja de mando local de la planta dosificadora de hormigón

3.2.3. Tablero de potencia

Debajo de la caja de mando local se ubica el tablero de potencia, el sistema hace uso de arrancadores directos conformados por breakers, contactores y guardamotores como se observa en la figura 28.



Figura 28. Arrancadores directos en el tablero de potencia de la planta dosificadora de hormigón

3.2.4. Actuadores del sistema

Para el trabajo de los sistemas de dosificación de grava, arena y cemento el sistema dispone de un conjunto de actuadores que permitirán realizar las dosificaciones de los materiales.

La banda colectora, la banda rápida, el compresor, la electrobomba y los transportadores de tornillo sin fin utilizan motores trifásicos para su funcionamiento, son accionados a 220VAC en configuración delta y se conectan a los guardamotores ubicados en el tablero de potencia, en las figuras 29, 30 y 31 se puede observar estos actuadores. El accionamiento del motor del compresor se realiza antes de operar la planta y permite obtener la presión suficiente de aire para energizar el sistema neumático, en la figura 32 se muestra la placa con las características de este motor.



Figura 29. Motor de banda colectora



Figura 30. Motor banda rápida



Figura 31. Motor tornillo sin fin

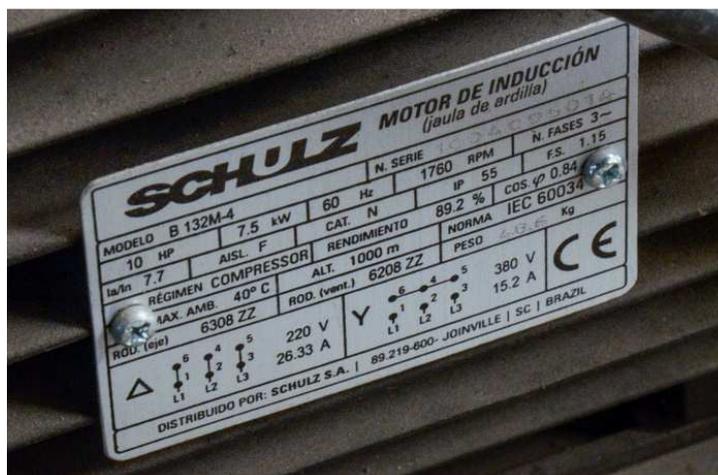


Figura 32. Características del motor del compresor de la planta dosificadora

Para evitar el atascamiento de los agregados finos como son la arena y el cemento, se ubican motovibradores al costado de cada una de las tolvas que van a receptor estos materiales, los motovibradores son accionados con 110VAC, en la figura 33 se puede observar el motovibrador ubicado en la tolva de pesaje de cemento.

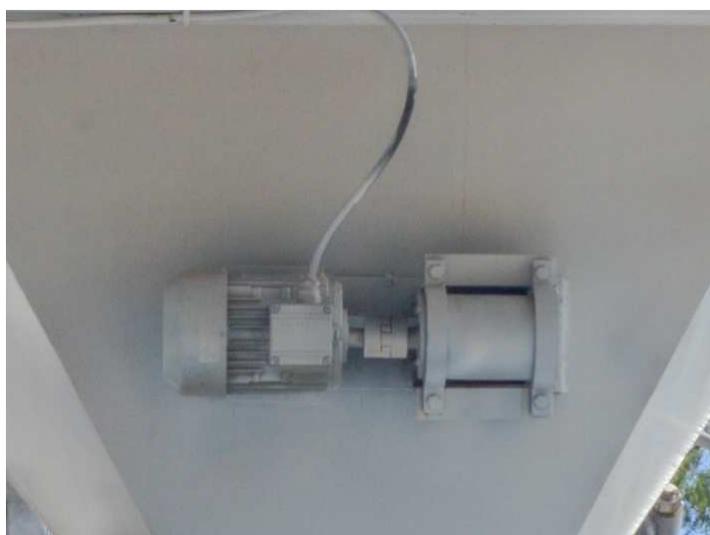


Figura 33. Motovibrador acoplado al costado de la tolva de cemento.

Para el accionamiento de los actuadores neumáticos se utilizan electroválvulas 5/2 monoestables cuyas bobinas se energizan a 110VAC. En la figura 34 se observa la conexión una de estas electroválvulas que se instalan en la planta.



Figura 34. Conexión de electroválvula en la planta dosificadora

3.2.5. Sensores del sistema

La obtención de los valores de peso es brindado por las celdas de carga que se instalan en las tolvas de pesaje y cemento. Como se ubican 4 celdas de carga en cada tolva, se utiliza una caja de suma. En la figura 35 se muestra una de las celdas de carga que se utilizan en la planta y en la figura 36 se puede observar la caja de conexión de las celdas de carga.



Figura 35. Celda de carga ubicada en la tolva de pesaje



Figura 36. Caja de conexión de celdas de carga

En la tabla 1 se indican los parámetros de funcionamiento de las celdas de carga

Tabla 1. Parámetros de funcionamiento de las celdas de carga de la planta dosificadora de hormigón

Referencia	Marca	Tipo	Carga nominal	Tensión de alimentación	Valores característicos nominales
Celdas de carga en tolva de pesaje	Siemens	Tipo barra	0,5 – 5t	5 – 12VDC	2 mV/V
Celdas de carga en tolva de cemento	Siemens	Tipo barra	0,5 – 5t	5 – 12VDC	2 mV/V

Los valores de volumen de agua son adquiridos mediante un sensor de flujo colocado en la tubería respectiva. En la figura 37 se observa el flujómetro utilizado en la planta de dosificación de hormigón.



Figura 37. Flujómetro utilizado para la dosificación de agua

La tabla 2 indica los parámetros de funcionamiento del sensor que utiliza la planta.

Tabla 2. Parámetros de funcionamiento del sensor de flujo de la planta dosificadora de hormigón.

Referencia	Marca	Tipo	Margen de velocidad de flujo	Tensión de alimentación	Tipo de salida
Sensor de flujo	Signet	Tipo rueda de paletas	0,1 a 6 m/s	3,3 - 24VDC	Transistor de colector abierto

3.3. Sistema neumático de la planta dosificadora de hormigón

El sistema neumático es energizado mediante un compresor (figura 38) el cual presuriza el aire del medio ambiente y lo conduce hacia todos los actuadores neumáticos que dispone la planta dosificadora de hormigón.

Tres cilindros neumáticos se encargan de abrir y cerrar las compuertas de las tolvas de los agregados, en la figura 39 se muestra el cilindro ubicado en la tolva de arena.

La apertura de las compuertas de los silos se realiza mediante válvulas de mariposa acopladas en la base de los mismos como se puede observar en la figura 40.

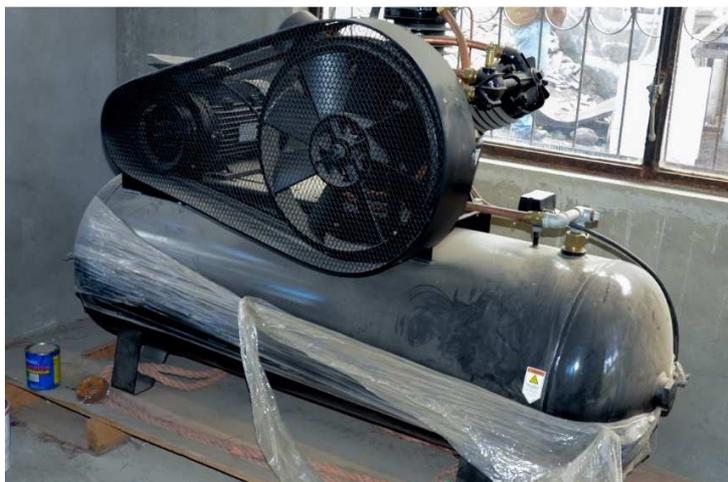


Figura 38. Compresor de la planta dosificadora de hormigón



Figura 39. Cilindro neumático para apertura de tolvas



Figura 40. Válvulas de mariposa para apertura de silos

Para evitar el atascamiento del cemento en los silos y permitir un mejor flujo del mismo, se instalan en cada silo aireadores que son conocidos también como pulmones y se muestra en la figura 41.



Figura 41. Aireador o pulmón colocado en uno de los silos

Las activaciones de los cilindros, válvulas de mariposa y pulmones de silos son realizadas eléctricamente a través de electroválvulas monoestables 5/2 a 110 voltios AC una de las cuales se indica en la figura 42.



Figura 42. Electroválvula neumática 5/2 monoestable

CAPÍTULO IV

DISEÑO

4.1. Requerimientos

Asphalt Plants S.A. requiere automatizar su planta dosificadora de hormigón mediante el uso de un controlador lógico programable que permita al operario ingresar los parámetros de elaboración del hormigón. Este sistema debe registrar los valores de las cantidades de material utilizados en el proceso, así como generar informes de los mismos. Debe permitir al operario la utilización de la planta en modo de funcionamiento manual y automático.

Es importante que para todo el proceso de dosificación de la planta, los agregados no sean enviados en su totalidad al mixer. La mezcla debe ser realizada paulatinamente. Es por esto que, para cualquier diseño se deberá dividir el trabajo en etapas haciendo que las dosificaciones se mantengan proporcionales en cada etapa designada, así se logrará una mejor calidad de mezcla de todos los agregados y se mantendrá las proporciones de dosificación según los parámetros de diseño ingresados por el operador.

El ingreso de porcentajes de humedad es otro aspecto a tomar en cuenta en el diseño del controlador, este dato lo brinda un laboratorista de suelos encargado de tomar muestras de los elementos que van a formar parte del proceso y servirá para compensar la cantidad de agua que se ingresa a la mezcla.

El sistema debe contar con un HMI diseñado para que se pueda operar la planta, todos los parámetros mencionados anteriormente serán visibles y según fuere el caso se podrán modificar acorde a las necesidades que surjan en el proceso. Se tomará en cuenta el uso de históricos y alarmas en la programación, esto para tener referencias del comportamiento de la planta cuando se deba realizar los respectivos mantenimientos correctivos, preventivos y predictivos.

El programa deberá incluir también el ingreso y grabación de los diseños que se fijen en laboratorio, incluyéndose además:

- Hora de despacho
- Cantidad de agregados utilizados en el despacho
- Cantidad total de agregados utilizados en el día de producción (reporte)
- Tipo de hormigón que se despacho

Se elaborarán los planos eléctricos de control y fuerza de la planta dosificadora de hormigón y se los implementará construyendo los respectivos tableros eléctricos.

Las pruebas a realizarse deberán ser corroboradas en laboratorios de suelos.

Se espera con el diseño planteado obtener una planta con un desempeño óptimo, haciendo el uso adecuado de la materia prima y dosificando de manera acorde a los diseños de trabajo propuestos. El buen control de la planta va a reflejarse en la calidad del producto.

4.2. Lista de variables de entrada y salida externas del sistema de dosificación de la planta de hormigón

Previo al diseño de los sistemas de dosificación se realizó un estudio de la planta para conocer y enlistar las variables de entrada y salida externas que intervienen en el proceso, estas variables se encuentran en los cuadros 3 y 4 mostrados a continuación.

Cuadro 3. Variables de entrada externas

Número	Referencia	Tensión de alimentación
1	Pulsador parada de emergencia	110 VAC
2	Pulsador motor banda colectora	110 VAC
3	Pulsador motor banda rápida	110 VAC
4	Pulsador motor tornillo sin fin 1	110 VAC
5	Pulsador motor tornillo sin fin 2	110 VAC
6	Pulsador electrobomba de agua	110 VAC
7	Pulsador electrobomba de aditivos	110 VAC
8	Pulsador compresor	110 VAC
9	Pulsador motovibrador tolva de pesaje	110 VAC
10	Pulsador motovibrador arena	110 VAC

CONTINÚA →

11	Pulsador motovibrador cemento	110 VAC
12	Pulsador compuerta de grava	110 VAC
13	Pulsador compuerta de arena	110 VAC
14	Pulsador compuerta de cemento	110 VAC
15	Pulsador compuerta silo 1	110 VAC
16	Pulsador compuerta silo 2	110 VAC
17	Pulsador pulmón silo 1	110 VAC
18	Pulsador pulmón silo 2	110 VAC
19	Flujómetro agua	24VDC
20	Flujómetro aditivos	24VDC
21	Celdas de carga tolva de pesaje	5VDC
22	Celdas de carga tolva de cemento	5VDC

Cuadro 4. Variables de salida externas

Número	Referencia	Tensión de alimentación
1	Motor banda colectora	110 VAC
2	Motor banda rápida	110 VAC
3	Motor tornillo sin fin 1	110 VAC
4	Motor tornillo sin fin 2	110 VAC
5	Electrobomba de agua	110 VAC
6	Electrobomba de aditivos	110 VAC
7	Compresor	110 VAC
8	Motovibrador tolva de pesaje	110 VAC
9	Motovibrador arena	110 VAC
10	Motovibrador cemento	110 VAC
11	Compuerta de grava	110 VAC
12	Compuerta de arena	110 VAC
13	Compuerta de cemento	110 VAC
14	Compuerta silo 1	110 VAC
15	Compuerta silo 2	110 VAC
16	Pulmón silo 1	110 VAC
17	Pulmón silo 2	110 VAC

4.3. Diseño del sistema de dosificación de la planta dosificadora de hormigón

Para lograr un diseño satisfactorio del sistema, es necesario conocer a fondo el funcionamiento la planta dosificadora de hormigón.

Se ha considerado conveniente tratar a la dosificación de cada elemento como un sistema independiente, así tendremos un sistema de dosificación para grava, para arena, para cemento, para agua y otro para aditivos. Si bien a todos los sistemas se los trata de manera separada, debido a la configuración de la planta, los sistemas de dosificación de grava y arena no trabajan independientemente, estos tendrán que trabajar en conjunto, uno seguido de otro porque usan una tolva de pesaje común, en la que, si se habilitarían los dos sistemas al mismo tiempo, las celdas de carga mostrarían un peso combinado de los dos elementos, se aplica lo mismo para el sistema de dosificación de cemento.

En el siguiente apartado se explica cómo se va a realizar el control de peso y volumen de los agregados.

4.3.1. Dosificación de grava, arena y cemento en la planta dosificadora de hormigón

El pesaje de los materiales usados para la fabricación del hormigón es brindado por las celdas de carga dispuestas en la planta para este propósito. Las celdas de carga SIWAREX WL230 son usadas para convertir la fuerza mecánica producida por el peso de los agregados en las tolvas, en señales eléctricas que van a ser captadas en el controlador.

Los sistemas de dosificación de grava y arena al utilizar una tolva de pesaje en común tendrán que trabajar en conjunto pero no al mismo tiempo. Lo mismo sucede con la dosificación del cemento el cual está conformado por 2 silos y una tolva de pesaje común.

El agua y aditivos son elementos que no se los agregan por peso sino por volumen.

4.3.2. Dosificación de agua y aditivos en la planta dosificadora de hormigón

La dosificación de estos 2 agregados es realizada por medio de sensores de flujo colocados en las líneas de tuberías de cada componente.

En la planta dosificadora de hormigón se utiliza un sensor de flujo de paletas, este sensor es recomendado para medir grandes caudales de más de 20 litros por minuto, estos medidores han tenido gran éxito por haber demostrado increíble robustez, duración y bajo costo al haberse mantenido su principio de inserción (para permitir mantenimiento sin desarmar la tubería). Su remoción para inspección, limpieza y/o reparación es práctica e instantánea. (<http://www.investigacion.frc>, 2015)

4.4. Diseño del sistema de dosificación de grava

Este sistema es el encargado de la correcta distribución de grava en el proceso.

4.4.1. Elementos del sistema de dosificación de grava

Actualmente el sistema es accionado mediante pulsadores ubicados en la caja de mando local en la cabina de control, cuenta con 1 tolva de almacenamiento de grava, 1 cilindro neumático activado por medio de una electroválvula neumática, 1 tolva de pesaje, 1 banda colectora, 1 banda rápida y 4 celdas de carga. En la figura 43 se ilustra cómo está constituido el sistema y se indican los elementos que la conforman.

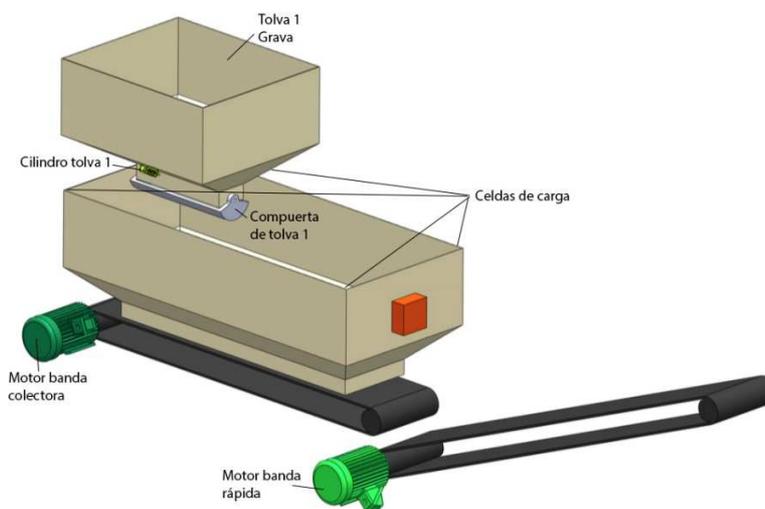


Figura 43. Sistema de dosificación de grava

4.4.2. Funcionamiento del sistema de dosificación de grava

Para dosificar adecuadamente la grava, el operador o el sistema deben conocer el peso de grava que se desea suministrar (SP grava), con este dato se tendrá que abrir la compuerta de la tolva respectiva hasta alcanzar dicho peso, el cual es indicado por las

celdas de carga (PV grava), en este momento la compuerta es cerrada y se activan las bandas rápida y colectora.

El sistema de dosificación de grava corresponde a un sistema de control en lazo cerrado como se indica en la figura 44.

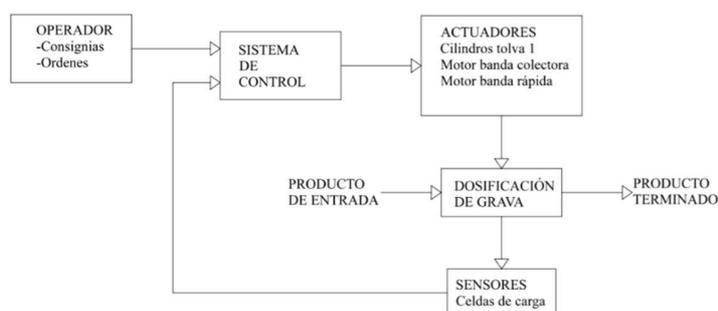


Figura 44. Lazo de control sistema de dosificación de grava

Su funcionamiento puede ser descrito como se indica en el diagrama de flujo de la figura 45.

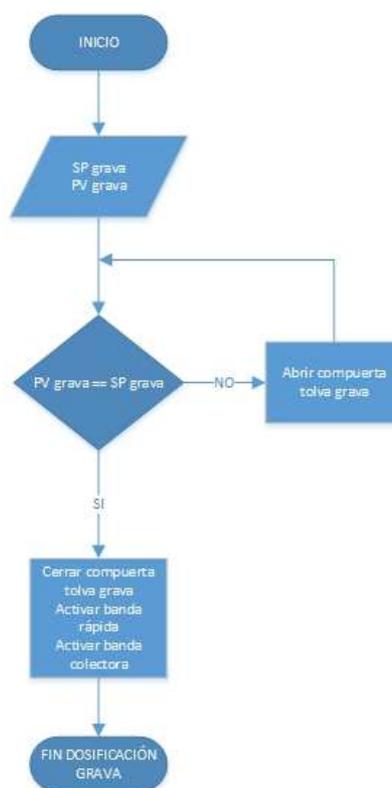


Figura 45. Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de dosificación de grava

En el capítulo 3 cuando se describe el sistema eléctrico de la planta, observamos que este sistema está montado para ser trabajado de forma manual, al igual que el resto de sistemas. En los diseños planteados, se mantendrá el modo de operación manual y se incorporará el modo de operación automático.

Como pauta de diseño, en el cuadro 5, se recopilan las características de los actuadores y sensores del sistema, se suma además una simbología adecuada que será útil al momento de implementar el diseño en el programa, cabe recalcar que el compresor es un elemento usado por todo el sistema, el motor de la banda colectora, el motor de la banda rápida y las celdas de carga son usados para el sistema de dosificación de arena, en lo posterior se incluirán para tratar los diferentes sistemas pero se referirán al mismo componente.

Cuadro 5. Actuadores y sensores que intervienen en el sistema de dosificación de grava

ELEMENTO	CANTIDAD	TIPO DE SEÑAL	SIMBOLOGÍA
Compresor	1	Salida	COMP
Electroválvulas	1	Salida	CG
Motor banda colectora	1	Salida	MBC
Motor banda rápida	1	Salida	MBR
Celdas de carga	4	Entrada	CCA

4.4.3. Diseño del sistema de dosificación de grava en modo de operación manual

En el modo de operación manual el sistema es diseñado de tal forma que no tiene restricciones, ningún mando es autoretenido, los actuadores podrán ser accionados libremente a través de la caja de mando local ubicada en la cabina de control, en el sentido que, botón pulsado activa el componente y botón suelto lo desactiva. El operador de la planta tendrá que observar constantemente en pantalla los valores que indican las celdas de carga. Se plantea el graficet mostrado en las figuras 46 para el sistema de dosificación de grava en el modo de operación manual.

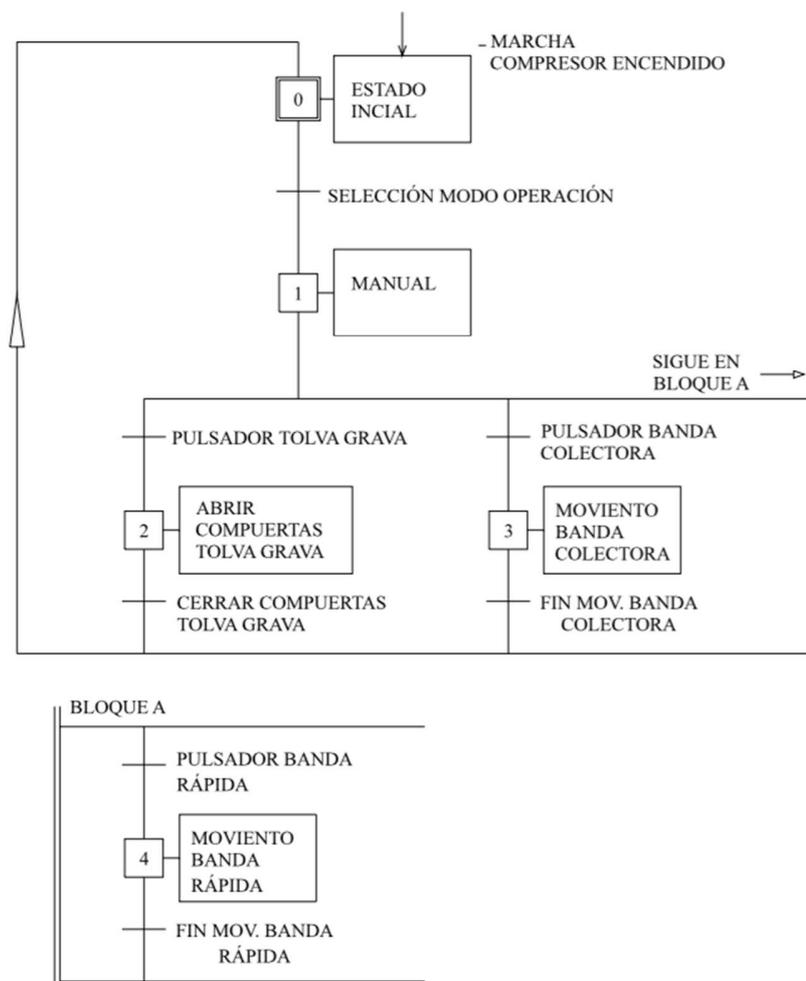


Figura 46. Graficet de primer nivel para dosificación de grava en modo manual

4.4.4. Diseño del sistema de dosificación de grava en modo de operación automático

El modo de operación automático será el modo principal de trabajo de la planta dosificadora, para su diseño se ha elaborado el graficet indicado en la figura 47 que detalla la evolución del proceso una vez ingresados los datos mostrados en la tabla 3 en la pantalla de operación.

Tabla 3. Parámetros de ingreso para inicio del modo de operación automático del sistema de dosificación de grava.

DATOS	SIMBOLOGÍA
Set point grava	SPG
% Humedad grava	PHG

El operador deberá asegurarse siempre de ingresar estos datos como etapa inicial del sistema de dosificación de grava.

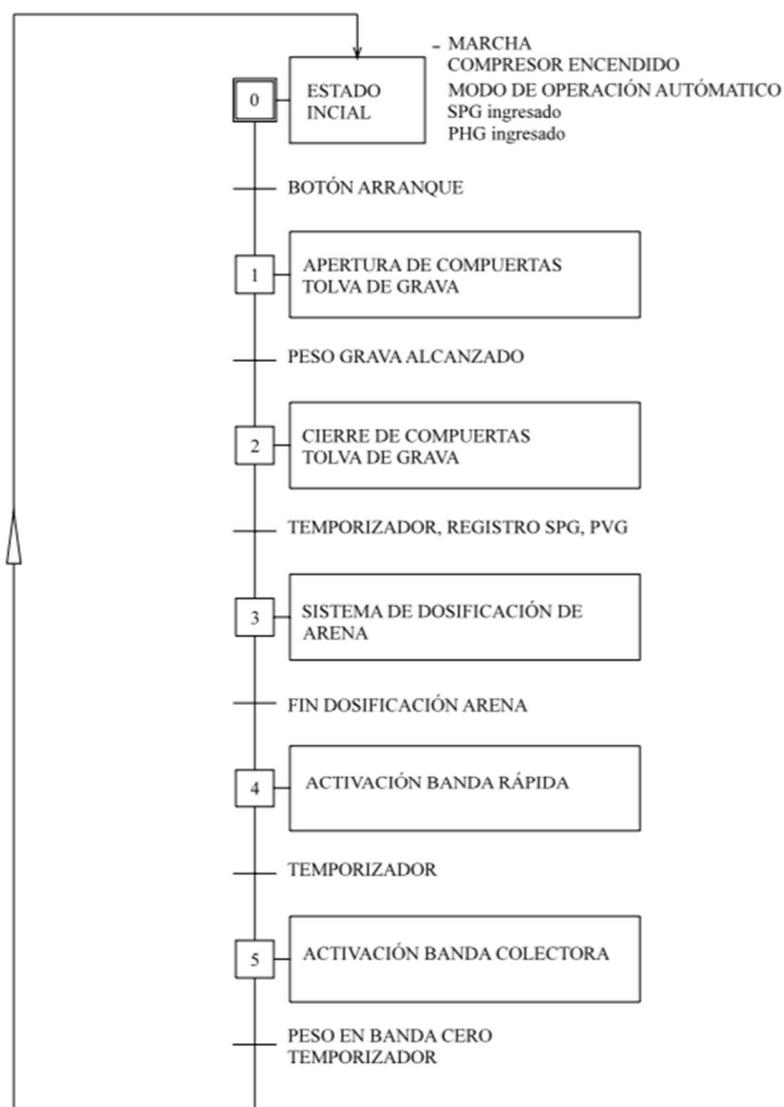


Figura 47. Grafcet de primer nivel para dosificación de grava en modo automático

4.5. Diseño del sistema de dosificación de arena

Este sistema es el encargado de la correcta distribución de arena en el proceso. Para su diseño, es necesario conocer los elementos que la conforman y comprender su funcionamiento

4.5.1. Elementos del sistema de dosificación de arena

Actualmente el sistema es accionado mediante pulsadores ubicados en la caja de mando local en la cabina de control, cuenta con 1 tolva de almacenamiento de arena, 2 motovibradores, 1 cilindro neumático activado por medio de una electroválvula neumática, 1 tolva de pesaje, 1 banda colectora, 1 banda rápida y 4 celdas de carga. En la figura 48 se ilustra cómo está constituido el sistema y se indican los elementos que la conforman.

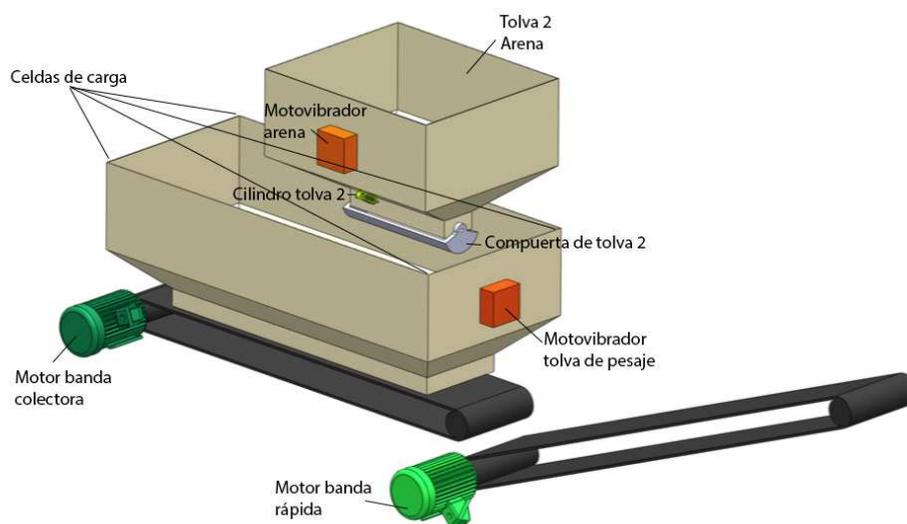


Figura 48. Sistema de dosificación de arena

4.5.2. Funcionamiento del sistema de dosificación de arena

Para dosificar adecuadamente la arena, el operador o el sistema deben conocer el peso de arena que se desea suministrar (SP arena), con este dato se tendrá que abrir la compuerta de la tolva respectiva hasta alcanzar dicho peso, el cual es indicado por las celdas de carga (PV arena), en este momento la compuerta es cerrada y se activan las bandas rápida y colectora. Se instala un motovibrador en el costado de la tolva de arena que será activado hasta que se alcance el valor de peso requerido y otro al costado de la tolva de pesaje que se activará mientras se activa la banda colectora.

El sistema de dosificación de arena corresponde a un sistema de control en lazo cerrado como se describe en la figura 49.

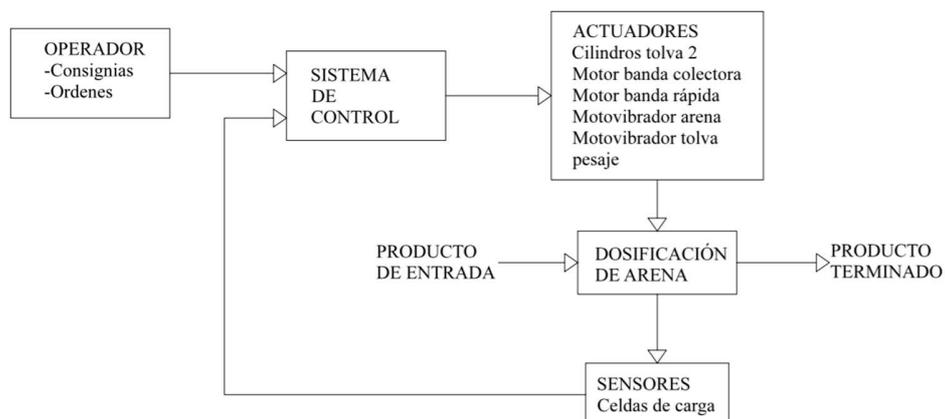


Figura 49. Lazo de control del sistema de dosificación de arena

El funcionamiento del sistema se realizará como se indica en el diagrama de flujo en la figura 50.

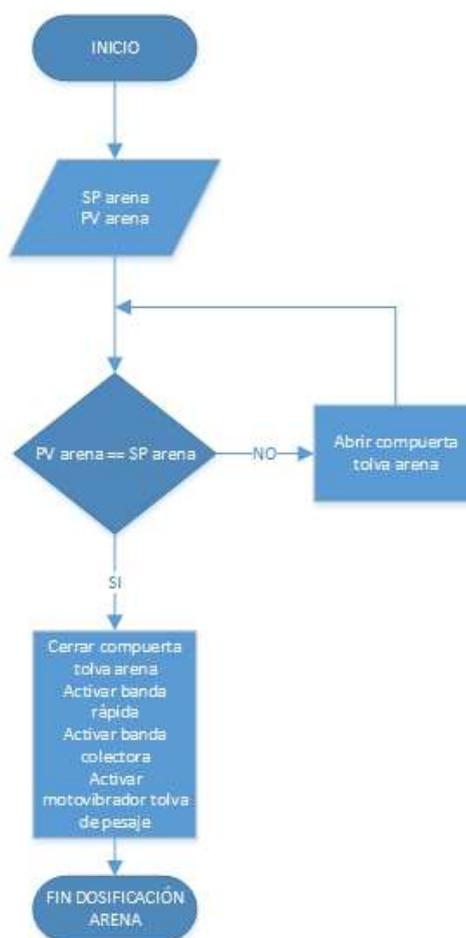


Figura 50. Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de dosificación de arena

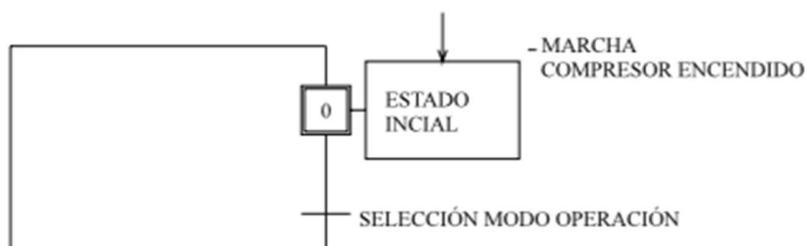
En el cuadro 6, se recopilan las características de los actuadores y sensores del sistema con su respectiva simbología.

Cuadro 6. Actuadores y sensores que intervienen en el sistema de dosificación de arena

ELEMENTO	CANTIDAD	TIPO DE SEÑAL	SIMBOLOGÍA
Compresor	1	Salida	COMP
Electroválvulas	1	Salida	CA
Motor banda colectora	1	Salida	MBC
Motor banda rápida	1	Salida	MBR
Motovibrador arena	1	Salida	MVA
Motovibrador tolva pesaje	1	Salida	MVP
Celdas de carga	4	Entrada	CCA

4.5.3. Diseño del sistema de dosificación de arena en modo de operación manual

En el modo de operación manual el sistema no tiene restricciones, ningún mando es autoretenido, los actuadores del sistema podrán ser accionados libremente a través de la caja de mando local ubicada en la cabina de control, en el sentido que, botón pulsado activa el componente y botón suelto lo desactiva. El operador de la planta tendrá que observar constantemente en pantalla los valores que indican las celdas de carga. Se plantea el graficet ilustrado en la figura 51 para el sistema de dosificación de arena en el modo de operación manual.



CONTINÚA →

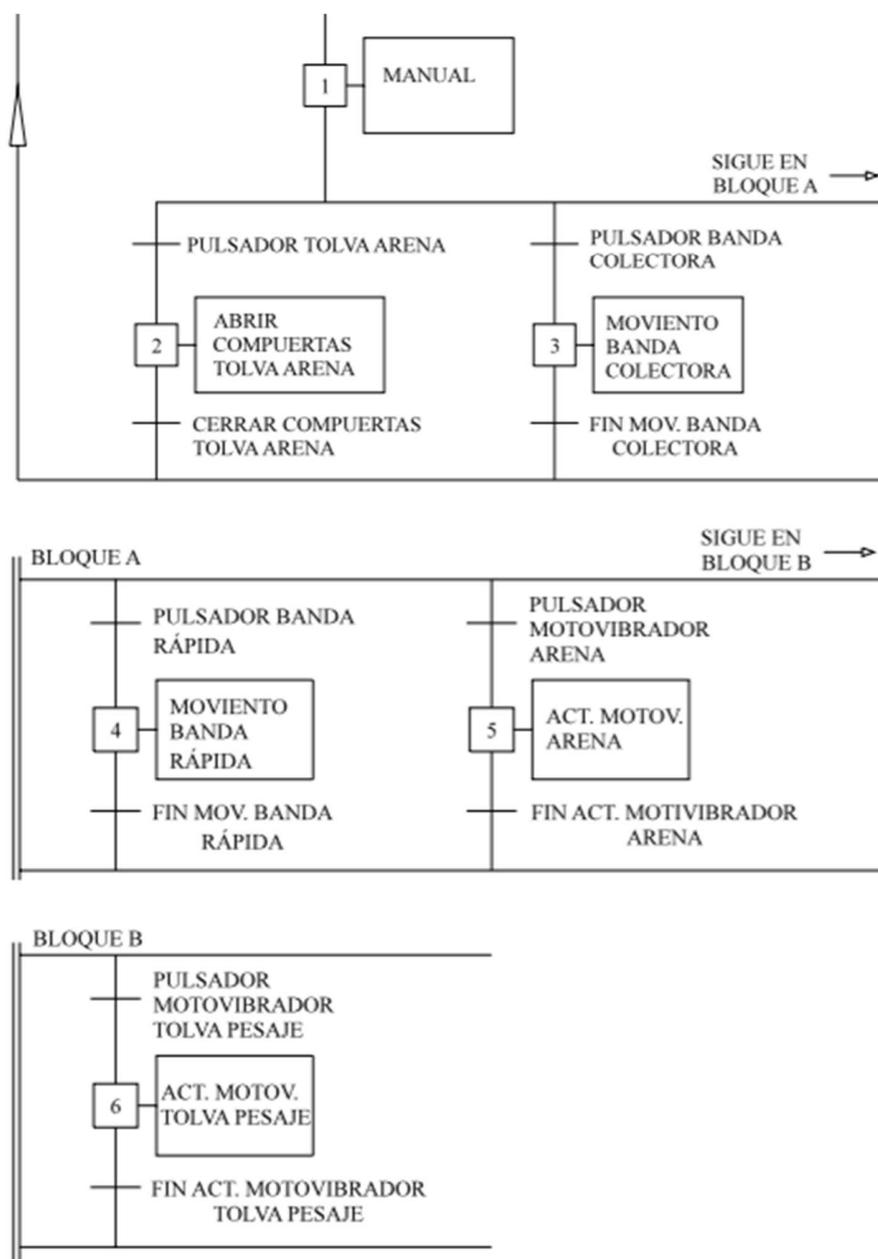


Figura 51. Grafcet de primer nivel para dosificación de arena en modo manual

4.5.4. Diseño del sistema de dosificación de arena en modo de operación automático

Para el diseño del sistema de control de arena en el modo de operación automático se ha elaborado el grafcet indicado en la figura 52 que indica la evolución del proceso una vez ingresados los datos mostrados en la tabla 4 en la pantalla de operación.

Tabla 4. Parámetros de ingreso para inicio del modo de operación automático del sistema de dosificación de arena.

DATOS	SIMBOLOGÍA
Set point arena	SPA
% Humedad arena	PHA

El operador deberá asegurarse siempre de ingresar estos datos como etapa inicial del sistema de dosificación de arena.

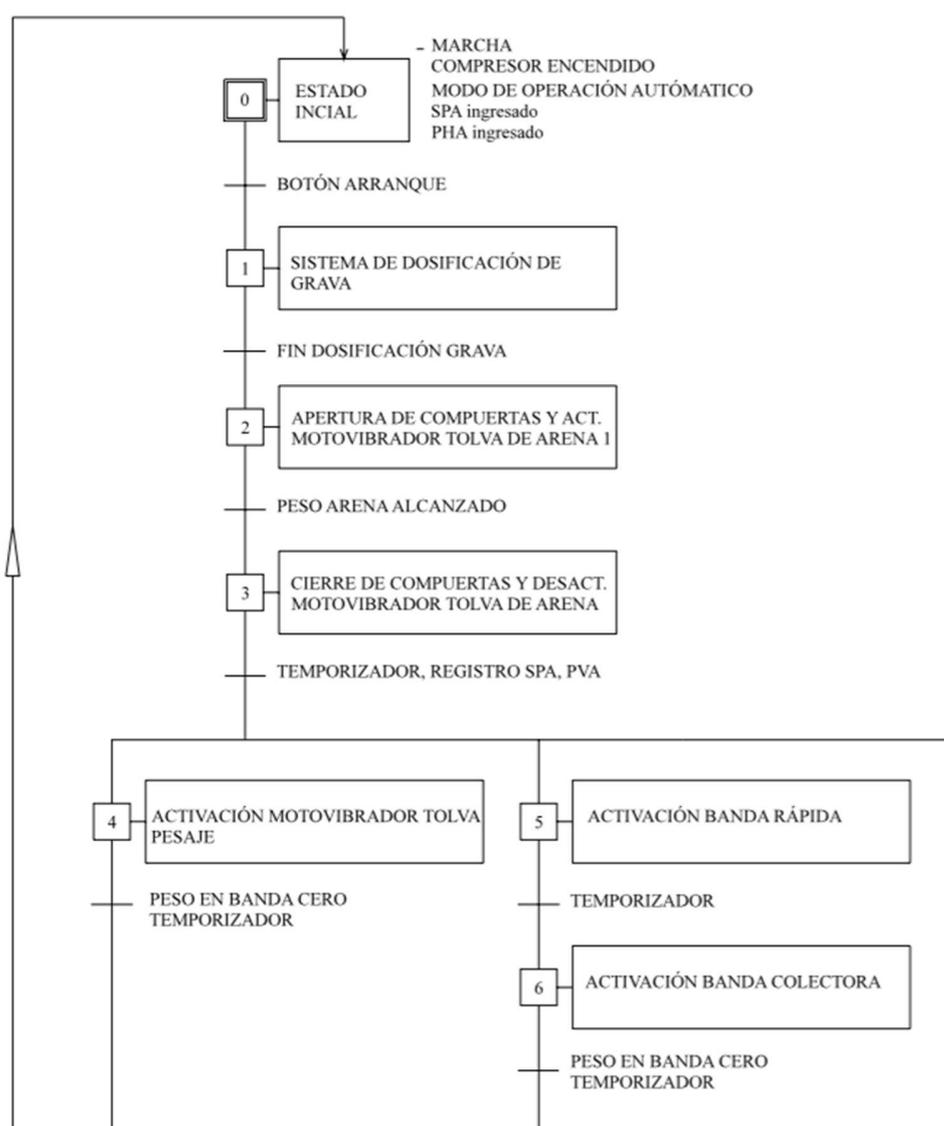


Figura 52. Graficet de primer nivel para dosificación de arena en modo automático

4.6. Diseño del sistema de dosificación de cemento

Este sistema es el encargado de la correcta distribución de cemento en el proceso. Para su diseño, es necesario conocer los elementos que la conforman y comprender su funcionamiento.

4.6.1. Elementos del sistema de dosificación de cemento

El sistema de dosificación de cemento cuenta con 2 silos para almacenamiento de cemento, 2 pulmones (uno ubicado en el interior de cada silo), 2 transportadores de tornillo sin fin, 4 celdas de carga, 2 válvulas de mariposa para apertura de silos, 2 motores, 1 pistón neumático accionada con una electroválvula 5/2 monoestable de 120 VAC. Estos elementos se ilustran en la figura 53, las activaciones de actuadores actualmente se las realiza mediante pulsadores ubicados en la caja de mando local en la cabina de control.

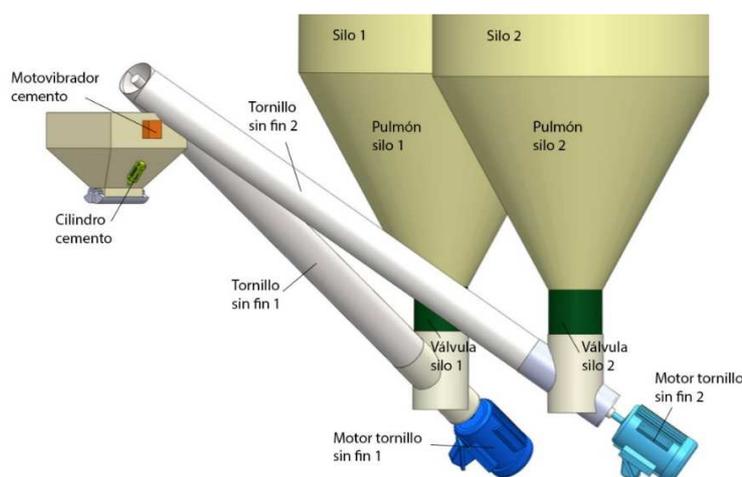


Figura 53. Sistema de dosificación de cemento

4.6.2. Funcionamiento del sistema de dosificación de cemento

En las plantas de dosificación de hormigón el cemento tiene un trato especial, por ser un polvo sumamente fino al cemento se lo almacena en silos y su transporte se lo realiza a través de un conducto cerrado a través de un tornillo sin fin para evitar que el cemento se vaya por el aire.

El sistema de dosificación de cemento de la planta realiza su función a través de sus 2 silos que es donde se almacena el cemento, a partir de estos por medio de la apertura de las válvulas de mariposa ubicada en sus bases y la activación de los motores, el agregado

es trasladado por transportadores de tornillo sin fin hacia la tolva de pesaje, aquí se pesa el material gracias a 4 celdas de carga dispuestas en la tolva y se descarga por apertura de un pistón neumático accionado con una electroválvula 5/2 monoestable de 120 VAC.

El sistema de dosificación de cemento corresponde a un sistema de control en lazo que se describe en el lazo de control de la figura 54:

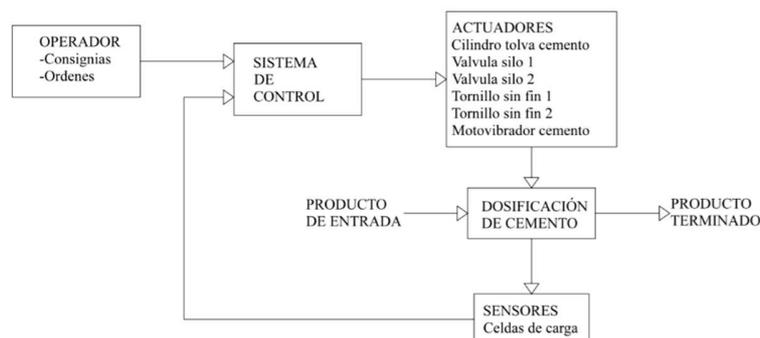


Figura 54. Lazo de control del sistema de dosificación de cemento

El funcionamiento se detalla en el diagrama de flujo de la figura 55.

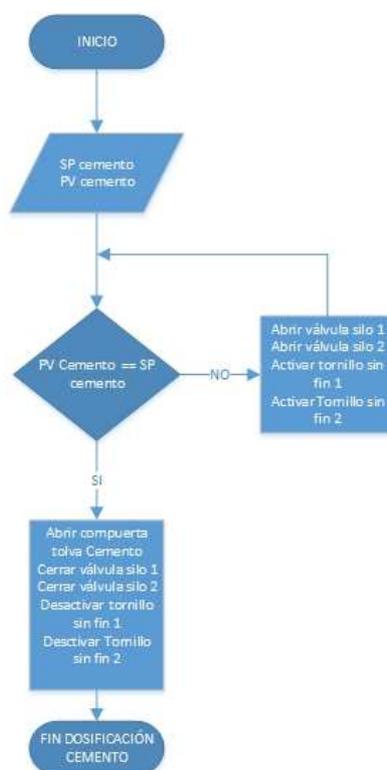


Figura 55. Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de dosificación de cemento

En el cuadro 7, se recopilan las características de los actuadores y sensores del sistema con su respectiva simbología.

Cuadro 7. Actuadores y sensores que intervienen en el sistema de dosificación de cemento

ELEMENTO	CANTIDAD	TIPO DE SEÑAL	SIMBOLOGÍA
Compresor	1	Salida	COMP
Electroválvulas	3	Salida	CC (cilindro tolva de cemento) VS1 (válvula silo 1) VS2 (válvula silo 2)
Tornillo sin fin silo 1	1	Salida	TS1
Tornillo sin fin silo 2	1	Salida	TS2
Pulmón silo 1	1	Salida	PS1
Pulmón silo 2	1	Salida	PS2
Motovibrador cemento	1	Salida	MVC
Celdas de carga	4	Entrada	CCC

4.6.3. Diseño del sistema de dosificación de cemento en modo de operación manual

En el modo de operación manual el sistema no tiene restricciones, ningún mando es autoretenido, los actuadores del sistema podrán ser accionados libremente a través de la caja de mando local ubicada en la cabina de control, en el sentido que, botón pulsado activa el componente y botón suelto lo desactiva. El operador de la planta tendrá que observar constantemente en pantalla los valores que indican las celdas de carga. Se plantea el graficet ilustrado en la figura 56 para el sistema de dosificación de cemento en el modo de operación manual.

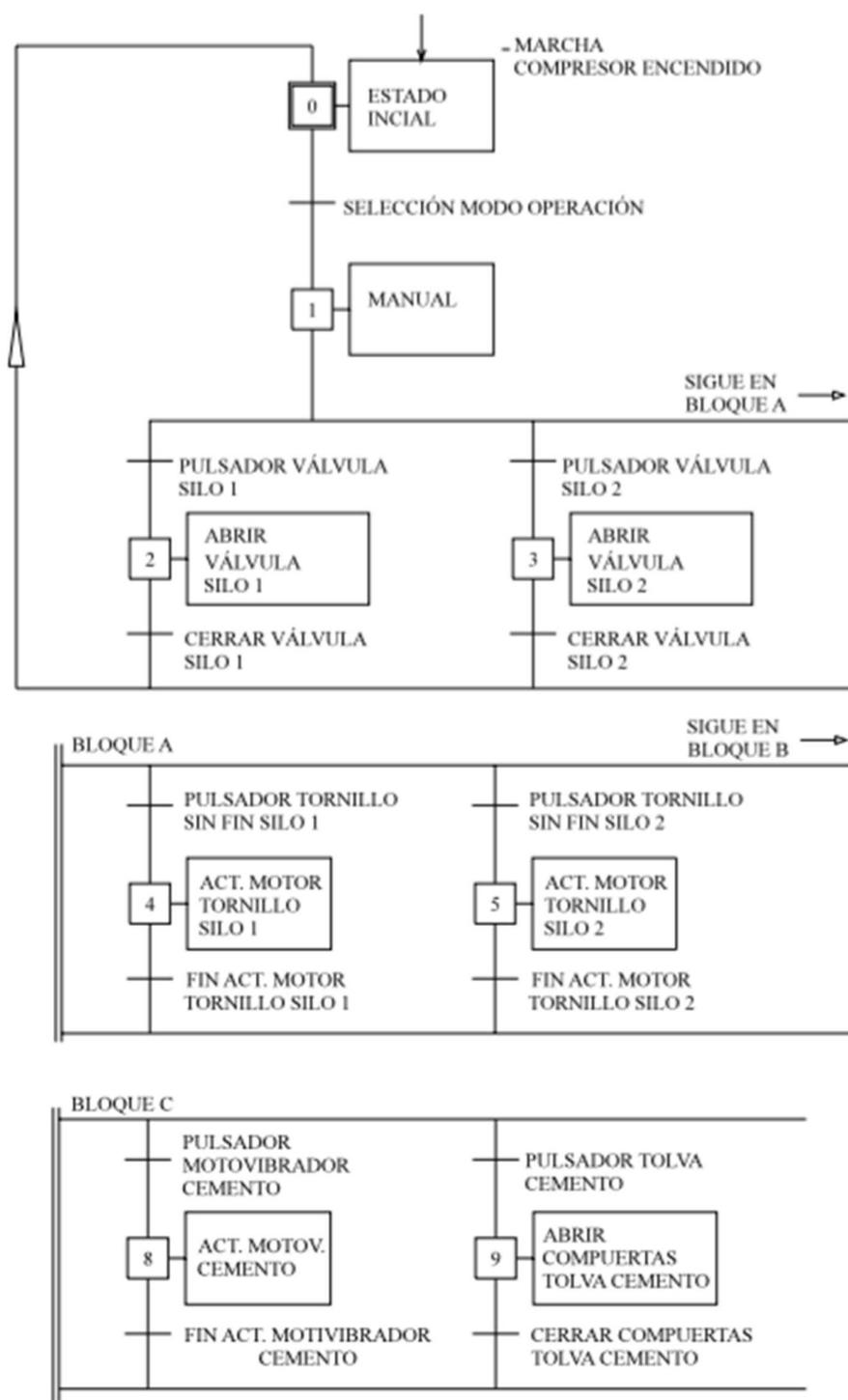


Figura 56. Graficet de primer nivel para dosificación de cemento en modo manual

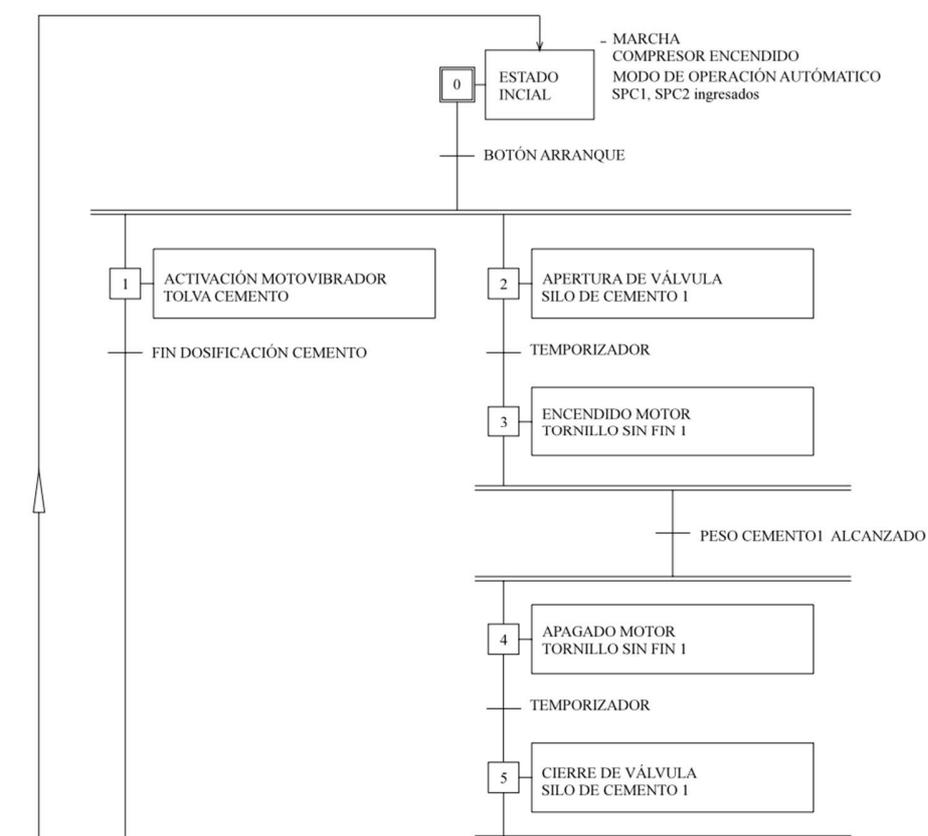
4.6.4. Diseño del sistema de dosificación de cemento en modo de operación automático

Para el diseño del sistema de dosificación de cemento en modo automático se ha elaborado el el graficet indicado en la figura 57 que muestra la evolución del proceso una vez ingresados los datos mostrados en la tabla 5 en la pantalla de operación.

Tabla 5. Parámetros de ingreso para inicio del modo de operación automático del sistema de dosificación de cemento.

DATOS	SIMBOLOGÍA
Set point cemento silo 1	SPC1
Set point cemento silo 2	SPC2

El operador deberá asegurarse siempre de ingresar estos datos como etapa inicial del sistema de dosificación de cemento.



CONTINÚA →

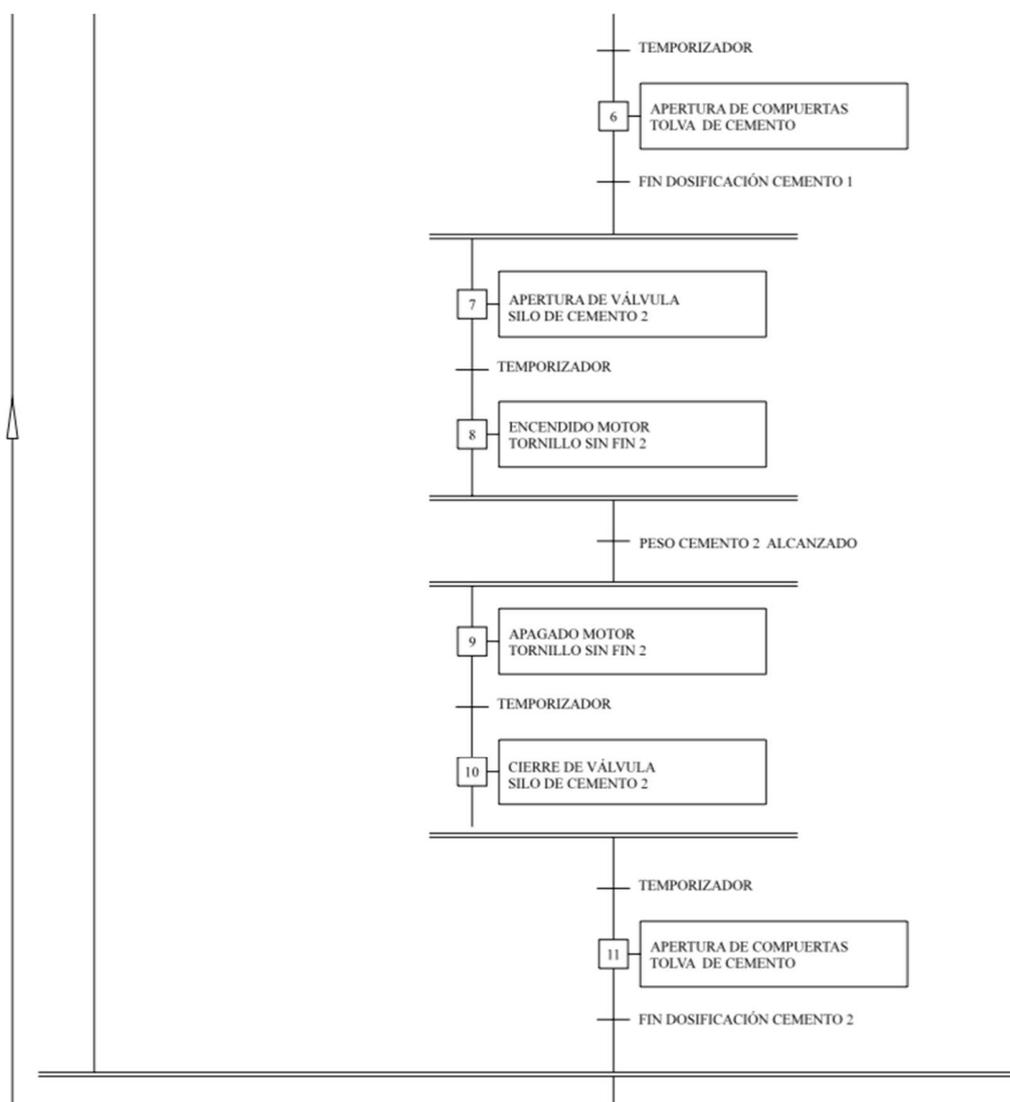


Figura 57. Grafcet de primer nivel para dosificación de cemento en modo automático

4.7. Diseño del sistema de dosificación de agua

El cuarto componente esencial en la elaboración de hormigón es el agua, se requiere aproximadamente una relación agua - cemento mínima de 0.25 para que todo el cemento presente en la mezcla, reaccione químicamente con el agua formando pequeños puentes cristalizados entre las superficies de las partículas de áridos. Estos cristales son los responsables de la cohesividad entre las partículas y de la resistencia del hormigón en general. (Proaño, 2014)

4.7.1. Elementos del sistema de dosificación de agua

El sistema se encuentra conformado por 1 tanque para almacenar el agua, 1 electrobomba, 1 flujómetro y 1 juego de tuberías. Estos elementos se encuentran ilustrados en la figura 58.

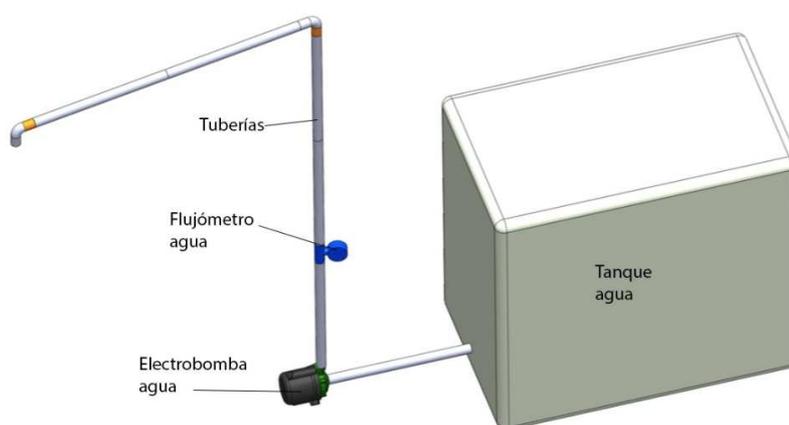


Figura 58. Sistema de dosificación de agua

4.7.2. Funcionamiento del sistema de dosificación de agua

El sistema de dosificación de agua funciona mediante la activación de una electrobomba la cual es activada por medio de un botón pulsador en la caja de mando local cuando se trabaja el sistema en modo de operación manual y mediante la pantalla de operación cuando se trabaja al sistema en modo de operación automático.

El sistema de dosificación de agua corresponde a un sistema de control en lazo como se describe en la figura 59:

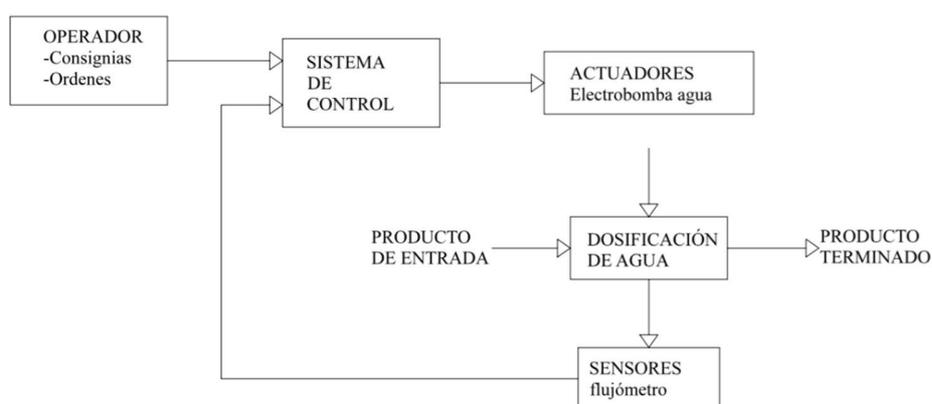


Figura 59. Lazo de control del sistema de dosificación de cemento

El funcionamiento de este sistema se detalla en el diagrama de flujo de la figura 60.

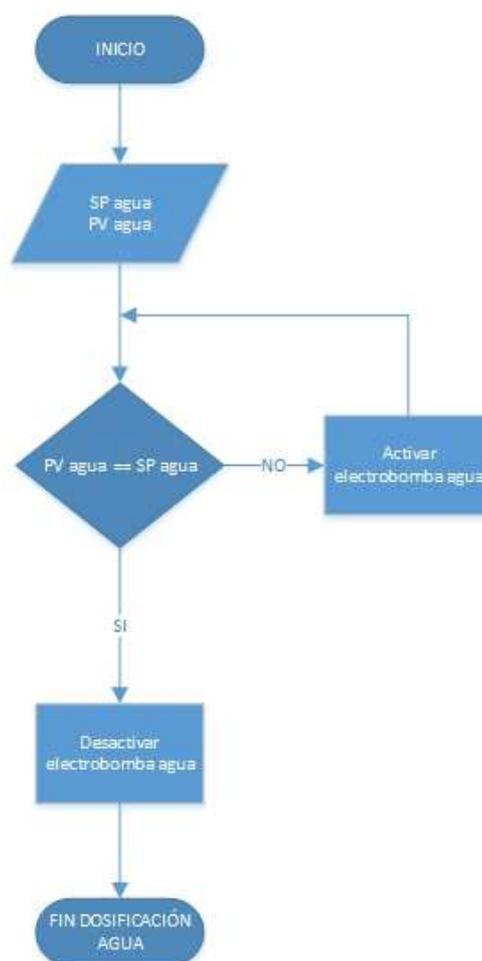


Figura 60. Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de dosificación de agua

En el cuadro 8, se recopilan las características de los actuadores y sensores del sistema con su respectiva simbología.

Cuadro 8. Actuadores y sensores que intervienen en el sistema de dosificación de agua

ELEMENTO	CANTIDAD	TIPO DE SEÑAL	SIMBOLOGÍA
Electrobomba	1	Salida	EBAg
Flujómetro	1	Entrada	FAG

4.7.3. Diseño del sistema de dosificación de agua en modo de operación manual

En el modo de funcionamiento manual el sistema no tiene restricciones, pudiendo sus actuadores activarse libremente mediante la caja de mando local, en base al grafcet mostrado en la figura 61.

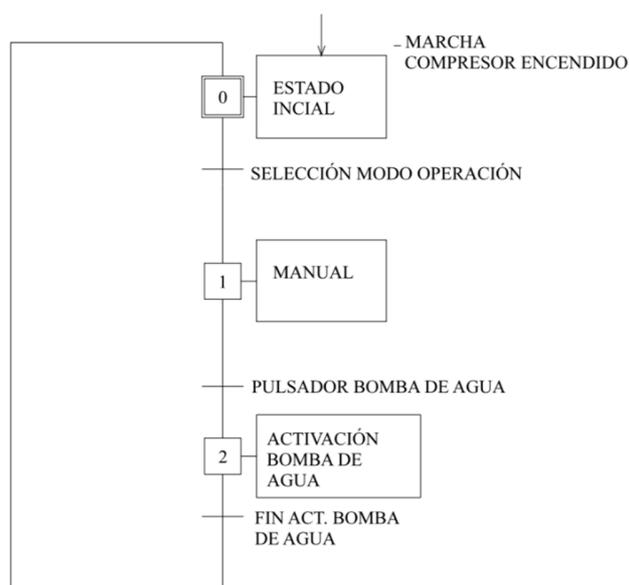


Figura 61. Grafcet de primer nivel para dosificación de agua en modo manual

4.7.4. Diseño del sistema de dosificación de agua en modo de operación automático

Para el modo de operación automático del sistema de dosificación de agua se ha diseñado el grafcet indicado en la figura 62 que indica la evolución del proceso una vez ingresados los datos mostrados en la tabla 6 en la pantalla de operación.

Tabla 6. Parámetros de ingreso para inicio del modo de operación automático del sistema de dosificación de agua.

DATOS	SIMBOLOGÍA
Set point agua	SPAg

El operador deberá asegurarse siempre de ingresar este dato como etapa inicial del sistema de dosificación de agua.

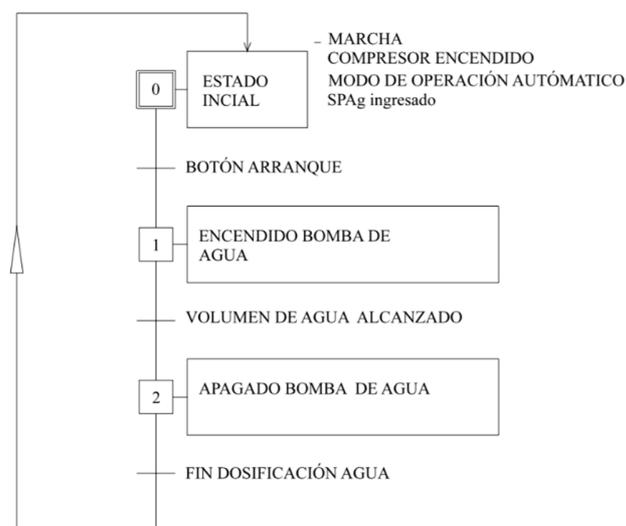


Figura 62. Graficet de primer nivel para dosificación de agua en modo automático

4.8. Diseño del sistema de dosificación de aditivos

Los aditivos constituyen el quinto elemento que se utiliza para la fabricación del hormigón, el diseño del sistema de dosificación de aditivos es similar al sistema dosificación del agua ya que sus componentes son los mismos

4.8.1. Elementos del sistema de dosificación de aditivos

El sistema de dosificación de aditivos está constituido por 1 tanque, 1 electrobomba, 1 flujómetro y tuberías, como se ilustra en la figura 63.

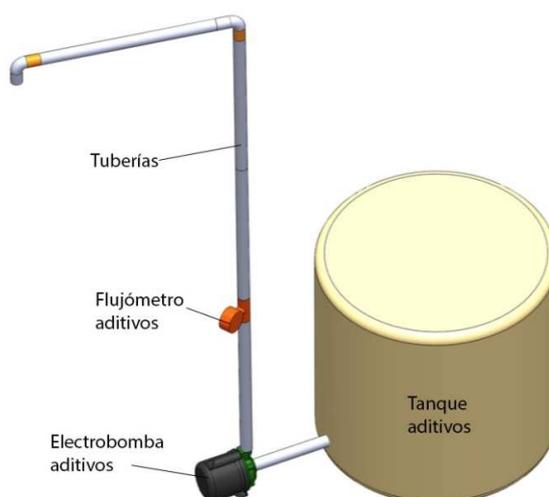


Figura 63. Sistema de dosificación de aditivos

4.8.2. Funcionamiento del sistema de dosificación de aditivos

Si se requiere un tratamiento especial en el hormigón se deberá incluir un aditivo a la mezcla, este sistema está constituido de manera similar al sistema de dosificación de agua y su funcionamiento también es el mismo.

El sistema de dosificación de aditivos corresponde a un sistema de control en lazo cerrado como se ilustra en la figura 64.

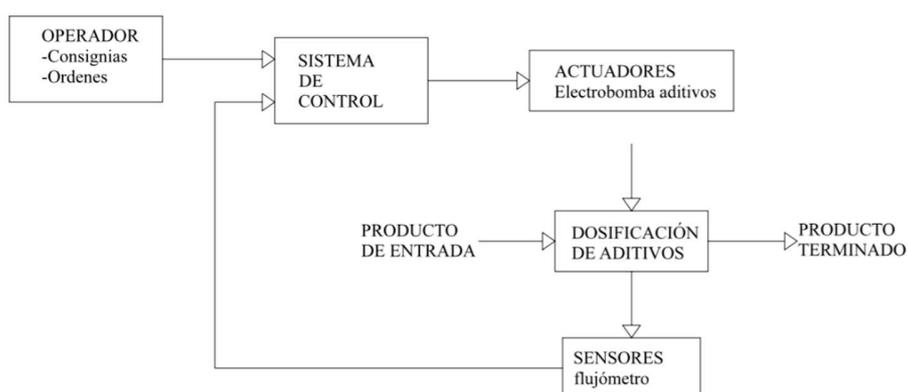


Figura 64. Lazo de control del sistema de dosificación de aditivos

En el cuadro 9, se recopilan las características de los actuadores y sensores del sistema con su respectiva simbología.

Cuadro 9. Actuadores y sensores que intervienen en el sistema de dosificación de aditivos.

ELEMENTO	CANTIDAD	TIPO DE SEÑAL	SIMBOLOGÍA
Electrobomba	1	Salida	EBA _d
Flujómetro	1	Entrada	FA _d

El funcionamiento del sistema se realizará en base al diagrama de flujo indicado en la figura 65.

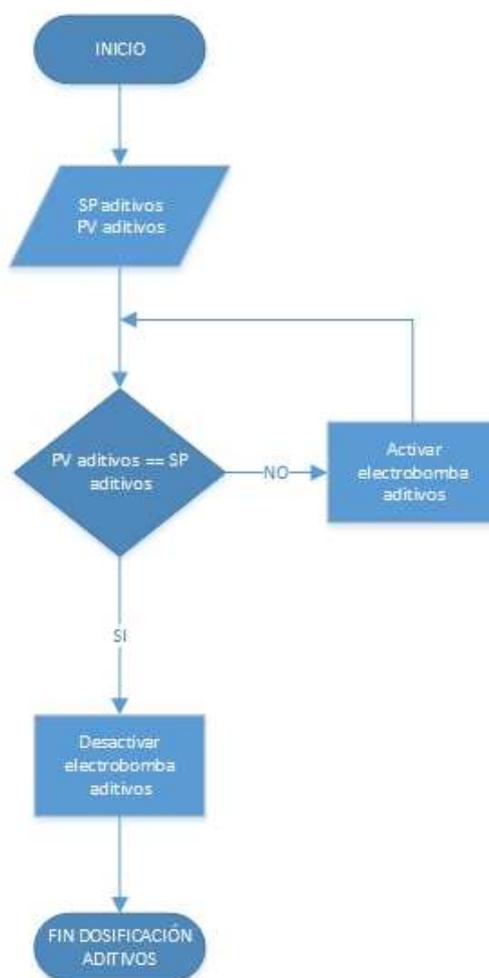


Figura 65. Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de dosificación de aditivos

4.8.3. Diseño del sistema de dosificación de aditivos en modo de operación manual

Al igual que el resto de sistemas, el modo de operación manual del sistema de dosificación de aditivos no tendrá ninguna restricción, es decir, ningún mando es autoretenido, los actuadores del sistema podrán ser accionados libremente a través de la caja de mando local ubicada en la cabina de control. Se plantea el graficet ilustrado en la figura 66 para el sistema de dosificación de aditivos en el modo de operación manual.

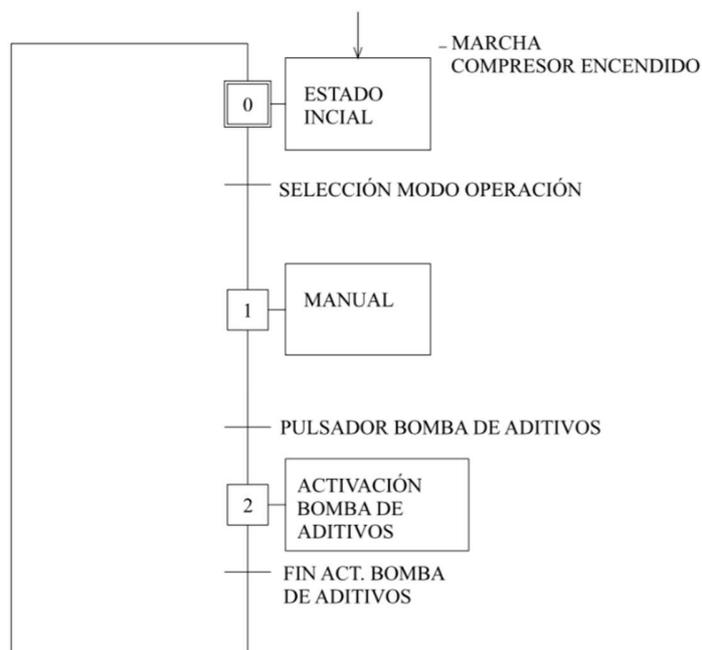


Figura 66. Grafcet de primer nivel para dosificación de aditivos en modo manual

4.8.4. Diseño del sistema de dosificación de aditivos en modo de operación automático

Para el modo de operación automático del sistema de dosificación de aditivos se ha diseñado el grafcet indicado en la figura 67 que indica la evolución del proceso una vez ingresados los datos mostrados en la tabla 7 en la pantalla de operación.

Tabla 7. Parámetros de ingreso para inicio del modo de operación automático del sistema de dosificación de aditivos.

DATOS	SIMBOLOGÍA
Set point aditivos	SPAd

El operador deberá asegurarse siempre de ingresar este dato como etapa inicial del sistema de dosificación de agua.

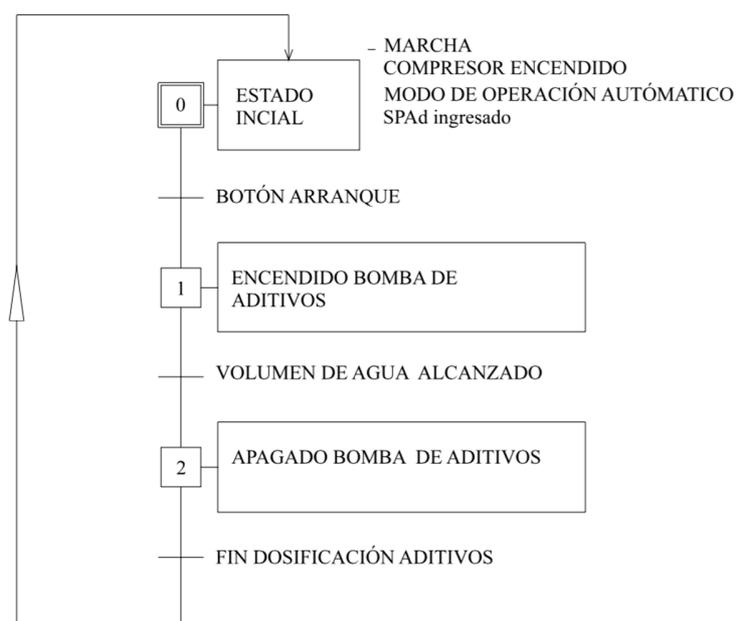


Figura 67. Graficet de primer nivel para dosificación de agua en modo automático

4.9. Diseño de la interfaz gráfica del sistema de control de la planta dosificadora de hormigón

Para realizar las activaciones de los actuadores y las secuencias de activación del sistema, se plantea el uso de una interfaz humano-máquina que brinde la posibilidad de realizar todas estas acciones.

La interfaz gráfica se diseñará de tal manera que el operador pueda cambiar de un modo de operación a otro, se crearán pequeñas ventanas para que se pueda visualizar, editar y corregir parámetros.

En las ventanas del modo de operación manual y automático se incluirá un sinóptico de proceso que refleje los componentes de la planta y que sea de fácil intuición para el operador. Se incluirán también las variables de set point y de proceso en el sinóptico de tal forma que se pueda visualizar el estado del proceso.

El esquema de las ventanas se mantendrá acorde al diseño planteado que se ilustra en la figura 68.

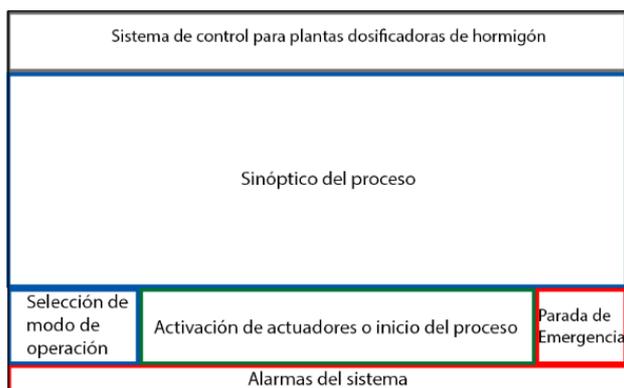


Figura 68. Diseño de las ventanas del sistema de control de la planta dosificadora de hormigón

Se agregará también una ventana de ingeniería para realizar las calibraciones de los sensores y visualizar el estado del proceso mediante el uso de horómetros que permitan conocer el tiempo que han sido activados cada uno de los actuadores y justificar mantenimientos que se hagan en el sistema.

El mapa de navegación de las ventanas se dispondrá como muestra la figura 69.

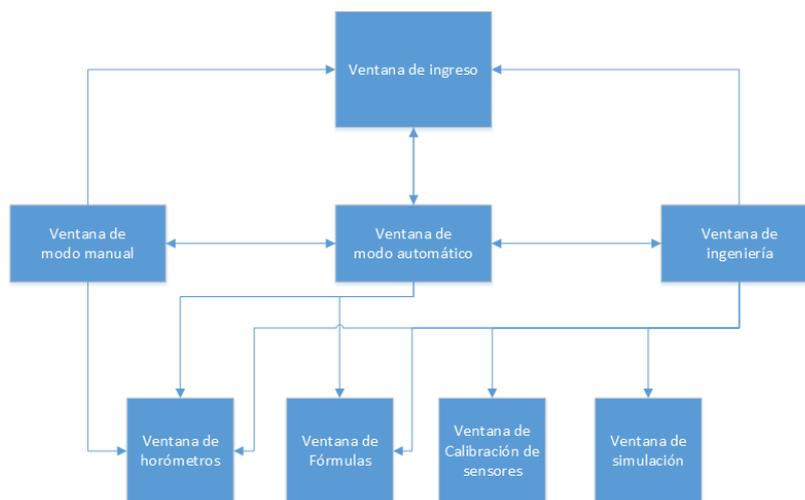


Figura 69. Mapa de navegación de la interfaz humano máquina del sistema

4.10. Diagrama de interconexión de la planta dosificadora de hormigón

Para la siguiente fase del proyecto se plantea el diagrama de interconexión, ilustrado en la siguiente página en la figura 70, que servirá de base para la adquisición de los materiales que se requerirán para la implementación del sistema.

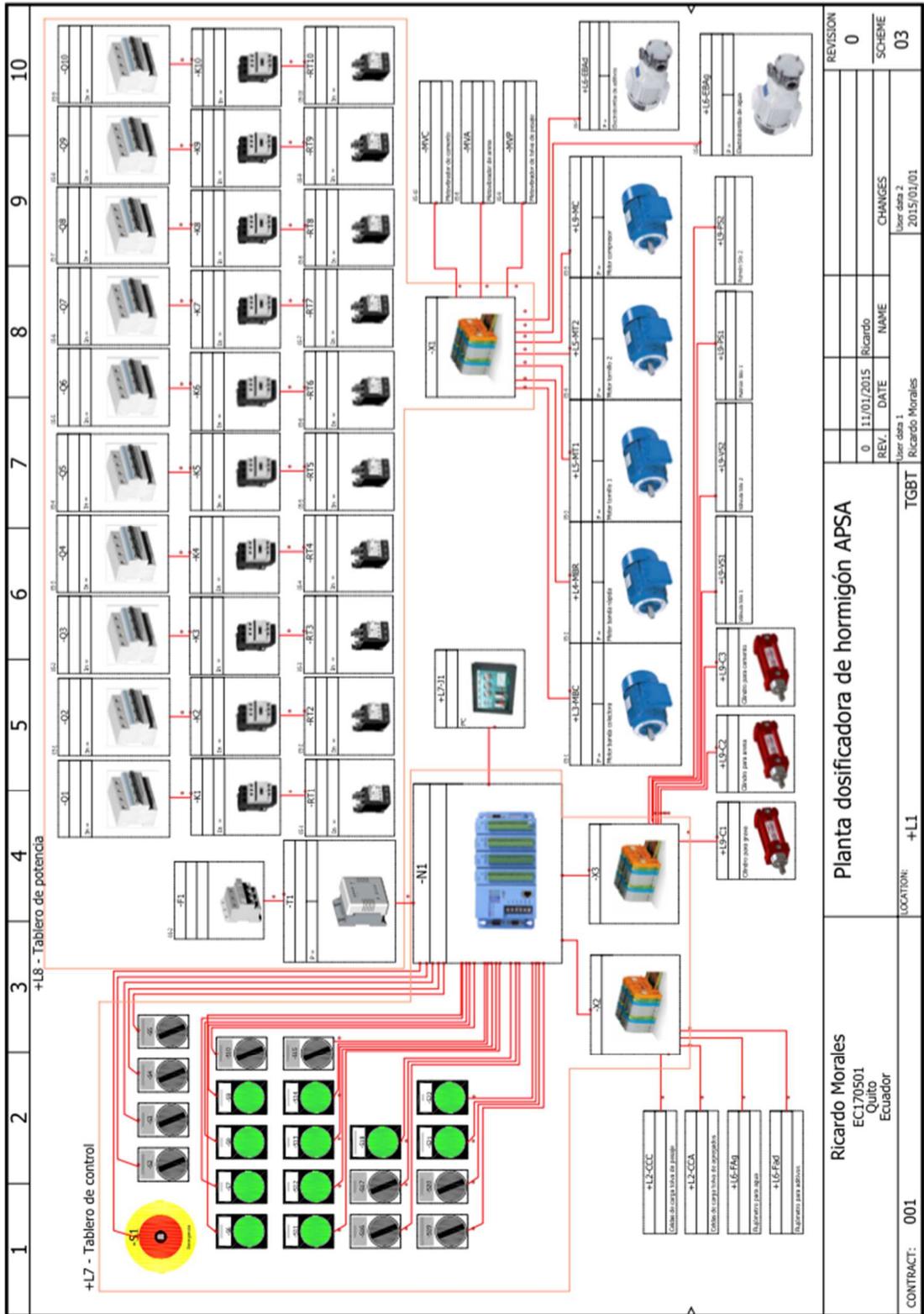


Figura 70. Diagrama de interconexión de la planta dosificadora de hormigón

CAPÍTULO V

IMPLEMENTACIÓN

5.1. Lista de materiales

Una vez conocidas las variables del sistema y el tipo de señales que requieren para su activación y para cumplir los requerimientos de la empresa, se enlista los materiales que se usarán para realizar la implementación del sistema de control, siendo estos los siguientes:

1. Computador con sistema operativo Windows 7
2. Fuente de alimentación LOGO! Power 24VDC/2,5A
3. PLC Siemens Simatic S7-1200 1214C AC/DC/Relé
4. Módulo de expansión de entradas y salidas digitales SM1223
5. Módulo de pesaje SIWAREX WP 231
6. Módulo de expansión de entrada analoga signal board SB1231
7. Cable Ethernet para comunicación entre PC/PLC
8. Cable AWG 14 para conexiones
9. Software de ingeniería para programación de controladores Siemens TIA PORTAL V13
10. Software de ingeniería para programación para sistemas standalone WINCC ADVANCE

5.2. Especificaciones de los equipos

5.2.1. Fuente de poder LOGO! POWER

Esta fuente brindará la energía necesaria para el funcionamiento de los módulos de expansión y permitirá hacer la conexión de los botones pulsadores hacia las entradas del PLC. Las especificaciones técnicas se las puede ver en la tabla 8.



Figura 71. Fuente de poder LOGO! POWER

Tabla 8. Especificaciones técnicas de la fuente de alimentación

Suministro de energía	24 V/2.5 A
Entradas	
Entradas	1-fase AC o DC
Voltajes de entrada	100 ... 240 V
Rango de voltaje AC	85 ... 264 V
Voltaje de entrada DC	110 ... 300 V
Resistencia de sobre voltaje	$2.3 \times V_{in \text{ rated}}$, 1.3 ms
Frecuencia de línea	50 ... 60 Hz
Corriente de entrada a 120 V	1.22 A
Corriente de entrada a 230 V	0.66 A
12t máx	3 A \cdot s
Fusible	interna
Protección para la conexión	Se recomienda un circuito de corte de 16 A de características B o 10 A de características C.

CONTINÚA →

Salidas	
Salida	Voltaje DC aislado y controlado
Voltaje de salida	24 VDC
Tolerancia total, estática	3%
Rango de ajuste	22.2 .. 26.4 VDC
Eficiencia	
Eficiencia en el rango del Vout, Iout, aproximada.	88%
Perdida de potencia en el rango Vout, Iout, Aproximada	8 W
Pérdida de potencia activa durante la operación sin carga	1.8 W
Control en lazo cerrado	
Compensación dinámica máxima	0.2%
Protección y monitoreo	
Protección de sobre voltaje	Si, de acuerdo a EN 60950-1
Limitación de corriente	3.3 A
Protección contra corto circuitos	Característica de corriente constante
Corriente de corto circuito máxima	4.8 A
Seguridad	
Aislamiento primario-secundario	Si
Aislamiento galvánico	Seguridad en salida de voltaje extra bajo según EN 60950-1 y EN 50178
Clase de protección	Clase 2

5.2.2. Controlador SIMATIC S7-1200 1214C AC/DC/Relé

SIMATIC S7-1200 es un controlador extremadamente flexible, escalable e integrado completamente con el software de programación TIA PORTAL, es un controlador modular compacto para soluciones de automatización discreta y autónoma. Se ha escogido este PLC porque cuenta con 14 entradas y 10 salidas tipo relé las que servirán

para el accionamiento de los actuadores a 110 VAC. Sus especificaciones técnicas las encontramos en la tabla 9.



Figura 72. PLC Siemens Simatic S7-1200 1214C

Estos controladores modulares tienen un diseño optimizado para las tareas de control y son dimensionados para una máxima robustez y disponibilidad a largo plazo. Pueden ampliarse en cualquier momento de forma flexible por medio de módulos enchufables de E/S, de función y de comunicación. Los controladores modulares pueden configurarse y usarse también como sistemas de alta disponibilidad o de seguridad. (Siemens, 2015)

Tabla 9. Especificaciones técnicas del controlador Simatic S7 1200 1214C

CPU	1214C
Versión	AC/DC/Relé
Alimentación	110/220 VAC
Memoria de trabajo	75 KB
Memoria de carga	4 MB
Memoria remanente	10 KB
Capacidad de ampliación (máx.)	

CONTINÚA →

Signal Board	1
Módulos de señal	8
Módulos de comunicación	de 3
Contadores rápidos integrados	
Fase simple	3@100KHz 3@30KHz
Fase doble	3@80KHz 1@30KHz
Salida de pulsos	N/A
Funcionalidad	
Lazos PID	16
Datalogging	Si
Comunicación	
Comunicación	16 conexiones en total
Profinet/Industrial Ethernet	Puertos integrados: 1 Profinet Controller: Hasta 8 dispositivos Profinet.
Profibus DP	Maestro mediante CM 1243-5: Hasta 16 esclavos Profibus DP. Esclavo mediante CM 1242-5
RS485	Mediante CM 1241 (RS485): Soporta protocolos USS, Modbus RTU Maestro/Esclavo
RS232	Mediante CM 1241 (RS232): Soporta Modbus RTU Maestro/Esclavo, ASCII, Freeport
AS-interface (AS-i)	Maestro mediante CM 1243-2: Soporta hasta 62 esclavos AS-i

CONTINÚA →

Modbus TCP	Hasta 8 equipos en red, mediante puerto Ethernet integrado
DNP3	Conexión hasta con 4 metros DNP3 Databuffer hasta 64.000 registros
Condiciones de Instalación	-20°C a +60°C
Temperatura ambiente	
Websserver	Si

5.2.3. Módulo de expansión de entradas y salida digitales SM1233

Debido a que el controlador únicamente dispone de 14 entradas y 10 salidas, se requiere un módulo de señal SM1233 el cual brinda 16 entradas digitales y 16 salidas digitales tipo relé adicionales.



Figura 73. Módulo de señal: entradas/salidas digitales SM1223

Tabla 10. Especificaciones técnicas del módulo de expansión de entradas y salidas digitales SM1233

Módulo de señal: entradas/salidas digitales	
SM1223	16DI a 24VDC / 16 DO tipo relé

5.2.4. Módulo de pesaje SIWAREX WP231

Uno de los aspectos más importantes en la automatización de la planta dosificadora es el control que se tiene para el peso de los agregados, por ello, se utilizarán el módulo de pesaje Siwarex WP231 que controlará la dosificación del cemento.



Figura 74. Módulo de pesaje Siwarex WP231

Tabla 11. Especificaciones técnicas del módulo de pesaje Siwarex WP231

Módulo de pesaje	
Siwarex WP231	Módulo de pesaje de 1 canal para simatic S7-1200. Incorpora 4DI a 24VDC, 4DO a 24VDC, 1AO (mA). Para parametrización requiere del software SIWATOOL.
Integración en sistemas automáticos SIMATIC S7-300, S7-400, S7-1200 and S7-1500	Vía módulo de interfaz SIMATIC ET 200SP (PROFIBUS O PROFINET)
Otros fabricantes (con restricciones)	Vía módulo de interfaz SIMATIC ET200SP (PROFIBUS O PROFINET)

CONTINUÍA →

Interfaces de comunicación	SIMATIC ET 20AP RS485 (SIWATOOL, SIEBERT, indicador remoto)
Indicador de peso remoto opcional (vía RS 485)	Siebert S102
Opciones para gestión de escalamiento	Mediante SIWATOOL (PC) Mediante CPU/ Touch Panel
Precisión de medida Según DIN 1319-1 valore a escala completa a 20°C	0.05%
Número de mediciones/segundo (interno)	100/120 Hz
Filtro digital	Filtro pasa-bajos ajustable
Aplicaciones típicas	Scalas no automáticas Mediciones de fuerza Monitoreo de nivel Monitoreo de tensión en bandas
Funciones de pesaje	
Valores de peso	Peso bruto Peso neto Tara
Límites	Min/máx Vacío
Función de encerado	Vía comando por controlador o HMI
Función de tara	Vía comando por controlador o HMI
Especificación externa de tara	Vía comando por controlador o HMI
Comandos de calibración	Vía comando por controlador o HMI
Celdas de carga	
Hilos en celdas de carga	4 – 6 hilos

CONTINÚA →

Excitación de celda de carga	
Voltaje de suministro	4.85 VDC +-2%
Resistencia permisible de carga	
Mín	>40 ohm
Máx	<4100 ohm
Característica de celda de carga	1 ... 4 mV/V
Rango permisible de medición de señal	-21.3 – 21.3 mV
Máx. distancia de celda de carga	1000 m
Tasa de transmisión	9600 .. 115000 bits/s
Fuente de poder auxiliar	
Voltaje	24 VDC
Máx. consumo energético	0.2 A máx.
Grado de protección	
Grado de protección DIN EN 60529; IP20	
IEC 60529	

5.2.5. Módulo signal board AI/AQ

Para el control de peso de grava y arena el módulo analógico SB1231 de la marca Siemens.



Figura 75. Módulo signal board SB1231

Tabla 12. Especificaciones técnicas del módulo signal board SB1231

Voltaje de alimentación	
Voltaje de alimentación	24 VDC
Corriente de entrada	
Corriente de entrada	5 mA - 20 mA
Potencia de consumo	
Potencia de consumo	0.5W
Entradas analógicas	
Número de entradas analógicas	1
Voltaje de entrada permisible	+ - 35V
Resistencia de entrada	>= 1Mohm
Salidas analógicas	
Número de salidas analógicas	0
Creación de valor analógico	
Principio de medición	integrador
Creación de valor analógico in modo asíncrono	
Parametrizable	Si
Errores/precisión	
Precisión en estado estable	0.5%
Interferencias	120dB
Interrupciones/diagnóstico/información de estados	
Alarmas	Si
Diagnóstico de alarmas	Si
Diagnóstico de funciones	Si
Interrupción de señal	Si
Indicación led para estado de entradas	Si
Indicación led para mantenimiento	Si
Grado y clase de protección	

CONTINÚA →

Grado de protección EN60529	Si
IP20	
Estándares/aprobaciones/certificados	
CE	Si
RCM	Si
FM	Si
Condiciones mecánicas y climáticas para transporte y almacenamiento	
Altura de caída máximo (en paquete)	0.3 m, 5 veces, en paquete de despacho
Rango de temperatura permisible	-40 °C - +70°C
Presión permisible	1080 a 660 hPa
Humedad relativa permisible (sin condensación) a 25°C	95%
Condiciones mecánicas y climáticas en instalación	
Rango de temperatura permisible	-0°C - +55°C en instalación horizontal, -0°C - +45°C en instalación vertical
Presión permisible	1080 a 795 hPa
SO2 en humedad relativa < 60 % sin condensación	SO2 <0.5 ppm, H2S <0.1 ppm, HR <60% libre de condensación
Método de conexión	
Requiere conexión frontal	Si
Material	
Carcasa plástica	Si
Dimensiones	
Alto	62 mm
Ancho	38 mm
Profundidad	21 mm
Peso	
Peso aproximado	35 g

5.2.6. Celdas de carga SIWAREX WL 230 SB-S

Los pesajes de los diferentes agregados son realizados por medio de celdas de carga SIWAREX WL 230 SB-S



Figura 76. Celda de carga SIWAREX WL230 SB-S

Tabla 13. Especificaciones técnicas de la celda de carga SIWAREX WL230 SB-S

Tipo	Varilla a cizallamiento
Campo de aplicación	Básculas de depósito, de cinta, colgantes o de plataforma.
Capacidad nominal (Emáx)	5 t (4.92 tn. L.)
Clase de precisión	C3
Valor de división mínimo (Vmín)	Emáx/10000
Tensión de alimentación (Uref)	5 – 12 VDC
Sensibilidad nominal	2mV/V
Grado de protección	IP66/IP68
Material	Acero inoxidable
Grado de protección Ex Según ATEX (opcional)	II 2 G EEx ib IIC T6/T4 II 3 G, EEx nA/nL IIC T6/T4, II 1D/2D/3D T 70 C (158 F)
Protección contra explosiones	No

CONTINÚA →

Componentes de montaje	Placa base con protección de sobrecarga Apoyos de elastómetro Unidad de montaje combinada Mecanismo guía para la unidad de montaje combinada.
-------------------------------	--

5.2.7. Sensor de flujo SIGNET 2536

La planta dosificadora utiliza el sensor de flujo de rueda de paletas, rotor-X de la marca SIGNET.



Figura 77. Sensor de flujo SIGNET 2536

Tabla 14. Especificaciones técnicas del sensor de flujo SIGNET 2536

GENERAL	
Margen de velocidad de flujo	
515	0.3 a 6 m/s (1 a 20 pies/s)
2536	0.1 a 6 m/s (0.3 pies/s)
Margen de tamaño de tubo	DN15 A DN900
Longitud de cable	7.6 m

CONTINÚA →

515	60 m
2536	305 m
Tipo de cable	Cable blindado trenzado de dos conductores (22AWG)
Número mínimo de Reynolds requerido	4500
Materiales	
Material de la tapa	Polipropileno relleno de vidrio o PVDF
Pasador	Titano o Hastelloy-C
Juntas tóricas	FPM (estándar)
Rotor	PVDF negro o PVDF natural
Rendimiento	
Capacidad lineal	+/-1% de margen completo
Capacidad de repetición	+/-0.5% de margen completo
ELÉCTRICOS	
frecuencia	49 Hz por m/s nominal
Voltaje de alimentación	5 a 24 VCC +/-10% regulada
Corriente de voltaje	<1.5 mA @ 3.3 – 6 VCC <20 mA @ 6 – 24 VCC
Tipo de Salida	Transistor de colector abierto, hundimiento.
Corriente de salida	10 mA máximo

5.3. Diagramas de control y potencia del sistema de control de la planta dosificadora de hormigón

Para la implementación del sistema se dibujan los planos eléctricos de potencia como y control, estos diagramas se muestran en la sección anexos del presente proyecto.

5.4. Implementación del sistema de control de la planta dosificadora de hormigón

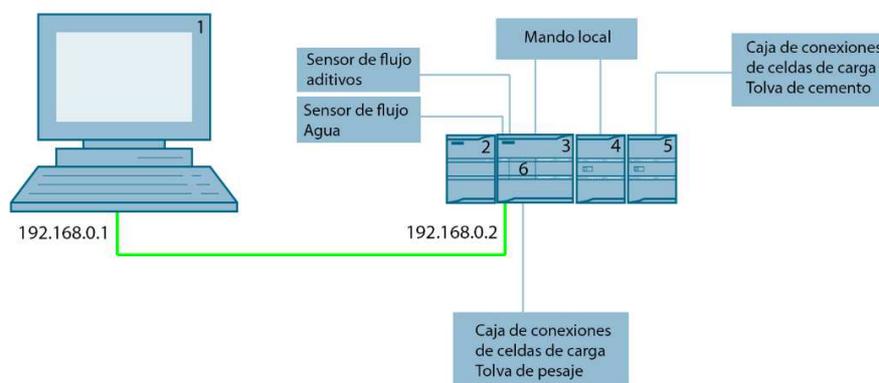


Figura 78. Diagrama de configuración de equipos del sistema de control para la planta dosificadora de hormigón

La figura 78 muestra la configuración de los componentes para la implementación del sistema de control. Sus elementos son los siguientes:

1. PC de operador
2. Fuente de alimentación LOGO! Power 24 VDC/2.5A
3. PLC Simatic S7-1200 1214C AC/DC/Relé
4. Módulo de expansión de entradas y salidas digitales SM1223
5. Módulo de expansión SIWAREX WP 231
6. Módulo de expansión de entrada analógica signal board SB1231

Para la configuración de los equipos se utiliza el software de ingeniería TIA PORTAL

5.4.1. Implementación del sistema de dosificación de grava

La implementación del sistema de dosificación de grava está realizada en base a los diseños planteados en el capítulo 4, se realizan los graficets de segundo nivel y se programa la secuencia respectiva para que el sistema de dosificación de grava trabaje en los modos de operación manual y automático. En la figura 79 se observa el graficet de segundo nivel para el sistema de dosificación de grava en modo manual.

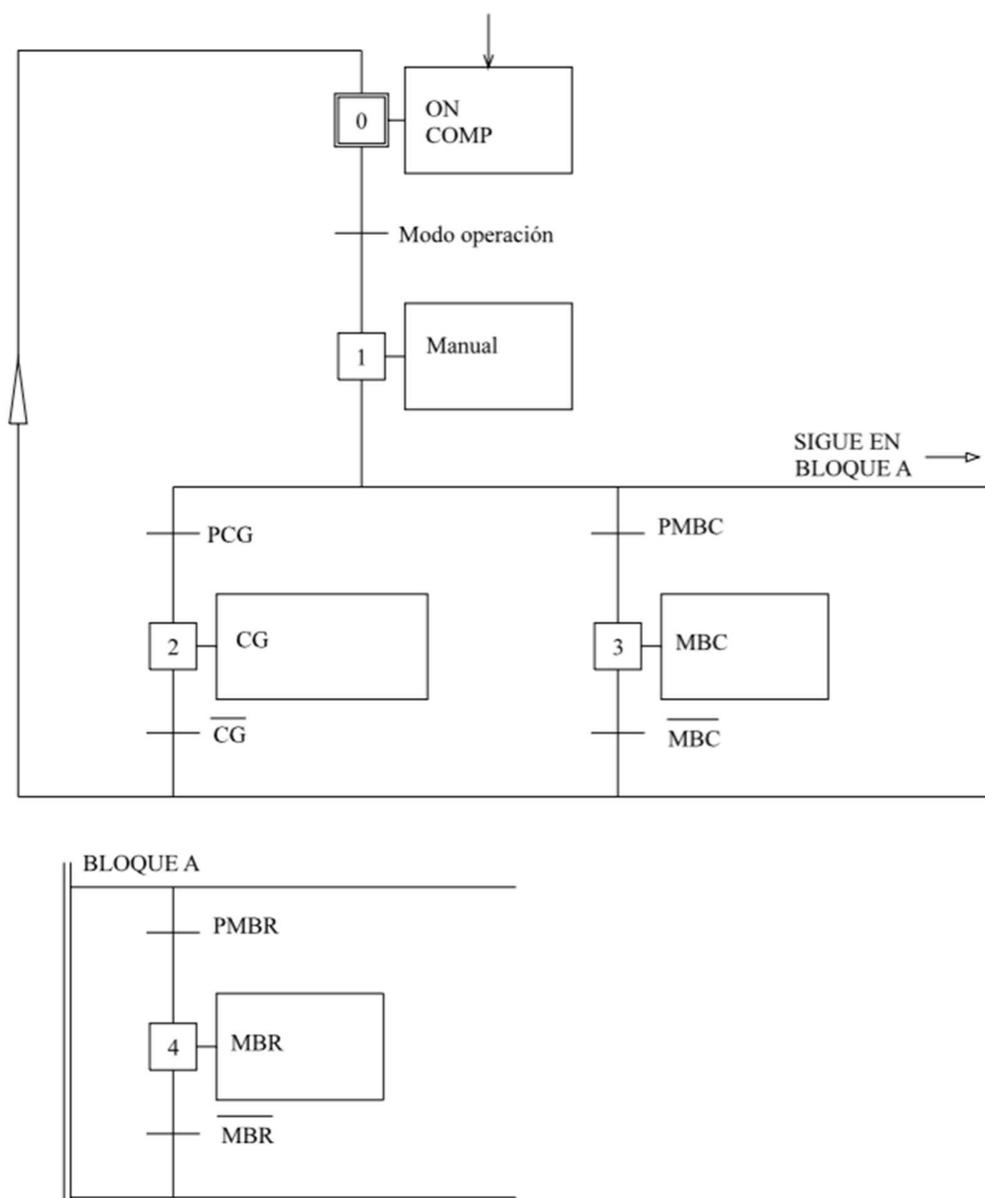


Figura 79. Grafcet de segundo nivel para sistema de dosificación de grava en modo manual

Se realiza la programación de la lógica de contactos mediante el software TIA PORTAL. Las figuras 80, 81 y 82 muestran los bloques de función elaborados para el funcionamiento de este diseño.

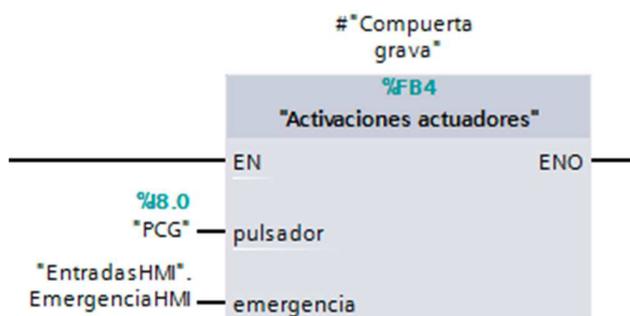


Figura 80. Función de bloque utilizada para la activación de la compuerta en la tolva de grava

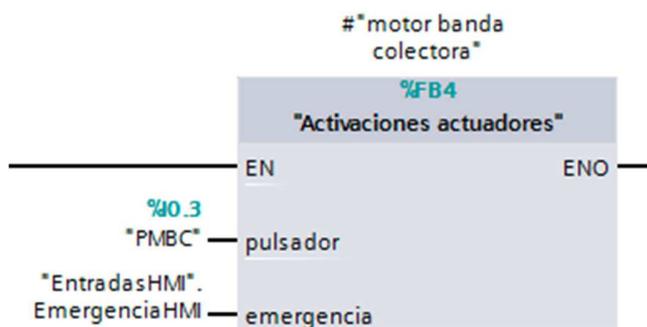


Figura 81. Función de bloque utilizada para la activación de la banda colector

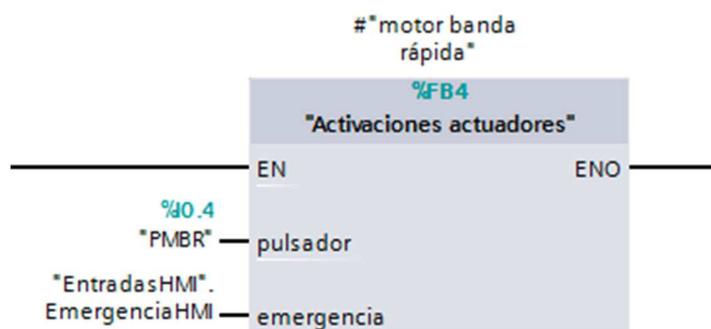


Figura 82. Función de bloque utilizada para la activación de la banda rápida

La implementación del sistema de control de grava en modo automático se realiza en base al graficet de segundo nivel mostrado en la figura 83.

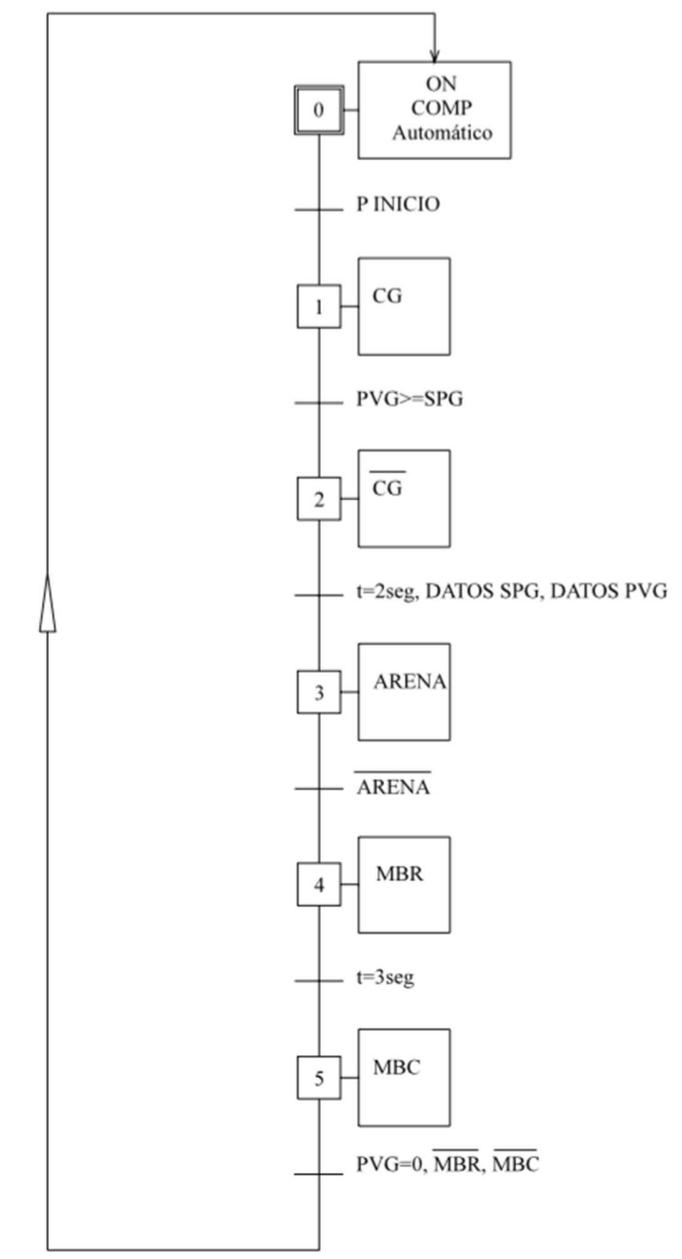


Figura 83. Grafcet de segundo nivel para sistema de dosificación de grava en modo automático

En la figura 84 vemos el bloque de programación elaborado para la dosificación de grava en modo automático.

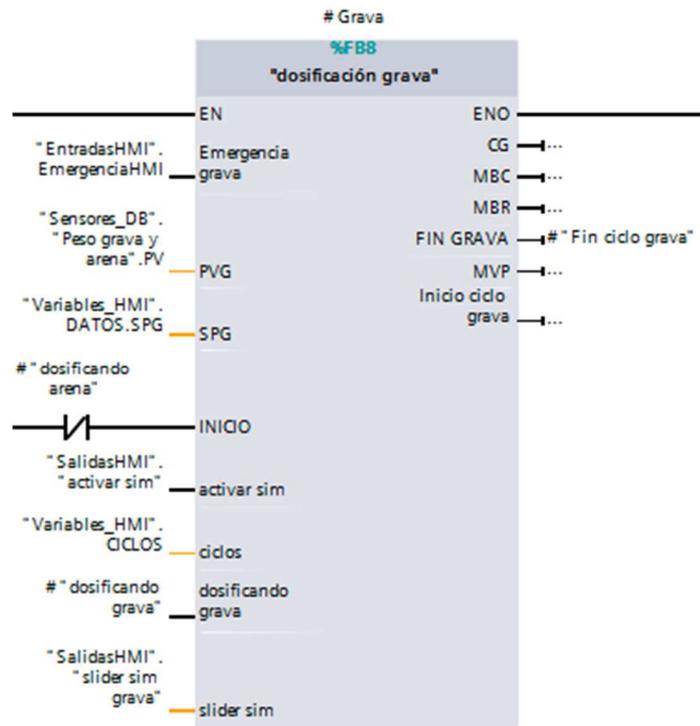
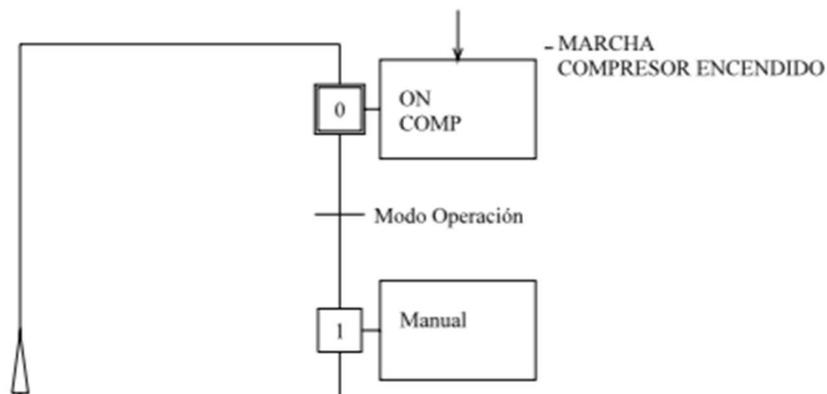


Figura 84. Función de bloque utilizada para el funcionamiento del sistema de dosificación de grava en modo automático

5.4.2. Implementación del sistema de dosificación de arena

El sistema de dosificación de arena fue implementado mediante el graficet de segundo nivel que se muestra en la figura 85 para el modo de operación manual.



CONTINÚA →

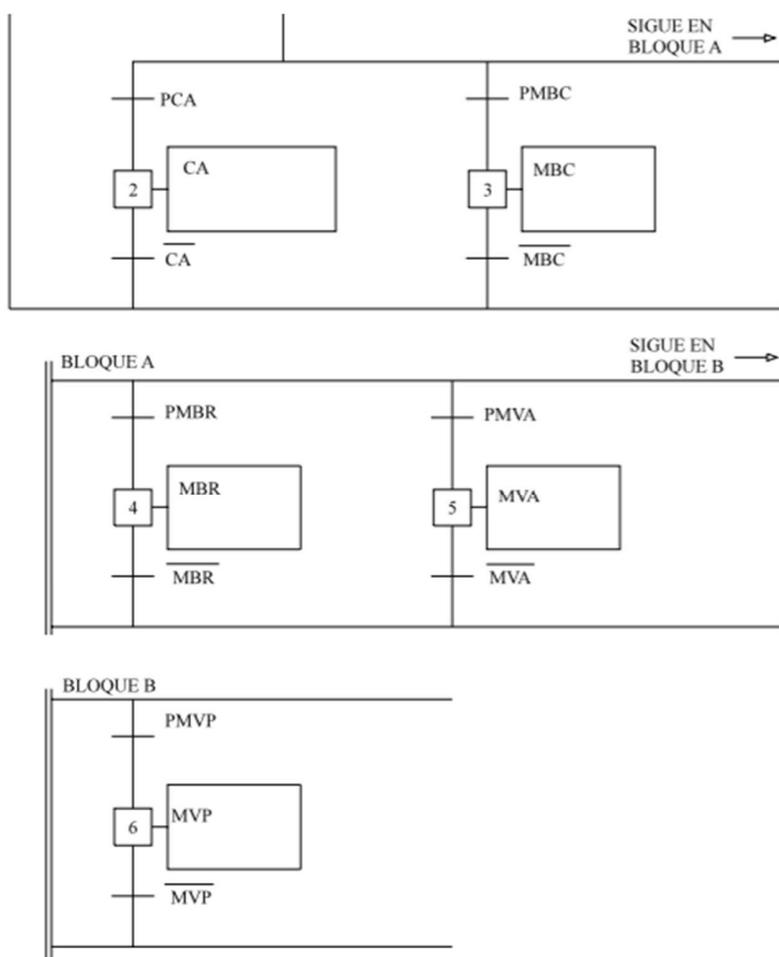


Figura 85. Graficet de segundo nivel para sistema de dosificación de arena en modo manual

Los bloques de función que permiten el funcionamiento de este sistema en modo manual se indican en la figuras 86, 87, 88 y 89.

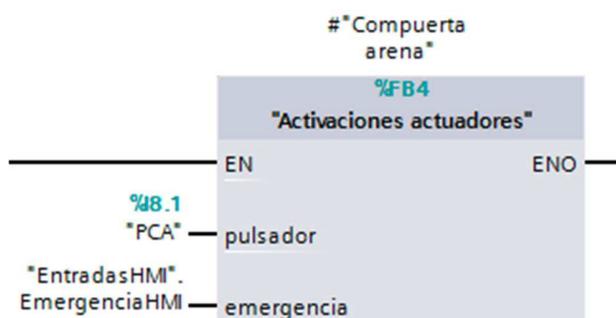


Figura 86. Función de bloque utilizada para la activación de la compuerta en la tolva de arena

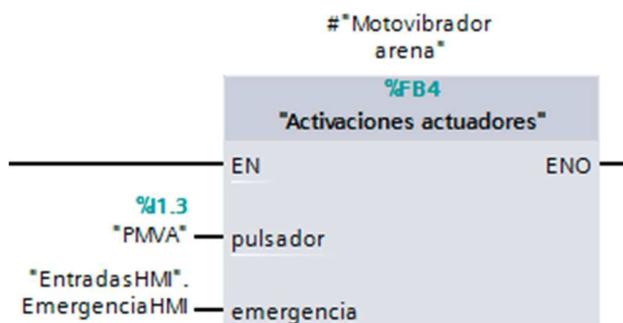


Figura 87. Función de bloque utilizada para la activación del motovibrador de la tolva de arena

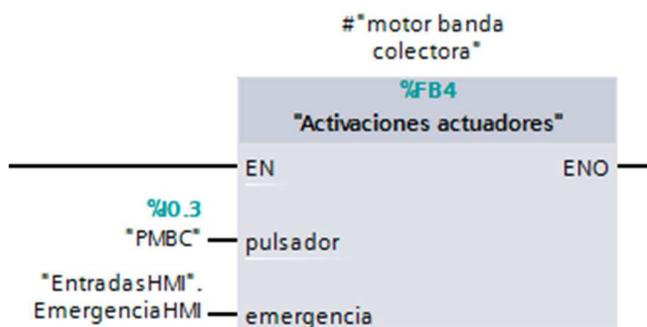


Figura 88. Función de bloque utilizada para la activación de la banda colectora

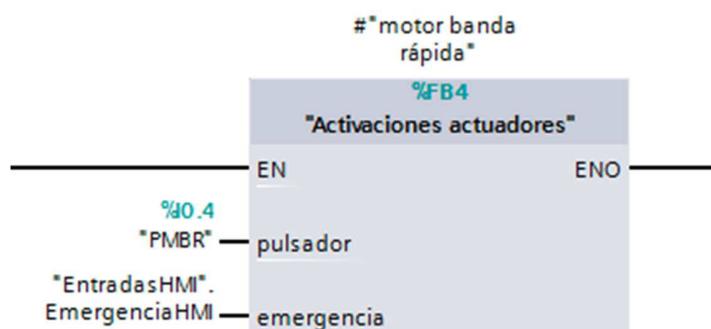


Figura 89. Función de bloque utilizada para la activación de la banda rápida

Para el modo de funcionamiento automático se utilizó el graficet de segundo nivel que se ilustra en la figura 90.

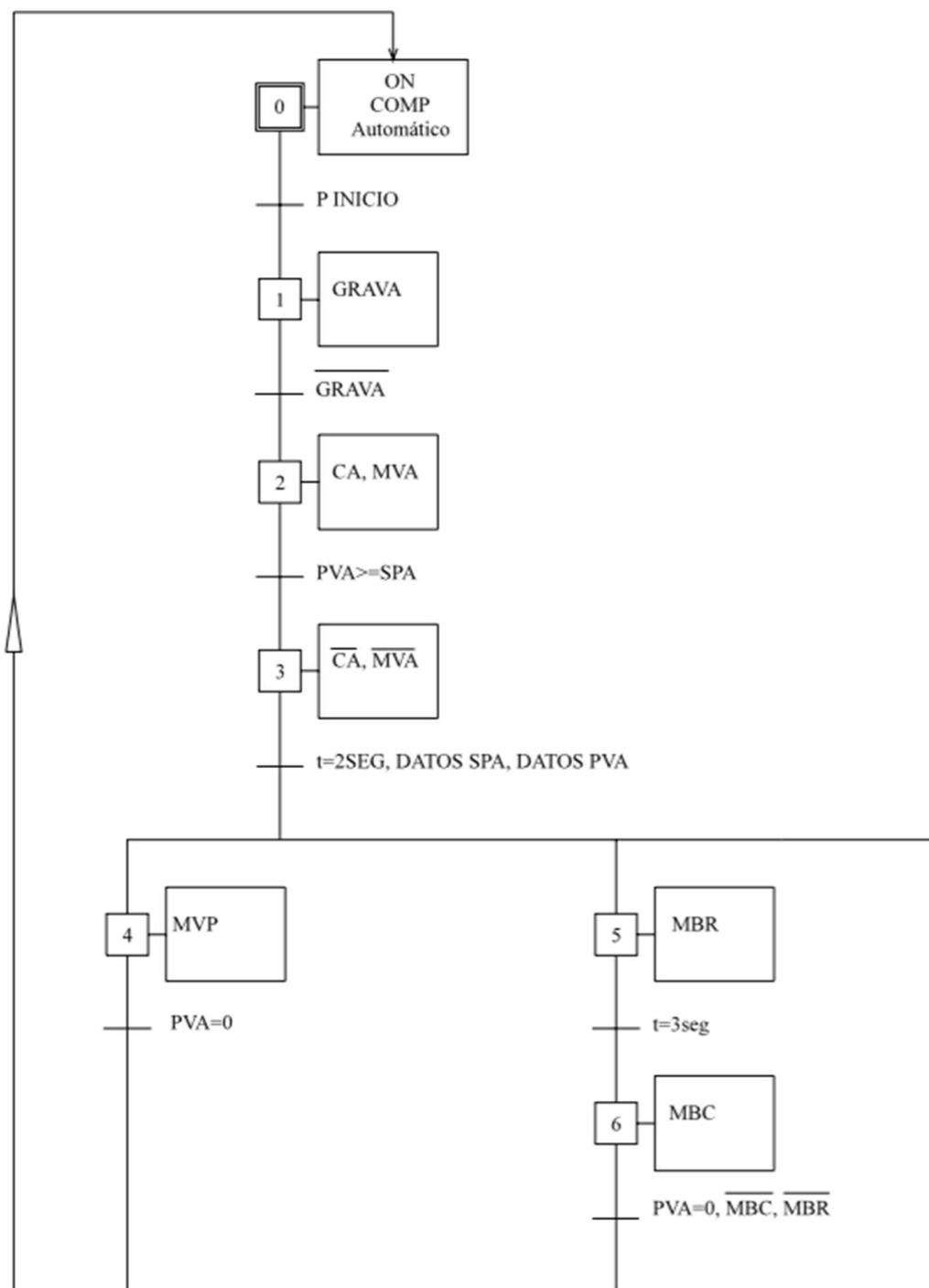


Figura 90. Grafcet de segundo nivel para sistema de dosificación de arena en modo automático

El sistema de dosificación de arena en modo automático fue implementado mediante el bloque de función que se muestra en la figura 91.

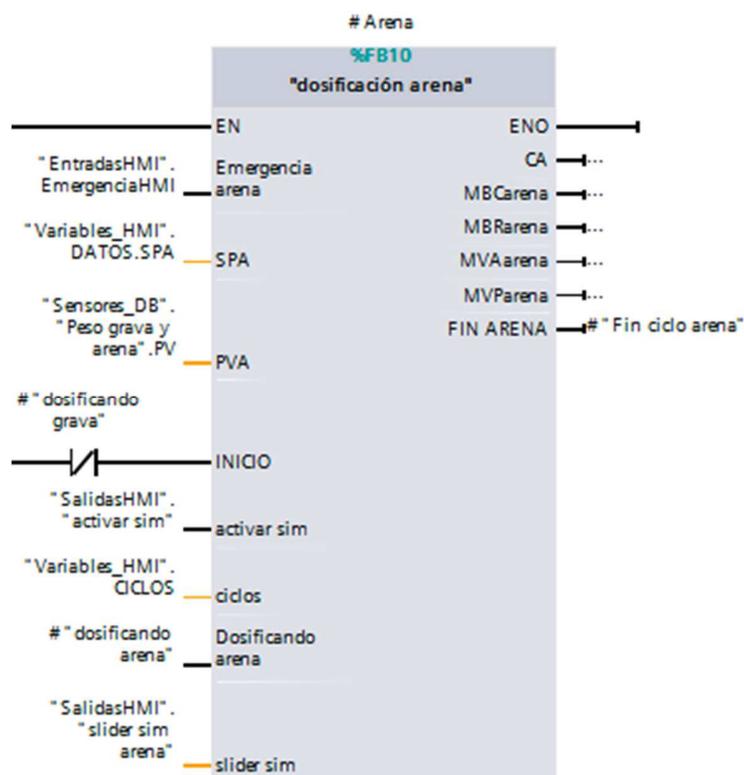
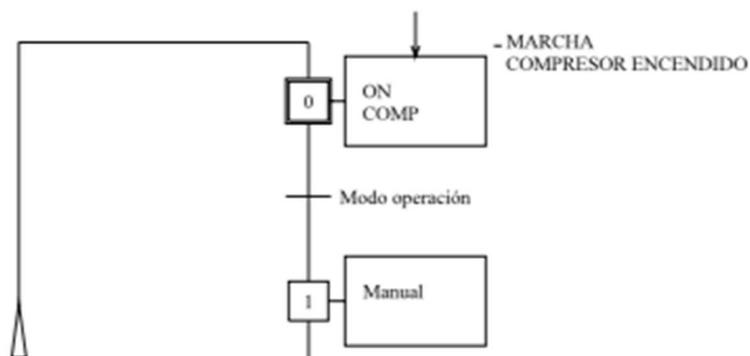


Figura 91. Función de bloque utilizada para el funcionamiento del sistema de dosificación de arena en modo automático

5.4.3. Implementación del sistema de dosificación de cemento

El sistema de dosificación de cemento en modo manual fue implementado mediante el graficet de segundo nivel mostrado en la figura 92.



CONTINÚA →

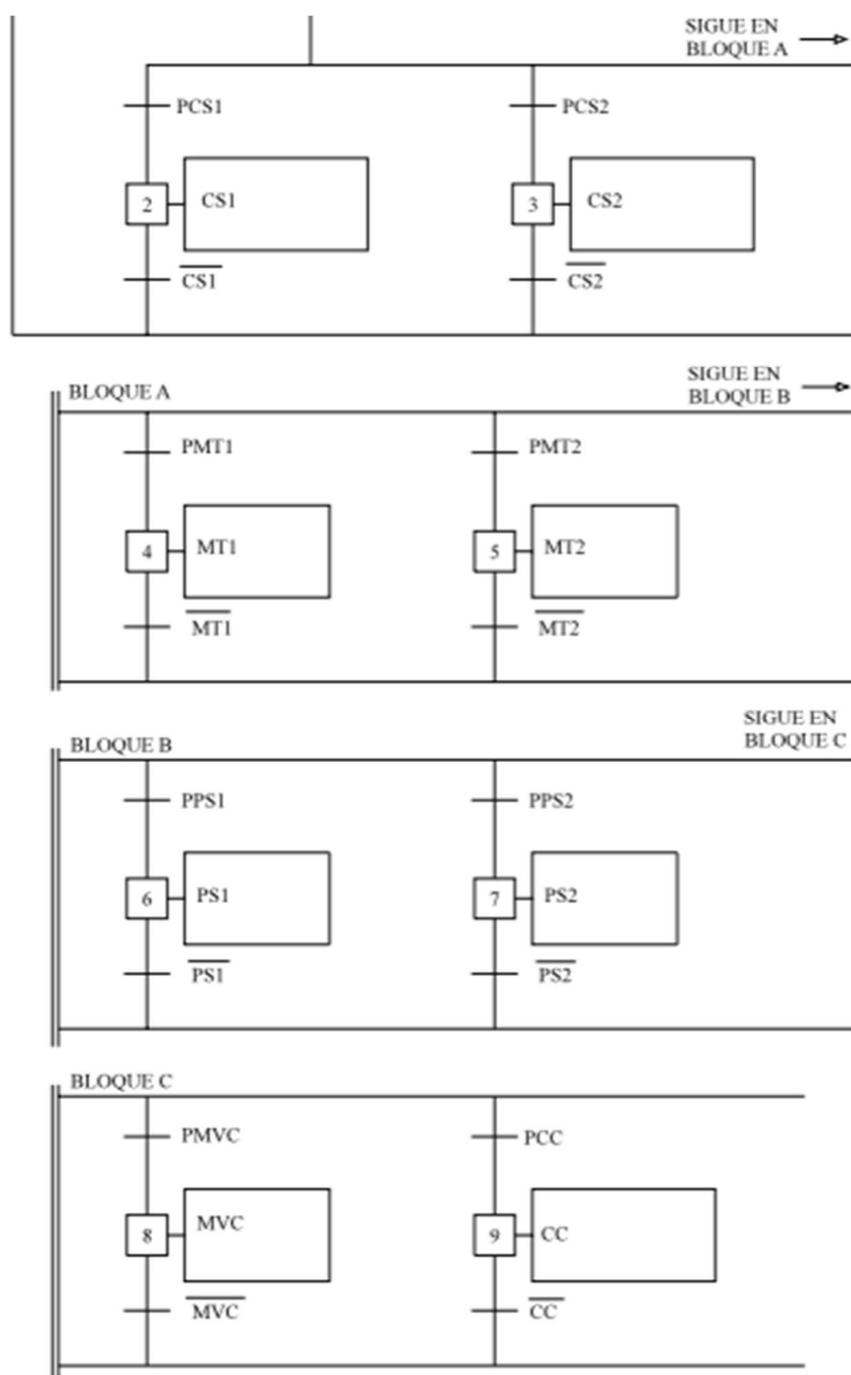


Figura 92. Graficet de segundo nivel para sistema de dosificación de cemento en modo manual

Los bloques de función que se utilizaron para la implementación de este sistema en modo manual se indican en las figuras 93, 94, 95, 96, 97, 98 y 99.

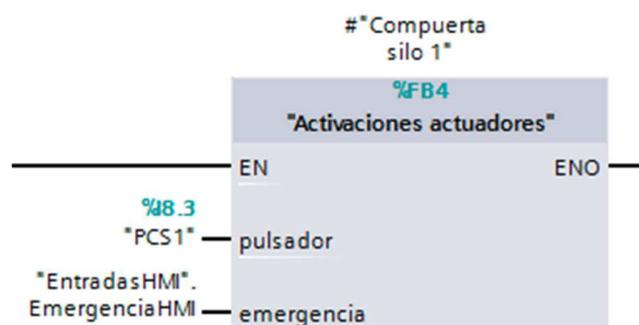


Figura 93. Función de bloque utilizada para la activación de la compuerta del silo 1

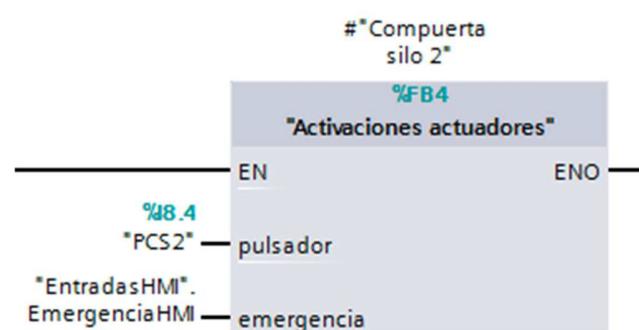


Figura 94. Función de bloque utilizada para la activación de la compuerta del silo 2

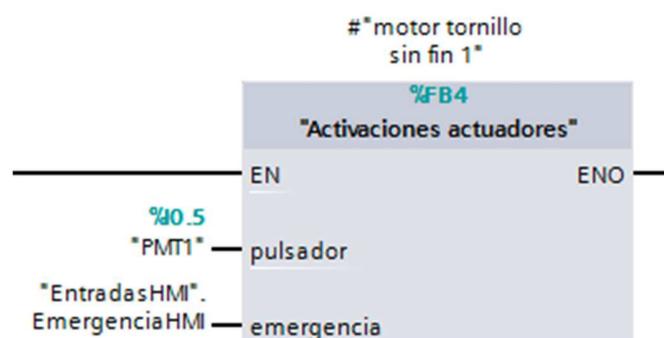


Figura 95. Función de bloque utilizada para la activación del tornillo sin fin del silo 1

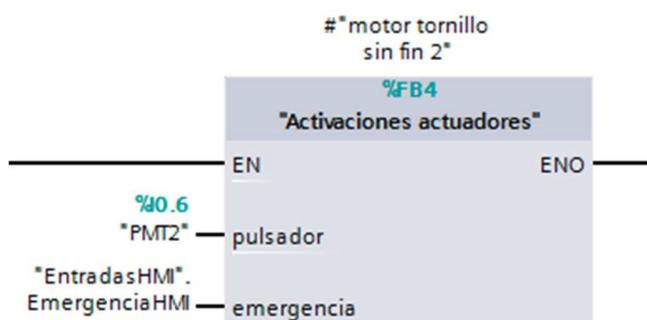


Figura 96. Función de bloque utilizada para la activación del tornillo sin fin del silo 2

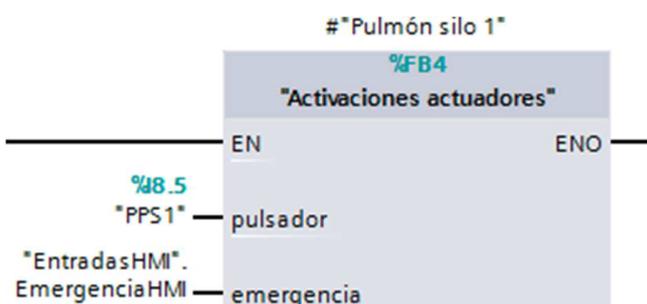


Figura 97. Función de bloque utilizada para la activación del pulmón en silo 1

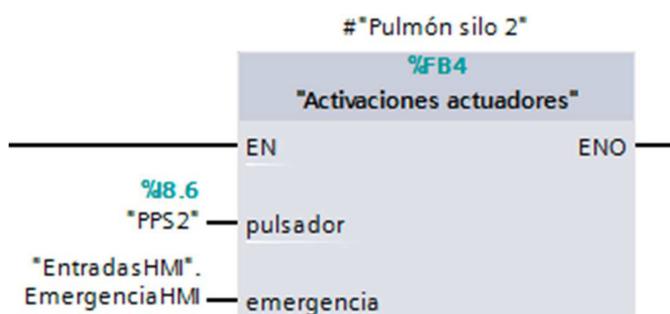


Figura 98. Función de bloque utilizada para la activación del pulmón en silo 2

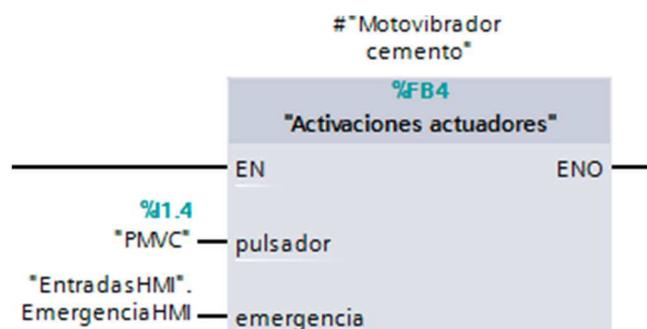
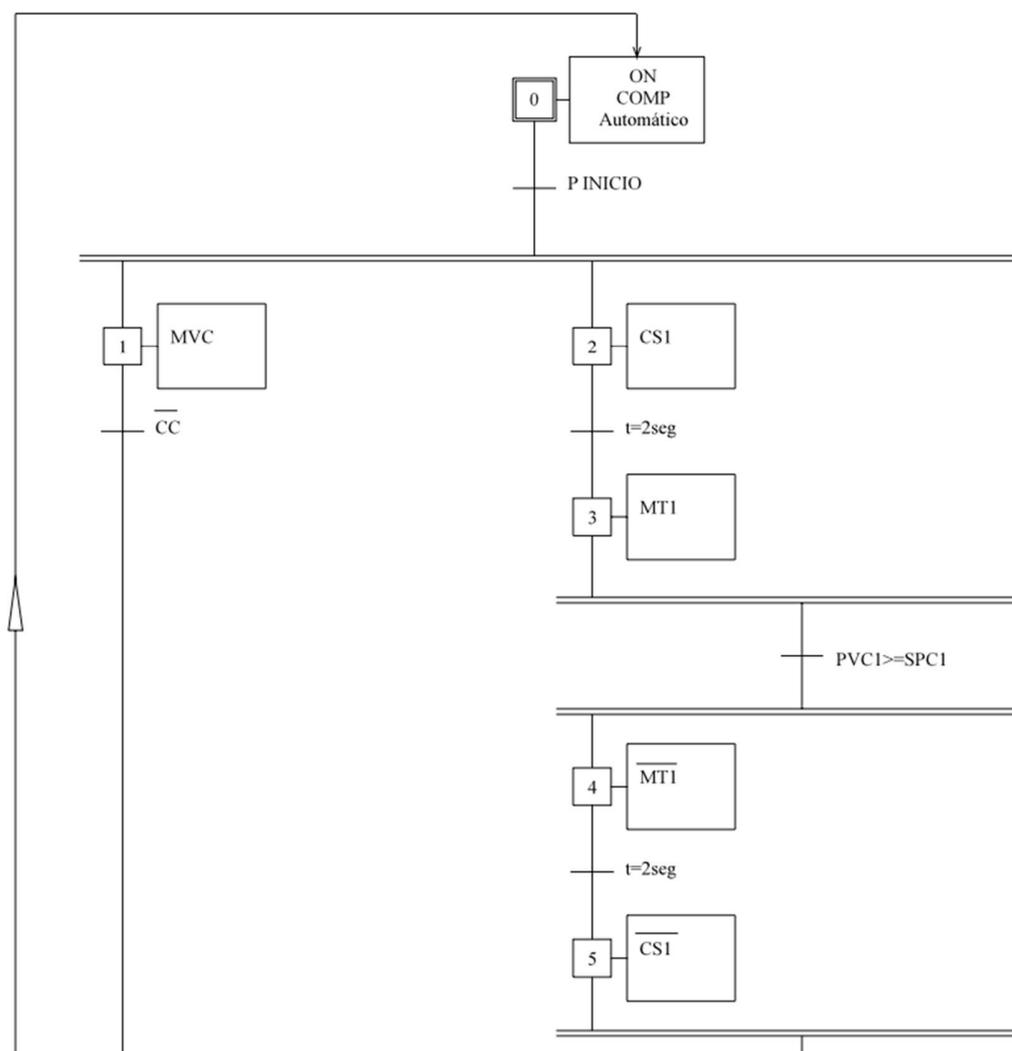
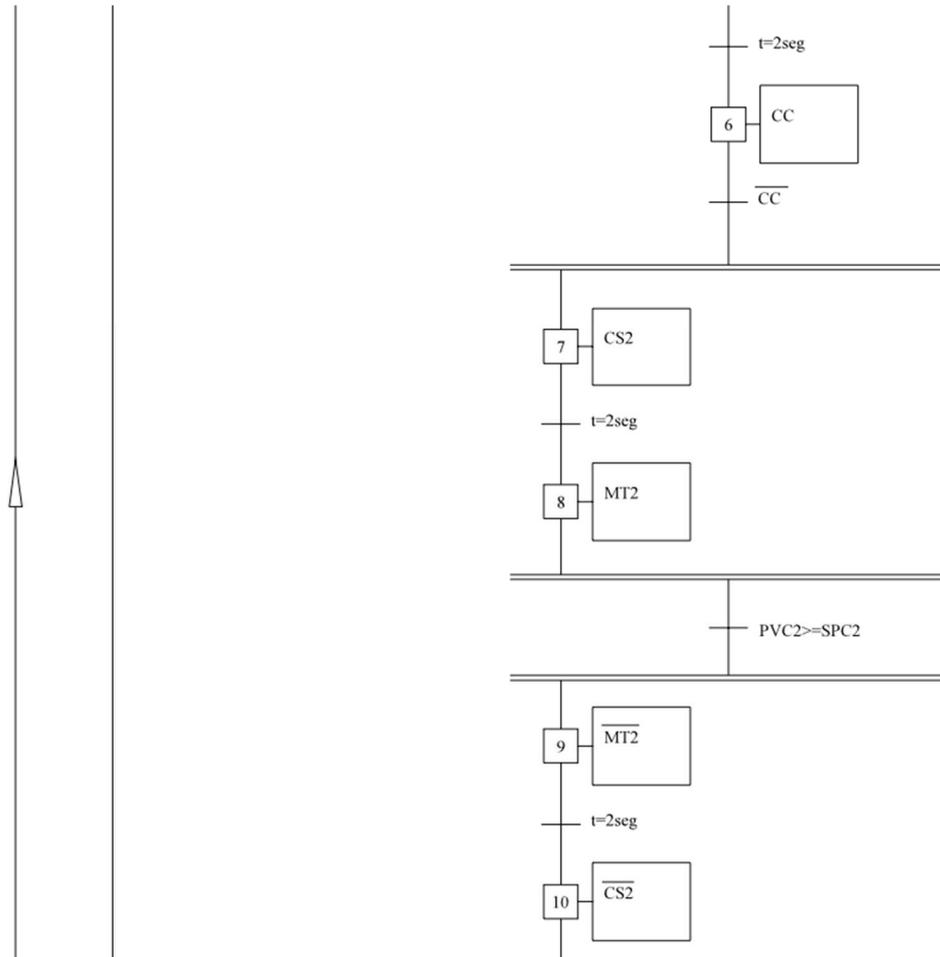


Figura 99. Función de bloque utilizada para la activación del motovibrador de la tolva de cemento

Para el modo de operación automático el sistema fue implementado en base al graficet de segundo nivel que se detalla en la figura 100



CONTINUA →



CONTINUA →



Figura 100. Grafcet de segundo nivel para sistema de dosificación de cemento en modo automático

Los bloques de función que permiten el funcionamiento del sistema en modo de operación automático se ilustran en las figuras 101 y 102.

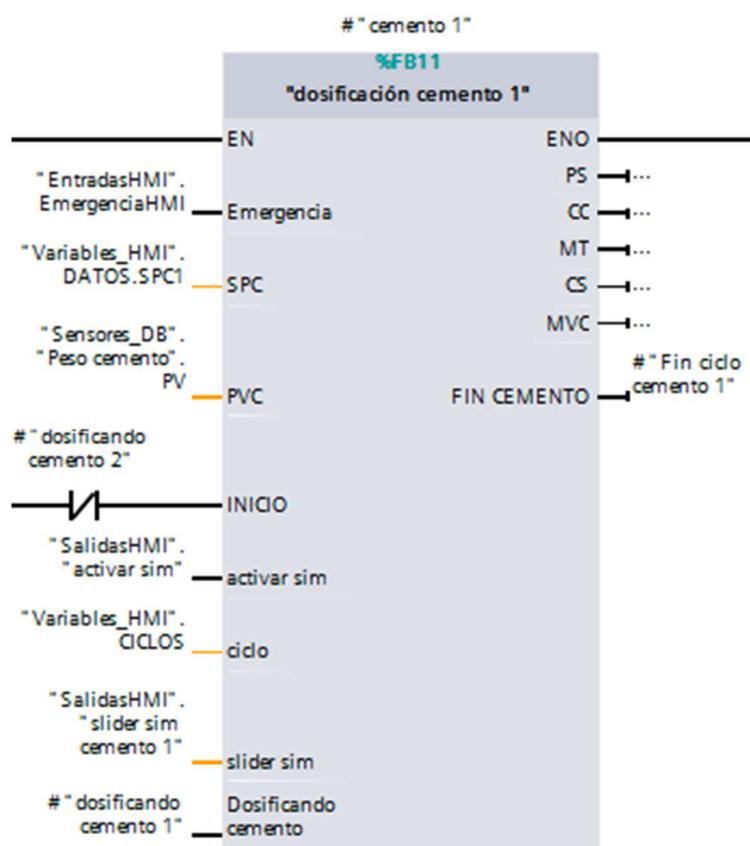


Figura 101. Función de bloque utilizada para el funcionamiento del sistema de dosificación de cemento 1 en modo automático

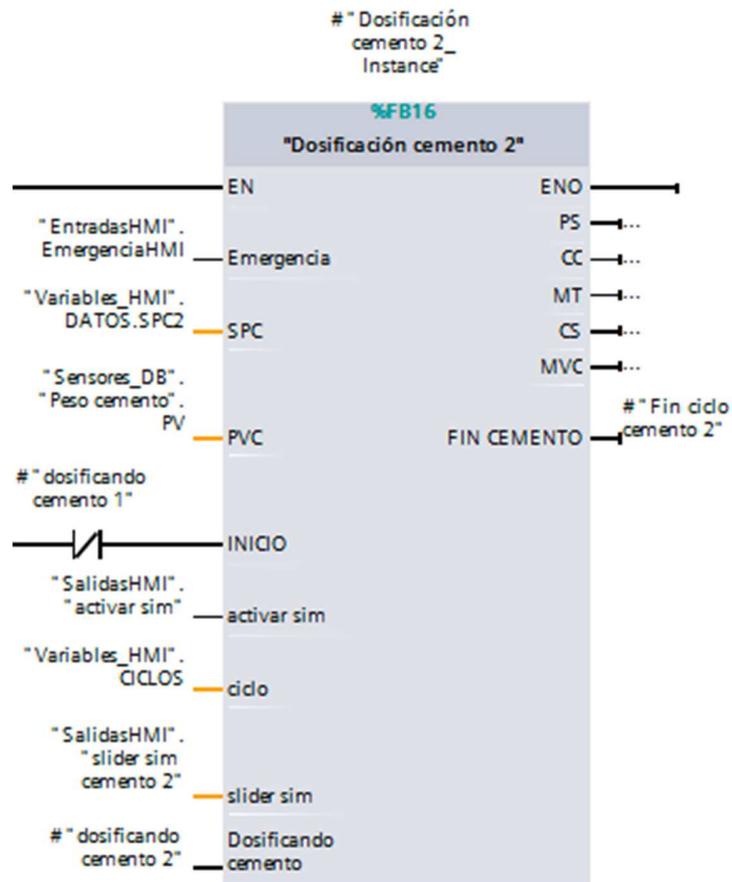
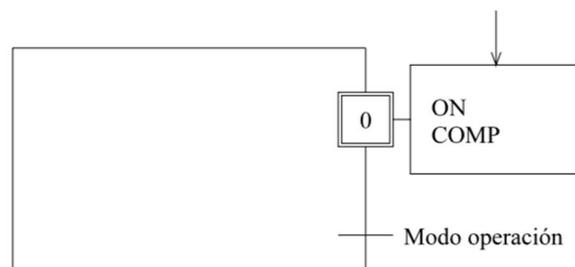


Figura 102. Función de bloque utilizada para el funcionamiento del sistema de dosificación de cemento 2 en modo automático

5.4.4. Implementación del sistema de dosificación de agua

El sistema de dosificación de agua esta implementado en base al graficet de la figura 103.



CONTINÚA →

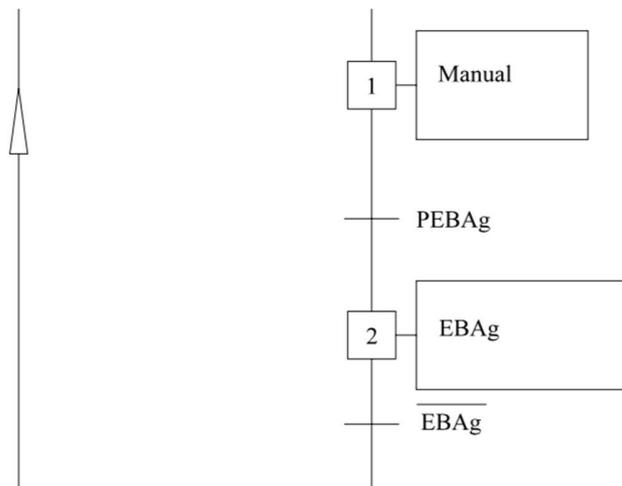


Figura 103. Grafcet de segundo nivel para sistema de dosificación de agua en modo manual

La figura 104 muestra el bloque de función utilizado en el programa para que el sistema de dosificación de agua trabaje en modo manual.

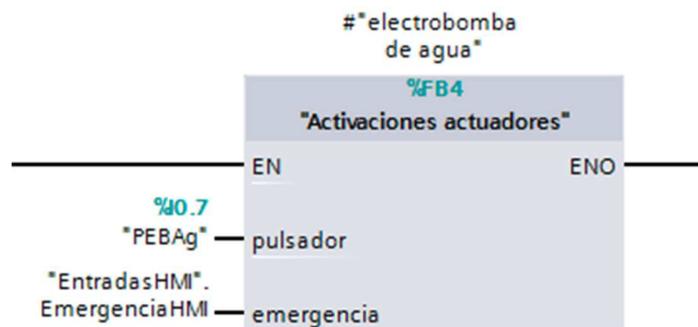
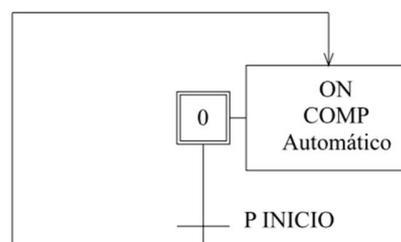


Figura 104. Función de bloque utilizada para la activación de la bomba de agua

Para que el sistema de dosificación de agua trabaje en modo automático se utilizó el grafcet de segundo nivel ilustrado en la figura 105.



CONTINÚA →

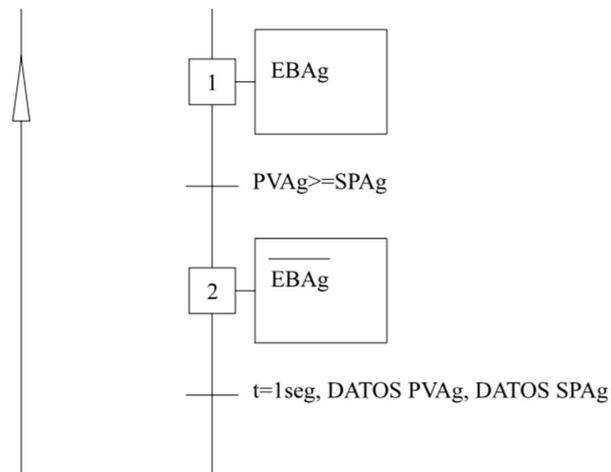


Figura 105. Grafcet de segundo nivel para sistema de dosificación de agua en modo automático

El bloque de función del sistema de dosificación de agua para el modo de operación automático utilizado en la programación se ilustra en la figura 106.

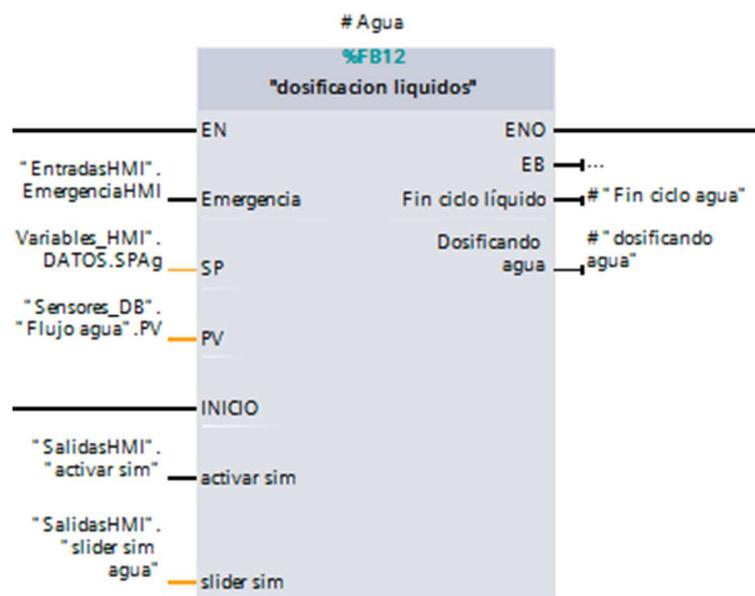


Figura 106. Función de bloque utilizada para el funcionamiento del sistema de dosificación de agua en modo automático

5.4.5. Implementación del sistema de dosificación de aditivos

El sistema de dosificación de aditivos fue implementado en base al grafcet de Segundo nivel que se muestra en la figura 107 para el modo de operación manual.

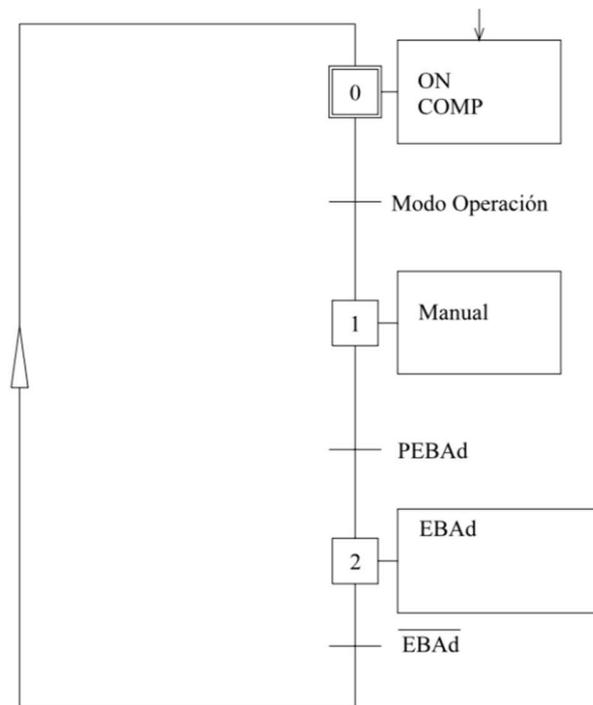


Figura 107. Grafcet de segundo nivel para sistema de dosificación de aditivos en modo manual

En la figura 108 se tiene el bloque de programación implementado para que el sistema de dosificación de aditivos trabaje en manual.

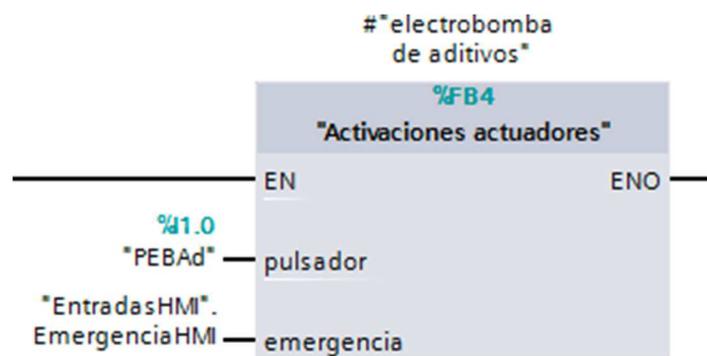


Figura 108. Función de bloque utilizada para la activación de la bomba de aditivos

Se realiza el grafcet de segundo nivel para la implementación del sistema de dosificación de aditivos en modo automático como se muestra en la figura 109.

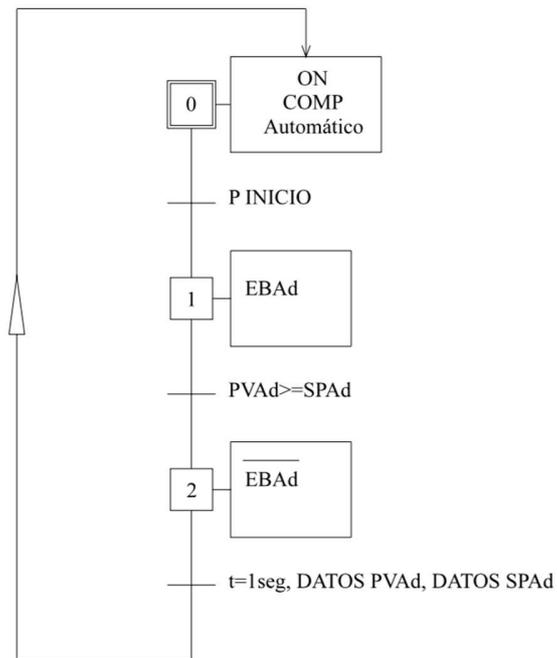


Figura 109. Graficet de segundo nivel para sistema de dosificación de aditivos en modo automático

El modo de operación automático es implementado posteriormente como se ilustra en la figura 110, en donde se observa el bloque de función utilizado.

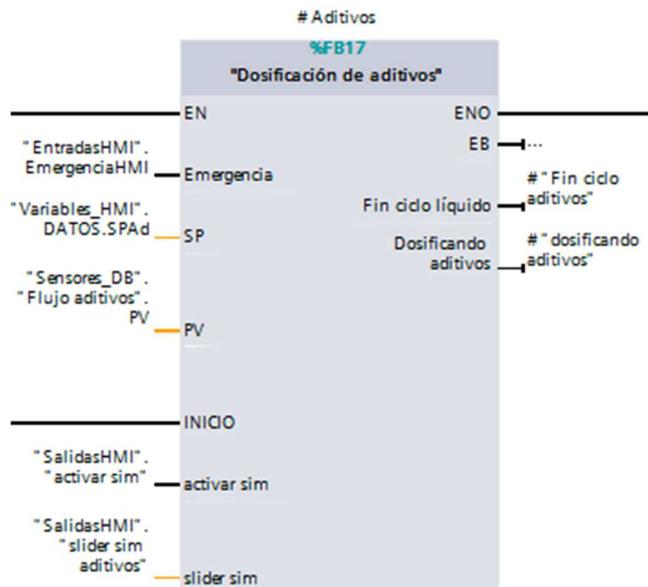


Figura 110. Función de bloque utilizada para el funcionamiento del sistema de dosificación de aditivos en modo automático

5.5. Generación de fórmulas, alarmas y reportes

El sistema está diseñado para permitir al operador el ingreso de fórmulas de mezcla de agregados en base a clientes. Así, se registraran todos los set points ingresados para poder trabajar hasta con 5 clientes por día.

En las figuras 111 se indica el bloque de función utilizado en el programa para realizar este cometido.

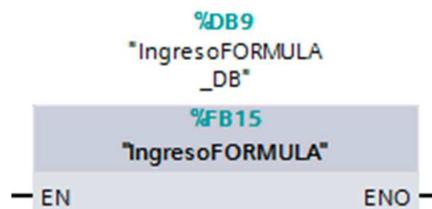


Figura 111. Bloque de función utilizado para el ingreso de fórmulas

El sistema también incorpora una función de alarmas, las cuales se activarán cuando se produzca falló en los actuadores así como también si algún sensor dejara de emitir señal por desconexión o rotura del cable, la función implementada corresponda a la de la figura 111.

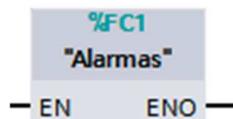


Figura 112. Bloque de función utilizado para la generación de alarmas

Los reportes son generados en función de las variables del proceso alcanzadas, estos registros pueden ser visualizados en un archivo de extensión .csv generado por el sistema. En la figura 113 vemos el bloque de función que permite ejecutar la rutina de generación de reportes.

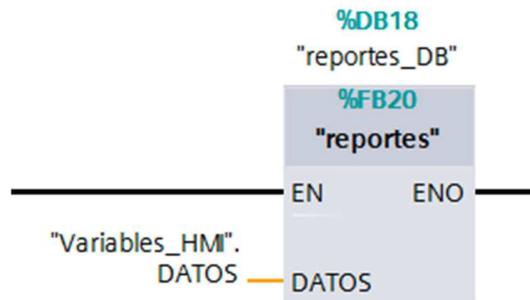


Figura 113. Bloque de función utilizado para la generación de reportes

5.6. Descripción de la interfaz gráfica del sistema de control de la planta dosificadora de hormigón

Una vez implementado el programa de sistema de control en el PLC, se realiza la interfaz usuario-máquina de acuerdo al diseño planteado en el capítulo 4 del presente proyecto. A continuación se describen las funciones y características que brindan las ventanas de operación en el sistema de control de la planta.

La primera pantalla que se observa corresponde a la ventana de ingreso del sistema, esta pantalla permite al operador empezar la rutina de trabajo, el acceso está restringido con una clave de usuario y contraseña, esta ventana se muestra en la figura 114 y la ventana de control de acceso en la figura 115.

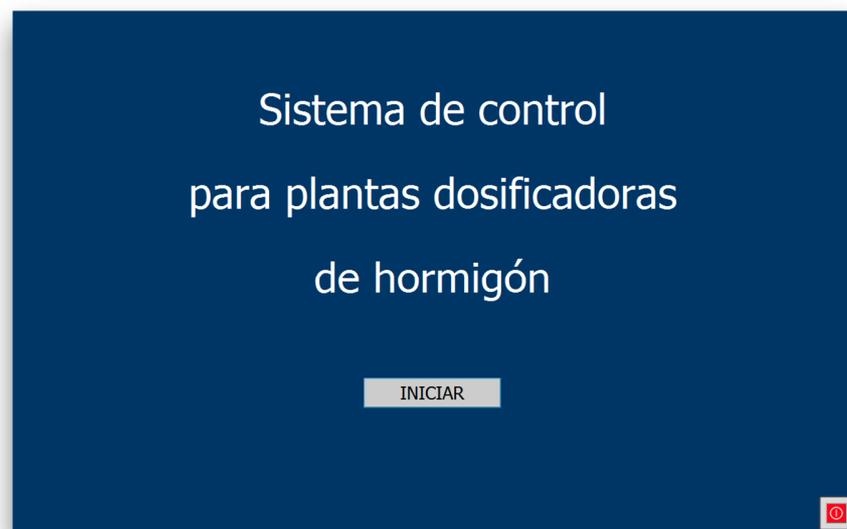


Figura 114. Ventana de ingreso del sistema

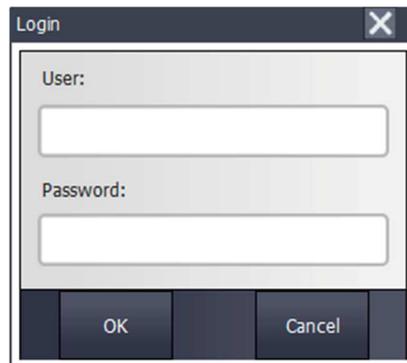


Figura 115. Ventana de control de acceso del sistema

Una vez ingresado al sistema la pantalla por defecto será la ventana en modo de operación automático, desde esta ventana el operador podrá controlar todo el proceso, esta pantalla permite el ingreso de fórmulas por clientes. El proceso comenzará una vez se hayan ingresado los parámetros de set points del peso a conseguir de los materiales así como la cantidad de concreto que se desea obtener. Con estos datos y una vez presionado el botón de inicio, el sistema arrancará automáticamente hasta lograr la cantidad de producción deseada.

La pantalla en modo de operación automático puede ser vista en la figura 116.



Figura 116. Ventana de operación del sistema en modo automático

Otra ventana que podrá ser accedida desde la ventana en modo de operación automático es la pantalla de horómetros, la cual permitirá ver el tiempo que llevan funcionando los actuadores del sistema y servirá para realizar los respectivos mantenimientos preventivos y correctivos del sistema. En la figura 117 se muestra la ventana de horómetros.

TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO DE ACTUADORES				
	HOR.	MIN.	SEG.	#CAMBIOS
MBC:	000	000	000	Reset 000
MBR:	000	000	000	Reset 000
MBT1:	000	000	000	Reset 000
MBT2:	000	000	000	Reset 000
EBAg:	000	000	000	Reset 000
EBAAd:	000	000	000	Reset 000
COMP:	000	000	000	Reset 000
CG:	000	000	00	Reset 000
CA:	000	000	000	Reset 000
CC:	000	000	000	Reset 000
VS1:	000	000	000	Reset 000
VS2:	000	000	000	Reset 000
PS1:	000	000	000	Reset 000
PS2:	000	000	000	Reset 000
MVA:	000	000	000	Reset 000
MVP:	000	000	000	Reset 000
MVC:	000	000	000	Reset 000
SIRENA:	000	000	000	Reset 000

IMPRIMIR | Resetear Todo | Resetear # camb. | OK

Figura 117. Ventana de horómetros

La ventana de operación automático tiene la particularidad de poder realizar el ingreso de valores de fórmula para mezclas, se ha diseñado una pequeña ventana que reúne la información necesaria para poder fijar estos valores, se incluye además el ingreso de parámetros de humedad y absorción de grava y arena para recalculer la cantidad de agua que ingresa en la mezcla. En la figura 118 se puede apreciar la ventana de ingreso de fórmulas.

Ingreso de fórmula

Grava abs: 0 %
 Humedad: 0 %
 SP: 0 Kg

Recalcular dosificación de grava
 RECALCULAR

Arena abs: 0 %
 Humedad: 0 %
 SP: 0 Kg

Recalcular dosificación de arena
 RECALCULAR

Cemento 1
 SP: 0 Kg

Cemento 2
 SP: 0 Kg

Agua
 SP: 0 It

Aditivo
 SP: 0 It

Dosificación m3 por lote
 0

TOTAL DE PRODUCCION: 0.0 m3

Número de lotes: 0

OK

Figura 118. Ventana de ingreso de fórmulas

Desde la pantalla de modo de operación automático podremos habilitar la ventana de operación en modo manual, esta sección permitirá al operador efectuar activaciones de los actuadores sin restricciones, en esta ventana también podremos visualizar la pantalla de horómetros del sistema. La ventana en modo de operación manual del sistema se muestra en la figura 119.

Sistema de control para plantas dosificadoras de hormigón 5/21/2015 6:01 AM

Ventana de Ingeniería

Absorción: 0 % Absorción: 0 %
 humedad: 0 % humedad: 0 %
 SP: 0.00 Kg SP: 0.00 Kg
 PV: 0.00 Kg PV: 0.00 Kg

GRAVA ARENA

PV: 0.00 Kg

CEMENTO

S I L O 1 S I L O 2

SP: 0.00 Kg SP: 0.00 Kg
 PV: 0.00 Kg PV: 0.00 Kg

SP: 0.00 It SP: 0.00 It
 PV: 0.00 It PV: 0.00 It

B. AGUA B. ADIT.

Total de Producción: 0.0 m3
 Producción Alcanzada: 0.0 m3
 Total de lotes: 0 m3
 Lotes alcanzados: 0 m3

MODO DE OPERACIÓN

Automático

COMP. MBC. MBR. TORN1. TORN2.
 TOLVA1. TOLVA2. TOLVA3. valSILO1. valSILO2.
 vib.basc. vib.aren. vib.cem. PULM.S1. PULM.S2.
 B. AGUA. B. ADIT. SIRENA.

Horómetros

No.	Time	Date	Status	Text	Acknowledge group

Figura 119. Ventana de operación del sistema en modo de operación manual

Para realizar las configuraciones iniciales del sistema se ha creado una tercera pantalla denominada ventana de ingeniería, esta ventana va a permitir acceder a toda la información del proceso así como manejar la planta sin ninguna restricción, en la figura 120 se muestra la ventana de ingeniería implementada.

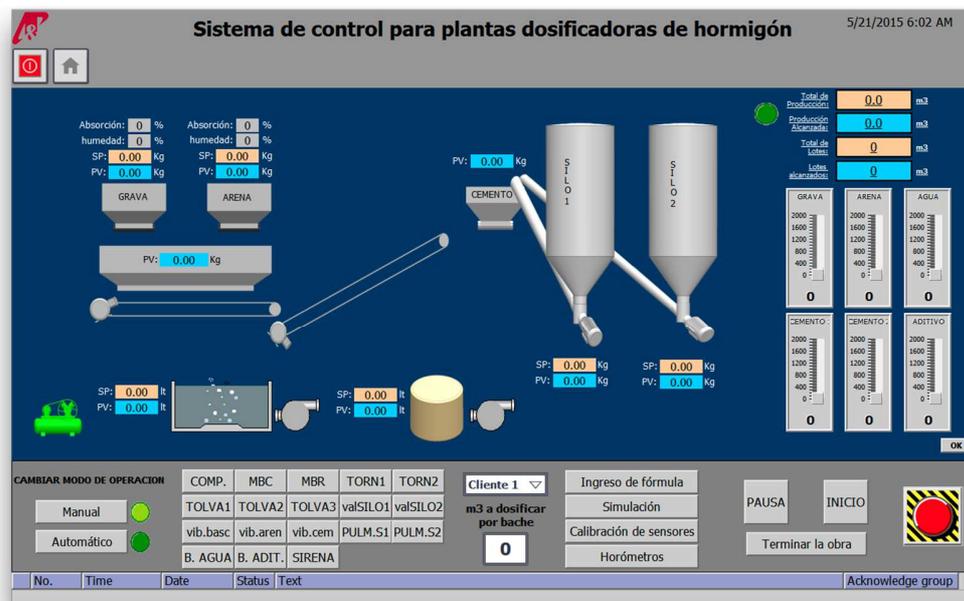


Figura 120. Ventana de ingeniería

De igual manera en la ventana de ingeniería se incorpora otra ventana en la que se podrá realizar la calibración de los sensores de la planta para que las dosificaciones se mantengan en las cantidades requeridas. En la figura 121 se ilustra la ventana de calibración de sensores.

Calibración de sensores

Celdas de carga tolva de pesaje

Peso patrón: Peso leído:

Celdas de carga tolva de cemento

Peso patrón: Peso leído:

Sensor de flujo de agua

Diametro de tubería: frecuencia:

Sensor de flujo de agua

Diametro de tubería: frecuencia:

OK

Figura 121. Ventana de calibración de sensores

5.7. Puesta en marcha del sistema

Para la puesta en marcha del sistema se ha elaborado un panel de control en donde se van a ubicar los elementos del sistema de control de la planta dosificadora de hormigón, El sistema cuenta con un generador propio el cual es encendido previamente, se verifican los voltajes de línea entregados por el generador como se observa en las figuras 122, 123 y 124.



Figura 122. Encendido del generador eléctrico de la planta



Figura 123. Voltaje del generador de la planta



Figura 124. Medición de voltaje en la línea de alimentación

Se procede a armar el Sistema de control de la planta dosificadora y se realizan las respectivas conexiones de entradas y salidas, se verifican los voltajes de alimentación de los módulos de expansión y sensores como se observa en las figuras 125 y 126.



Figura 125. Medición de voltaje en la fuente de poder



Figura 126. Medición de voltaje para alimentación de celdas de carga

El sistema queda implementado y listo para realizar el trabajo como se aprecia en la figura 127 y 128.



Figura 127. Sistema de control puesto en marcha



Figura 128. Sistema de control para plantas dosificadoras de hormigón de la empresa Asphalt Plants S.A.

CAPÍTULO VI

PRUEBAS Y RESULTADOS

6.1. Pruebas

Al concluir la implementación del sistema de control para la planta dosificadora, se comprobó su correcto funcionamiento mediante pruebas de dosificación por peso/volumen de agregados.

Las primeras pruebas consistieron en medir el peso de un camión mezclador antes y después de la dosificación de cada material, los resultados de peso de los elementos son comparados con el valor final de peso indicado por el sistema de control.

La prueba final se realizó mediante la dosificación de 1 metro cúbico de hormigón, se corrobora el resultado con pruebas de revenimiento.

6.1.1. Pruebas del sistema de dosificación de grava

Para comprobar el funcionamiento de este sistema se realizan dos pruebas en las que se comparan los valores de peso antes y después de la dosificación. En la tabla 15 se registran los valores de set point de la grava y el valor de peso del camión mezclador sin carga.

Tabla 15. Tabla de datos iniciales de las pruebas del sistema de dosificación de grava

Número de prueba	Material usado	Peso ingresado en el sistema	Peso inicial del camión mezclador
1	Grava	Valor	Valor
2	Grava	Valor	Valor

Después de la dosificación del material, se registran los valores alcanzados por el sistema y se realiza una nueva medición del camión para conocer el peso real alcanzado. Estos datos son almacenados en la tabla 16.

Tabla 16. Tabla de datos finales de las pruebas del sistema de dosificación de grava

Número de prueba	Peso final marcado en el sistema	Peso final del camión del mezclador	Peso neto conseguido
1	Valor	Valor	Valor
2	Valor	Valor	Valor

Los datos serán analizados mediante un gráfico de barras que posibilitará comparar los datos teóricos con los datos reales. El porcentaje de error del sistema de dosificación de grava será registrado en la tabla 17.

Tabla 17. Tabla de porcentaje de error de las pruebas del sistema de dosificación de grava

Número de prueba	% error
1	Valor
2	Valor

6.1.2. Pruebas del sistema de dosificación de arena

Se realizan las mismas pruebas para el sistema de dosificación de arena, los datos son recopilados mediante las tablas 18, 19 y 20.

Tabla 18. Tabla de datos iniciales de las pruebas del sistema de dosificación de arena

Número de prueba	Material usado	Peso ingresado en el sistema	Peso inicial del camión mezclador
1	Arena	Valor	Valor
2	Arena	Valor	Valor

Tabla 19. Tabla de datos finales de las pruebas del sistema de dosificación de arena

Número de prueba	Peso final marcado en el sistema	Peso final del camión mezclador	Peso neto conseguido
1	Valor	Valor	Valor
2	Valor	Valor	Valor

Tabla 20. Tabla de porcentaje de error de las pruebas del sistema de dosificación de arena

Número de prueba	% error
1	Valor
2	Valor

6.1.3. Pruebas del sistema de dosificación de cemento

De igual manera los datos de pesos del cemento son recopilados mediante las tablas 21, 22 y 23.

Tabla 21. Tabla de datos iniciales de las pruebas del sistema de dosificación de cemento

Número de prueba	Material usado	Peso ingresado en el sistema	Peso inicial del camión mezclador
1	Cemento	Valor	Valor
2	Cemento	Valor	Valor

Tabla 22. Tabla de datos finales de las pruebas del sistema de dosificación de cemento

Número de prueba	Peso final marcado en el sistema	Peso final del camión mezclador	Peso neto conseguido
1	Valor	Valor	Valor
2	Valor	Valor	Valor

Tabla 23. Tabla de porcentaje de error de las pruebas del sistema de dosificación de cemento

Número de prueba	% error
1	Valor
2	Valor

6.1.4. Pruebas del sistema de dosificación de agua

Para probar el sistema de dosificación de agua se sigue el mismo procedimiento, teniendo en cuenta que la densidad del agua es equivalente a 1 Kg/L se tiene que el volumen final será igual al peso conseguido en Kg. Los datos son recopilados en las tablas 24, 25 y 26.

Tabla 24. Tabla de datos iniciales de las pruebas del sistema de dosificación de cemento

Número de prueba	Material usado	Volumen ingresado en el sistema	Peso inicial del camión mezclador
1	Agua	Valor	Valor
2	Agua	Valor	Valor

Tabla 25. Tabla de datos finales de las pruebas del sistema de dosificación de cemento

Número de prueba	Volumen final marcado en el sistema	Peso final del camión mezclador	Volumen neto conseguido
1	Valor	Valor	Valor
2	Valor	Valor	Valor

Tabla 26. Tabla de porcentaje de error de las pruebas del sistema de dosificación de agua

Número de prueba	% error
1	Valor
2	Valor

6.1.5. Pruebas del sistema de dosificación de aditivos

No se realizaron porque la planta no contaba con aditivos disponibles al momento de llevar a cabo las pruebas.

6.1.6. Pruebas de dosificación de hormigón

Una vez corroboradas las pruebas de dosificación de cada sistema, se realizaron dos pruebas de dosificación de concreto cuyos datos son recogidos en las tablas 27 y 28.

Tabla 27. Tabla de la primera prueba de dosificación de hormigón

Número de prueba	Material usado	Peso ingresado	Peso conseguido	%error
1	Grava	valor	valor	valor
2	Arena	valor	valor	valor
3	Cemento	valor	valor	valor
4	Agua	valor	valor	valor

Tabla 28. Tabla de la segunda prueba de dosificación de hormigón

Número de prueba	Material usado	Peso ingresado	Peso conseguido	%error
1	Grava	valor	valor	valor
2	Arena	valor	valor	valor
3	Cemento	valor	valor	valor
4	Agua	valor	valor	valor

6.1.7. Pruebas de revenimiento

Posteriormente se realiza una prueba de revenimiento que consiste en medir el asentamiento que presenta la mezcla fresca al quitársele un molde en forma cónica conocido como cono de Abrahms, la diferencia de altura entre el molde y la que adquiere la mezcla después de quitársele determina el revenimiento, el cual se expresa en centímetros, la prueba es satisfactoria si el concreto permanece intacto y simétrico luego

de retirar el molde, si la muestra colapsa en dos intentos el hormigón no tiene la plasticidad y cohesión requeridos.

Se tomaron tres muestras del concreto elaborado, la tabla 29 se aplica para verificar que esta prueba ha sido superada.

Tabla 29. Prueba de revenimiento en dosificación de 1 metro cúbico de hormigón

Número de prueba	Asentamiento	Prueba pasada
1	Valor centímetros	Si pasa / No pasa
2	Valor centímetros	Si pasa / No pasa
3	Valor centímetros	Si pasa / No pasa

6.2. Resultados

6.2.1. Resultados del sistema de dosificación de grava

En la tabla 30 se visualizan los datos iniciales previos.

Tabla 30. Tabla de datos iniciales del sistema de dosificación de grava

Número de prueba	Material usado	Peso ingresado en el sistema	Peso inicial del camión mezclador
1	Grava	695 Kg	13230 Kg
2	Grava	560 Kg	13230 Kg

Una vez dosificado el material el camión mezclador es pesado nuevamente, los datos de esta medición se ilustran en la tabla 27.

Tabla 31. Tabla de resultados del sistema de dosificación de grava

Número de prueba	Peso final marcado en el sistema	Peso final del camión mezclador	Peso neto conseguido
1	704 Kg	13939 Kg	709 Kg
2	567 Kg	13802 Kg	572 Kg

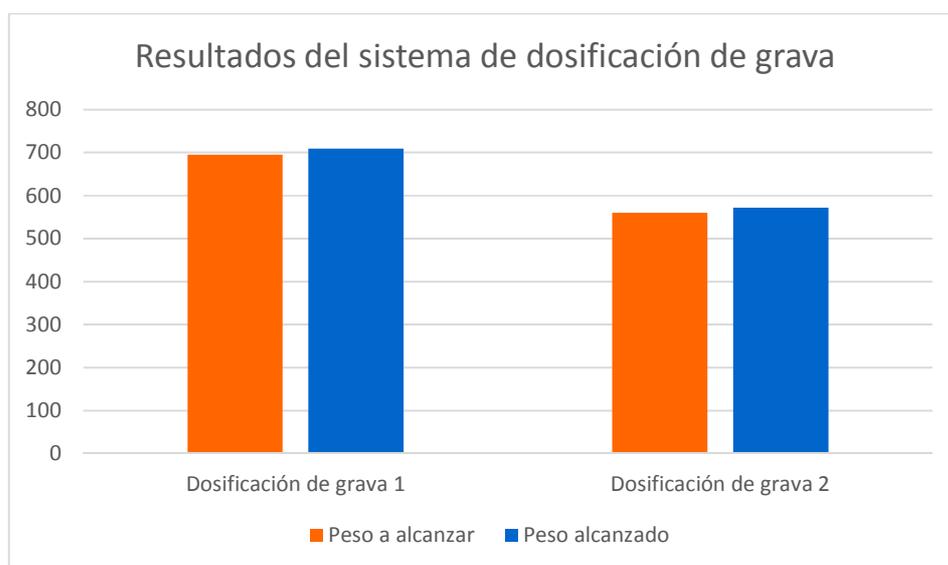


Figura 129. Resultados del sistema de dosificación de grava

En la figura 129 se observa que el peso alcanzado es ligeramente mayor al peso deseado, en la tabla 32 observamos que el porcentaje de error es menor al 2%.

Tabla 32. Resultado del porcentaje de error del sistema de dosificación de grava

Número de prueba	% error
1	1.97%
2	1.79%

6.2.2. Resultados del sistema de dosificación de arena

Los resultados obtenidos de la pruebas de dosificación de arena se ilustran en las tablas 33, 34 y 35.

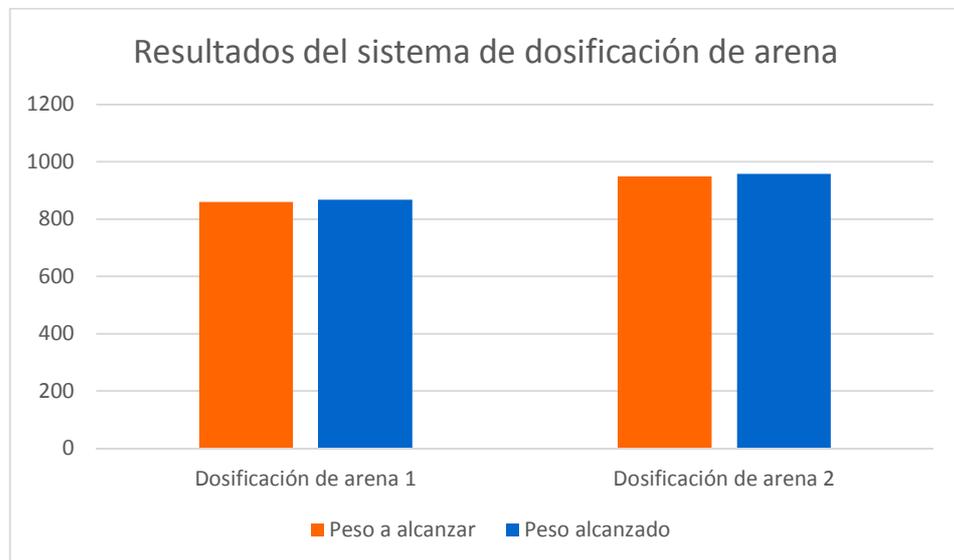
Tabla 33. Tabla de datos iniciales del sistema de dosificación de arena

Número de prueba	Material usado	Peso ingresado en el sistema	Peso inicial del camión mezclador
1	Arena	860 Kg	13230 Kg
2	Arena	950 Kg	13230 Kg

Tabla 34. Tabla de resultados del sistema de dosificación de arena

Número de prueba	Peso final marcado en el sistema	Peso final del camión del mezclador	Peso neto conseguido
1	865 Kg	14098 Kg	868 Kg
2	954 Kg	14188 Kg	958 Kg

En la figura 130 se observa que el peso alcanzado es ligeramente mayor al peso deseado, en la tabla 35 observamos que el porcentaje de error es menor al 1%.

**Figura 130. Resultados del sistema de dosificación de arena****Tabla 35. Resultado del porcentaje de error del sistema de dosificación de arena**

Número de prueba	% error
1	0.92%
2	0.84%

El sistema de dosificación de arena ha cumplido las expectativas del sistema de control.

6.2.3. Resultados del sistema de dosificación de cemento

Los resultados obtenidos de la pruebas de dosificación de cemento se ilustran en las tablas 33, 34 y 35.

Tabla 36. Tabla de datos iniciales del sistema de dosificación de cemento

Número de prueba	Material usado	Peso ingresado en el sistema	Peso inicial del camión mezclador
1	Cemento	460 Kg	13230 Kg
2	Cemento	240 Kg	13230 Kg

Tabla 37. Tabla de resultados del sistema de dosificación de cemento

Número de prueba	Peso final marcado en el sistema	Peso final del camión mezclador	Peso neto conseguido
1	463 Kg	13694 Kg	464 Kg
2	243 Kg	13473 Kg	243 Kg

En la figura 131 se observa que el peso alcanzado es ligeramente mayor al peso deseado, en la tabla 38 observamos que el porcentaje de error es menor al 2%.

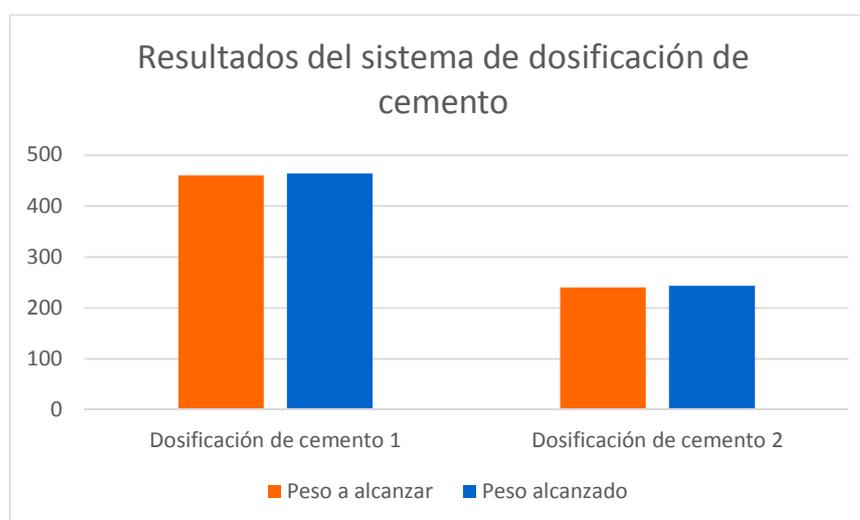


Figura 131. Resultados del sistema de dosificación de cemento

Tabla 38. Resultado del porcentaje de error del sistema de dosificación de cemento

Número de prueba	% error
1	0.86%
2	1.23%

6.1.8. Resultados del sistema de dosificación de agua

Los resultados obtenidos de la pruebas de dosificación de agua se ilustran en las tablas 39, 40 y 41.

Tabla 39. Tabla de datos iniciales del sistema de dosificación de agua

Número de prueba	Material usado	Volumen ingresado en el sistema	Peso inicial del camión mezclador
1	Agua	190 L	13230 Kg
2	Agua	150 L	13230 Kg

Tabla 40. Tabla de resultados del sistema de dosificación de agua

Número de prueba	Peso final marcado en el sistema	Peso final del camión mezclador	Volumen neto conseguido
1	193 L	13422 Kg	192 L
2	150,4 L	13381 Kg	151 L

En la figura 130 se observa que el peso alcanzado es ligeramente mayor al peso deseado, en la tabla 35 observamos que el porcentaje de error es menor al 2%.

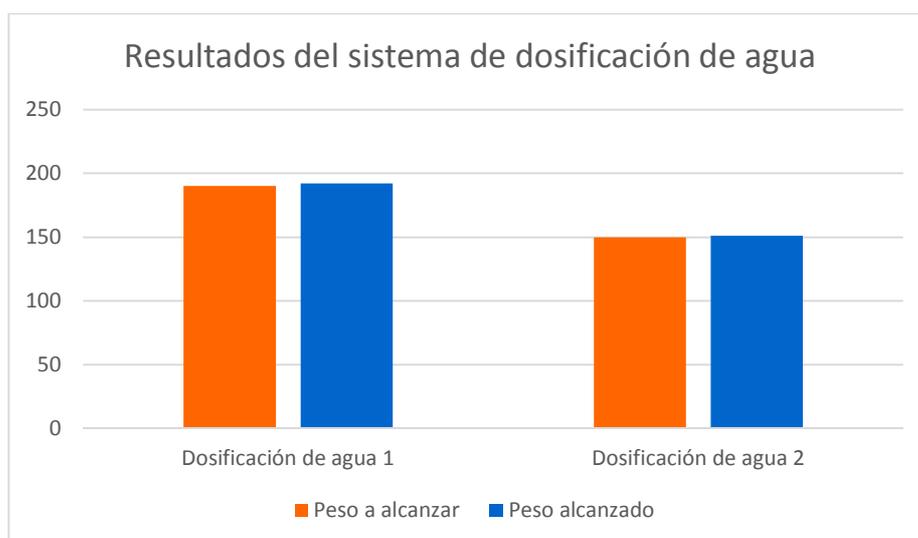


Figura 132. Resultados del sistema de dosificación de agua

Tabla 41. Resultado del porcentaje de error del sistema de dosificación de agua

Número de prueba	% error
1	1.04%
2	0.66%

El sistema de dosificación de agua ha cumplido las expectativas del sistema de control.

6.1.9. Resultados de dosificación de hormigón

Una vez corroboradas las pruebas de dosificación de cada sistema, se realizaron dos pruebas de dosificación de concreto cuyos datos son recogidos en las tablas 42 y 43.

Tabla 42. Tabla de resultados de dosificación de agregados en la primera fórmula

Número de prueba	Material usado	Peso ingresado	Peso conseguido	%error
1	Grava	1095 Kg	1101 Kg	0,54%
2	Arena	855 Kg	858 Kg	0,34%
3	Cemento	240 Kg	245 Kg	2,08%
4	Agua	155 L	157 L	1,29%

Tabla 43. Tabla de resultados de dosificación de agregados en la segunda fórmula

Número de prueba	Material usado	Peso/volumen ingresado	Peso/volumen conseguido	%error
1	Grava	985 Kg	992 Kg	0,71%
2	Arena	870 Kg	874 Kg	0,45%
3	Cemento	230 Kg	233 Kg	1,28%
4	Agua	150 L	151 L	0,66%

Los resultados obtenidos son satisfactorios pues el sistema ha dosificado los materiales dentro de los rangos propuestos consiguiendo errores de menos del 3%. En la figura 133 se incluye el detalle del reporte generado por el sistema para estas dos dosificaciones.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Record	Date	UTC Time	SP_grava	PV_grava	Humedad_grava	Absorcion_grava
2	1	5/10/2015	14:22:04	1095	1101	0	0
3	2	5/10/2015	14:54:55	985	992	0	0
4	//END						

	H	I	J	K	L	M
SP_arena	PV_arena	Humedad_arena	Absorcion_arena	SP_cemento_1	PV_cemento_1	
855	858	0	0	240	245	
870	874	0	0	230	233	

	N	O	P	Q	R	S	T
SP_cemento_2	PV_cemento_2	SP_agua	PV_agua	SP_aditivos	PV_aditivos	SP_TOTAL	
	0	0	155	157	0	0	1
	0	0	150	151	0	0	1

	U	V	W	X
PV_TOTAL	Total_Lotes	Numero_de_lote	M3_lote	
1.00682	1	1	1	
1.00671	1	1	1	

Figura 133. Detalle del reporte generado por el sistema de control

6.2.4. Resultados de las pruebas de revenimiento

Los resultados de la prueba final corresponden a la prueba de revenimiento del concreto, se tomaron 3 ensayos y se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 44.

Tabla 44. Tabla de resultados de la prueba de revenimiento

Número de prueba	Asentamiento	Prueba pasada
1	15 cm	Si pasa
2	16 cm	Si pasa
3	16 cm	Si pasa



Figura 134. Prueba de revenimiento realizada



Figura 135. Resultado de la prueba de la revenimiento

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

Se ha logrado diseñar e implementar el sistema de control para la planta dosificadora de hormigón de la empresa Asphalt Plants S.A. a partir de la caracterización de los procesos de la planta y el análisis de los sistemas mecánicos, eléctricos y neumáticos brindando a la empresa un sistema robusto, económico y fiable.

Las pruebas realizadas corroboran el buen funcionamiento del sistema, obteniéndose un margen de error menor al 1% en las dosificaciones.

El sistema brinda la ventaja de crear reportes de trabajo, permitiendo obtener información del proceso como: horas de despacho, fórmula utilizada, cantidad de material despachado, número de lotes conseguidos y número de lotes totales. Información que resulta útil para realizar gestiones de administración de material.

El controlador lógico programable y sus respectivos módulos de expansión escogidos para la implementación del sistema de control han demostrado ser altamente flexibles al permitir realizar diversas configuraciones para lograr adaptar las condiciones de trabajo a conveniencia.

Así como para ingenieros en sistemas el uso de diagramas de flujo previo a la programación resulta una herramienta bastante útil, para los ingenieros electrónicos en automatización y control el empleo de GRAFCET hace que la programación de controladores lógicos programables resulte comprensible y robusta, además el tiempo empleado en la elaboración de estos, resulta en una disminución del tiempo de programación de los dispositivos y aporta un mejor entendimiento del sistema permitiendo la determinación de posibles fallos o incongruencias.

Las herramientas de software de ingeniería Solidworks Electrical y Autocad permitieron elaborar los diferentes esquemas y planos eléctricos que se han diseñado para futuras referencias del sistema.

El sistema de control para la planta dosificadora de hormigón ha permitido reducir en 50% el tiempo empleado en realizar un bache de producción, mejorando así, tiempos de entrega de la producción total.

7.2. Recomendaciones

A pesar de que el sistema cuenta con las protecciones adecuadas para su funcionamiento, no está de más incorporar elementos de seguridad adicionales como accionamientos de paro de emergencia remotos en lugares propensos a cualquier accidente e indicadores luminosos cuando se van a realizar maniobras de control en la planta.

Se recomienda realizar calibraciones de la planta por lo menos una vez al año para asegurar que las dosificaciones de los materiales se mantengan uniformes en todos los trabajos a realizar.

Para la ampliación del sistema hay que tener en cuenta las limitaciones de las licencias en cuanto al número de tags y funcionalidades que permiten.

Se recomienda usar la función de horómetros incorporada al sistema para conocer el tiempo de funcionamiento de cada elemento y decidir si es necesario realizar algún cambio o mantenimiento.

Como una mejora adicional al sistema se puede incorporar una red privada virtual que permita transferir de forma segura los datos de producción de la planta a clientes remotos a través de internet.

REFERENCIAS

- A.M. Neville, J. B. (2010). *Concrete Technology*. Prentice Hall.
- Arthur H. Nilson. (1999). *Diseño de Estructuras de Concreto*. Santafé de Bogotá, Colombia: McGRAW-HILL INTERAMERICANA S.A.
- Cámara de la Industria de la construcción. (23 de septiembre de 2014). Obtenido de <http://www.camicon.ec/index.php/la-institucion/sobre-la-camara>
- <http://www.investigacion.frc>. (2015, 7 19). Retrieved from <http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar>:
http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/sensores/Caudal/Principios/Caudal_Sensores.pdf
- LAFARGE. (2010). Criterios para determinar la resistencia de diseño de las mezclas de hormigón en laboratorio: f'cr. 9.
- Proaño, I. M. (2014, octubre 29). Retrieved from <http://publiespe.espe.edu.ec/academicas/hormigon/hormigon01.htm>
- Siemens. (2015, 03 02). *Siemens*. Retrieved from www.automation.siemens.com:
http://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/brochure/es/brochure_simatic-controller_overview_es.pdf
- Sika. (2007). Manual del Hormigón Sika. 152.
- Universo, E. (2014, 11 4). *El universo*. Retrieved from www.eluniverso.com:
<http://www.eluniverso.com/noticias/2014/04/23/nota/2815506/sectores-construccion-petroleo-minas-dinamizaron-crecimiento>
- www.ipc.org. (2014, 11 15). *Institu de Promoció Cerámica*. Retrieved from www.ipc.org:
http://www.ipc.org.es/guia_colocacion/info_tec_colocacion/mat_agarre/adherencia/mecanica.html

ACTA DE ENTREGA

Este proyecto fue entregado en la Dirección de la Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control y reposa en la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, desde:

Sangolquí, 31 DE JULIO del 2015

ELABORADO POR:



RICARDO FELIPE MORALES RUBIO

171465140-1

AUTORIDAD:



Ing. Luis Orozco Msc.



DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL
