

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**

**Escuela de Ingeniería Electromecánica**



**Corporativo CETRANSA**

**“Diseño de la automatización del proceso de dosificación y mezcla de una planta de concreto para incrementar su calidad”**

**Informe de Práctica de Especialidad para optar por el Título de Ingeniería en  
Mantenimiento Industrial, grado Licenciatura**

**Marvin Andrés Pérez Sancho**

**200300518**

**Cartago Noviembre, 2014**

## **Información del estudiante y de la empresa**

---

Nombre: Marvin Andrés Pérez Sancho

Cédula o No. Pasaporte: 303970562

Carné ITCR: 200300518

Dirección de su residencia en época lectiva: 200 metros norte del cementerio de Curridabat, contiguo a la cruz roja costarricense.

Dirección de su residencia en época no lectiva: 125 metros sur de la entrada principal, residencial El Coyol, casa 14-A.

Teléfono en época lectiva: 8810-8589 / 2296-4343

Teléfono época no lectiva: 8810-8589 / 2556-5611

Email: marvinperezsancho@hotmail.es

Fax: 2296-4545

### **Información del Proyecto:**

---

Nombre del Proyecto: “Diseño de la automatización del proceso de dosificación y mezcla de una planta de concreto para incrementar su calidad”

Profesor Asesor: Lisandro Araya Rodríguez

Horario de trabajo del estudiante: L-M-V (8:00am-03:00pm)

### **Información de la Empresa:**

---

Nombre: Corporativo CETRANSA

Zona: La Urúca

Dirección: 100 metros Este y 100 metros Norte de la Fábrica Pozuelo La Urúca, San José, Costa Rica

Teléfono: 2296-4343

Fax: 2296-4545

Apartado: 38-1150

Actividad Principal: Comercialización de motores eléctricos e implementos para la industria.

## **Dedicatoria**

---

Este proyecto de graduación está dedicado a Dios y a todas las personas que me ayudaron de una u otra forma a luchar para alcanzar mis sueños.

Aquí inicia la mejor etapa de mi vida, bienvenida sea.

Marvin Andrés Pérez Sancho

12 de Noviembre del 2014

## **Agradecimiento**

---

A mi amada madre Ana Julieta Sancho Vargas y a mis hermanos Manrique y Marcela.

A mis preciosos hijos Luis Alejandro y Valeria quienes han sido mi mayor impulso durante todo este tiempo.

A mi más fiel seguidor, mi abuelo materno Juvenal Sancho Cambronero.

A Yare a quien desde el momento en que la conocí ha sido mi máxima motivadora.

A mis compañeros de carrera, que de una u otra forma influyeron en mi crecimiento personal, académico y profesional.

A todos los profesores que influyeron a lo largo de mi carrera porque formaron las bases profesionales que permitieron crear en mí una mentalidad que busca siempre mejorar mi desarrollo personal y el de nuestro país.

Con este proyecto se cierra una etapa muy difícil de mi vida, con un sinnúmero de pruebas que intentaron boicotear el éxito a toda costa. Sin embargo, también fue un periodo excepcional de aprendizaje y esfuerzo, que permitió mostrar los valores que forjaron mi personalidad.

Marvin Andrés Pérez Sancho

12 de Noviembre del 2014

## Tabla de Contenido

Capítulo 1. Introducción .....	1
1.1    Empresa “CORPORATIVO CETRANSA” .....	1
1.1.1    División Comercial .....	1
1.1.2    División de mecánica de precisión .....	2
1.1.3    División de Metalmecánica .....	2
1.1.4    División de Bandas .....	2
1.1.5    División de control y automatización .....	3
1.1.6    División de proyectos .....	3
1.2    Definición del problema. ....	5
1.2.1    Características de la planta. ....	5
1.2.2    El Problema.....	8
1.2.3    Justificación del proyecto. ....	11
Capítulo 2. Objetivos .....	12
2.1    Objetivo general .....	12
2.2    Objetivos específicos:.....	12
Capitulo 3. Metodología .....	13
Capitulo 4. Marco Teórico.....	15
4.1    Definición de concreto. ....	15
4.2    Aditivos para concreto.....	16
4.3    Tipos de aditivos para concreto.....	17
4.3.1    Aditivos impermeabilizantes .....	17
4.3.2    Aditivos retardadores.....	18
4.4    Proporcional integral derivativo (PID).....	19
4.4.1    Funcionamiento .....	19
4.4.2    Proporcional.....	21
4.4.3    Integral .....	21
4.4.4    Derivativo .....	22
Capitulo 5. Desarrollo del proyecto.....	24
5.1    Solución.....	24
5.2    Composición de una de las mezclas de concreto utilizada en la planta de concreto Pan de Azúcar de FCC.....	38
5.3    Dimensiones de las estructuras que comprenden el sistema de mezcla y bombeo sobre el cual se va a desarrollar la automatización.....	39

5.4	Cálculos y selección de componentes de la banda transportadora de agregados...	40
5.4.1	Cálculo y selección del motorreductor de la banda de agregados.....	40
5.4.2	Selección del sistema electrónico de pesaje tolva de grava y arena.....	44
5.4.3	Selección del sistema luminoso de indicación de llenado tolva de grava y arena. 47	
5.4.4	Selección del monitor de peso tolva de grava y arena.....	48
5.4.5	Selección de la bocina de alarma de peso tolva de grava.....	49
5.5	Cálculos y selección de componentes del mezclador principal.....	50
5.5.1	Cálculo y selección del motor eléctrico del motorreductor del mezclador.....	50
5.5.2	Selección del sensor óptico tolva camión mezclador.....	53
5.5.3	Selección del sensor de posición camión mezclador.....	54
5.6	Cálculos y selección de componentes Tornillo Sinfín del Silo de Cemento.....	55
5.6.1	Selección del motorreductor del tornillo sinfín del silo.....	55
5.7	Cálculos y selección de componentes del tanque de Aditivo A.....	59
5.7.1	Selección de la bomba de trasiego de aditivo A.....	59
5.7.2	Cálculo y selección del motor eléctrico de la bomba de trasiego de aditivo A..	60
5.8	Cálculos y selección de componentes del tanque de Aditivo B.....	62
5.8.1	Selección de la bomba de trasiego de Aditivo B.....	62
5.8.2	Cálculo y selección del motor eléctrico de la bomba de trasiego de Aditivo B.	63
5.9	Cálculos y selección de componentes del tanque de Agua.....	65
5.9.1	Selección de la bomba de trasiego de Agua.....	65
5.9.2	Cálculo y selección del motor eléctrico de la bomba de trasiego de Agua.....	66
5.10	Cálculos y selección de componentes del tanque de Agente Limpiador.....	68
5.10.1	Selección de la bomba de trasiego de Agente Limpiador.....	68
5.10.2	Cálculo y selección del motor eléctrico de la bomba de trasiego de Agente Limpiador.....	69
5.11	Selección de los flujómetros (Caudalímetros).....	71
5.11.1	Selección del flujómetro del mezclador.....	71
5.11.2	Selección del flujómetro del silo de cemento.....	72
5.11.3	Selección del flujómetro del tanque de agua.....	73
5.11.4	Selección de los flujómetros de los tanques de Aditivos A y B, y del tanque de Agente Limpiador.....	74
5.12	Selección de los Sensores de Nivel.....	76
5.12.1	Selección de los sensores de nivel del silo de cemento.....	76
5.12.2	Selección de los sensores de nivel del tanque de agua, de los tanques de Aditivos A y B, y del tanque Agente Limpiador.....	78
5.13	Cálculo de las potencias del sistema eléctrico.....	80
5.14	Selección de los variadores de frecuencia para el control de los motores trifásicos de alta eficiencia del sistema.....	81
5.15	Selección de las protecciones de los variadores de frecuencia para el control de los motores trifásicos de alta eficiencia del sistema.....	82

5.16	Selección del controlador lógico programable. ....	85
5.17	Diseño de la lógica del PLC. ....	86
5.17.1	Codificación Grafcet.....	86
5.17.2	Diseño del Grafcet .....	90
5.18	Selección de la pantalla touchscreen. ....	99
5.19	Motores de Alta eficiencia y variadores de frecuencia. ....	100
Capitulo 6. Estudio de Costos.....		101
Capitulo 7. Propuestas de Mejora .....		105
7.1	Proceso de boleta de datos.....	105
7.2	Tratamiento de aguas.....	108
7.3	Sistema de Retorno.....	109
Capitulo 8. Conclusiones .....		110
Capitulo 9. Bibliografía .....		111
5.1.1	Libros .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
5.1.2	Sitios web.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Capitulo 10. Anexos, apéndices, cuadros, gráficos, etc. ....		112
10.1	Características del motor seleccionado para el motoreductor del silo de cemento 112	
10.2	Características del motor seleccionado para la banda transportadora de agregados. ....	113
10.3	Características del motor seleccionado para el motoreductor del mezclador... 114	
10.4	Características del motor seleccionado para la bomba de trasiego Aditivo A.. 115	
10.5	Características del motor seleccionado para la bomba de trasiego de Aditivo B. 116	
10.6	Características del motor seleccionado para la bomba de trasiego de Agua. ... 117	
10.7	Características del motor seleccionado para la bomba de trasiego de Agente Limpiador.....	118

## Índice de tablas

Tabla 1. Personal de la Planta.....	8
Tabla 2. Proporción de la dosificación. Mezcla M15. ....	38
Tabla 3. Densidades de los componentes utilizados en la planta de concreto. ....	38
Tabla 4. Dimensiones de los tanques, Tolvas, Banda Transportadora y tuberías de la planta de concreto de FCC. ....	39
Tabla 5. Datos técnicos Motoreductor y componentes de la banda de agregados. ....	40
Tabla 6. Totales de peso en kg de los agregados para aproximadamente 20 m3 de concreto.....	40
Tabla 7. Cálculos de Velocidades, tiempos y pesos de la banda transportadora de agregados.....	41
Tabla 8. Continuación cálculos de Velocidades, tiempos y pesos de la banda transportadora de agregados. ....	42
Tabla 9. Datos de aplicación y cálculos para la selección del motor eléctrico del motoreductor de la banda transportadora de agregados. ....	42
Tabla 10. Cálculos auxiliares para la selección del motor eléctrico del motoreductor de la banda transportadora de agregados. ....	43
Tabla 11. Cálculos auxiliares de velocidad angular empleados en la selección del motor de la banda transportadora de agregados. ....	43
Tabla 12. Datos cálculos para la selección del motor eléctrico del motoreductor de la banda transportadora de agregados. ....	43
Tabla 13. Especificaciones técnicas, tolva modelo VTBEI-8.....	46
Tabla 14. Descripción de la función de cada uno de los colores.....	47
Tabla 15. Porcentaje de variación de los colores del sistema luminoso tipo semáforo para el control de llenado en las tolvas de agregados. Fuente: Diseño propio. ....	48
Tabla 16. Datos técnicos Motoreductor y componentes del mezclador de concreto. ....	50
Tabla 17. Datos de aplicación y cálculos para la selección del motor eléctrico del motoreductor del mezclador de concreto. Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico empleado para el movimiento del mezclador de concreto. ....	51
Tabla 18. Cálculos auxiliares para la velocidad tangencial de selección del motor eléctrico del motoreductor del mezclador de concreto. Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo de la velocidad tangencial para la selección del motor eléctrico empleado en el movimiento del mezclador de concreto. ....	52
Tabla 19. Cálculos del área de los brazos del motoreductor del mezclador de concreto de la planta. ....	52
Tabla 20. Datos cálculos para la selección de la potencia del motor eléctrico del motoreductor del mezclador de concreto de la planta. Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico empleados en el movimiento del motoreductor del mezclador de concreto.....	52
Tabla 21. Datos técnicos Motoreductor y componentes del tornillo sinfín del silo de cemento.....	55
Tabla 22. Datos y cálculos sobre el tornillo sinfín del silo de cemento. ....	56
Tabla 23. Datos de aplicación y cálculos para la selección del motor eléctrico del motoreductor del mezclador de concreto. Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico empleados para el movimiento del mezclador de concreto. ....	57
Tabla 24. Cálculo auxiliar para determinar la producción del tornillo sinfín. ....	57

Tabla 25. Datos y cálculos de velocidad del tornillo sinfín para establecer los RPM de operación. ....	58
Tabla 26. Datos calculados para la selección del motor del motoreductor del mezclador de concreto. ....	58
Tabla 27. Datos técnicos Motor de la bomba de trasiego de Aditivo A.....	59
Tabla 28. Datos y cálculos del sistema para el bombeo de aditivo A, para la selección del motor eléctrico de la bomba de aditivo A. Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico empleados para el movimiento de la bomba del tanque de aditivo A. ....	60
Tabla 29. Datos de aplicación y cálculos del sistema para el bombeo de aditivo A, para la selección del motor eléctrico de la bomba de aditivo A. Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico empleados para el movimiento de la bomba del tanque de aditivo A.....	61
Tabla 30. Datos calculados para la selección del motor eléctrico de la bomba de aditivo A.....	61
Tabla 31. Datos técnicos Motor de la bomba de trasiego de Aditivo B.....	62
Tabla 32. Datos y cálculos del sistema para el bombeo de aditivo B, para la selección del motor eléctrico de la bomba de aditivo B. Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico empleados para el movimiento de la bomba del tanque de aditivo B. ....	63
Tabla 33. Datos de aplicación y cálculos del sistema para el bombeo de aditivo B, para la selección del motor eléctrico de la bomba de aditivo B. Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico empleados para el movimiento de la bomba del tanque de aditivo B. ....	64
Tabla 34. Datos calculados para la selección del motor eléctrico de la bomba de aditivo B. ....	64
Tabla 35. Datos técnicos Motor de la bomba de trasiego de agua. ....	65
Tabla 36. Datos y cálculos del sistema para el bombeo de agua, para la selección del motor eléctrico de la bomba de agua. Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico empleado para el movimiento de la bomba del tanque de agua.....	66
Tabla 37. Datos de aplicación y cálculos del sistema para el bombeo de agua, para la selección del motor eléctrico de la bomba de agua. Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico empleados para el movimiento de la bomba del tanque de agua. ....	67
Tabla 38. Datos calculados para la selección del motor eléctrico de la bomba de agua. ....	67
Tabla 39. Datos técnicos Motor de la bomba de trasiego de agente limpiador.....	68
Tabla 40. Datos y cálculos del sistema para el bombeo de agua, para la selección del motor eléctrico de la bomba de agente limpiador. Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico empleado para el movimiento de la bomba del tanque de agente limpiador.....	69
Tabla 41. Datos de aplicación y cálculos del sistema para el bombeo de agente limpiador, para la selección del motor eléctrico de la bomba de agente limpiador. Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico empleados para el movimiento de la bomba del tanque de agente limpiador. ....	70
Tabla 42. Datos calculados para la selección del motor eléctrico de la bomba de agente limpiador.....	70
Tabla 43 Datos de voltaje y corriente de los motores propuestos en la planta de concreto, FCC. Calculo de potencia activa (P), potencia reactiva (Q) y potencia aparente (S), Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo de las potencias del sistema. ....	80
Tabla 44. Selección de los variadores de frecuencia maraca WEG, respectivos para cada motor.....	81
Tabla 45. Selección de los variadores de frecuencia maraca WEG, respectivos para cada motor.....	82
Tabla 46. Continuación selección de los variadores de frecuencia maraca WEG, respectivos para cada motor. ....	83
Tabla 47. Características del diseño del sistema de datos recopilados de la planta de concreto.....	107



## Índice de Figuras

---

Figura 1. Visualización del panel de control y operación, cabina de operaciones, planta de concreto.....	25
Figura 2. Visualización de la interfaz de selección de tipo de mezcla.....	26
Figura 3. Visualización de la interfaz de selección de tipo de mezcla “PROGRAMADA”, mezclas establecidas por defecto. Fuente: Diseño propio.....	27
Figura 4. Visualización de la interfaz de selección de tipo de mezcla. “SELECCIONADA”, mezclas establecidas manualmente. La dosificación de la mezcla deseada es regulada paso por paso. Fuente: Diseño propio.....	27
Figura 5. Visualización de la interfaz de selección de velocidad y tiempo de mezclado. Fuente: Diseño propio. .	28
Figura 6. Visualización de la interfaz de monitoreo. Fuente: Diseño propio.....	28
Figura 7. Bascula electrónica del sistema electrónico de pesaje.....	29
Figura 8. Representación del sistema de iluminación tipo semáforo para el control de llenado de las tolvas de agregados.....	30
Figura 9. Representación grafica de un sistema de bombeo de agua.....	32
Figura 10. Representación grafica de la posición de los sensores de nivel de los tanques de Aditivos y el tanque de agente limpiador. Fuente: Diseño propio.....	34
Figura 11. Representación grafica de la posición de los sensores de nivel en el silo de cemento. Fuente: Diseño propio.....	34
Figura 12. Representación grafica de la posición de los sensores de nivel en el tanque de agua.....	34
Figura 13. Representación grafica del despacho de producto en una planta de concreto con un camión mezclador.....	36
Figura 14. Visualización de la interfaz de limpieza del mezclador.....	37
Figura 15. Tolva modelo VTBEI-8 con sistema de pesaje electrónico y apertura de despacho por medio de compuertas neumáticas. Fuente: Catalogo Grupo Víctor. <a href="http://www.grupovictor.com">www.grupovictor.com</a> .....	45
Figura 16. Ejemplo de visualización, tolvas de agregados.....	45
Figura 17. Pantalla principal de la tolva modelo VTBEI-8.....	46
Figura 18. Monitor principal para las tolvas de agregados marca Hatteland, modelo JH 19T14, Marca: MMD MARITIME MULTI DISPLAY 19.0 inches. Fuente: Catalogo <a href="http://www.lavastica.com/">http://www.lavastica.com/</a> .....	48
Figura 19. Avisador de claxon continuo marca Rodman Modelo S-67 C.....	49
Figura 20 Sensor ultrasónico de proximidad, SIMATIC PXS. Fuente: Catalogo de automatización SIEMENS. <a href="https://www.automation.siemens.com/">https://www.automation.siemens.com/</a> .....	53
Figura 21 Sensor ultrasónico de proximidad, SIMATIC PXS. Fuente: Catalogo de automatización SIEMENS. <a href="https://www.automation.siemens.com/">https://www.automation.siemens.com/</a> .....	53
Figura 22 Sensor capacitivo KI5084.....	54
Figura 23. Caudalímetro de concreto, tipo Sonar.....	72
Figura 24. Caudalímetro para sólidos, SITRANS WF 100.....	73
Figura 25. Caudalímetro de agua, tipo Woltmann.....	74
Figura 26. Flujómetro para las tuberías de Aditivo A, tubería de Aditivo B y la tubería de Agente Limpiador. ..	76
Figura 27. Sensor de nivel capacitivo para sólidos granulados.....	78

Figura 28. Sensor de nivel capacitivo para líquidos. ....	79
Figura 29. Interruptores en caja moldeada WEG, Línea DW. ....	83
Figura 30. Fusibles ultrarápidos WEG, Línea NH-aR. ....	84
Figura 31. Fusibles ultrarápidos WEG, Línea NH-aR. ....	85
Figura 32 Pantalla Kinco MT MT5323T-MPI.....	99
Figura 33 Ejemplo de un motor trifásico Premium de alta eficiencia IE3 marca WEG. Variador CFW11, marca WEG. Fuente: <a href="http://www.weg.net/ar">http://www.weg.net/ar</a> .....	100
Figura 34. Ejemplo grafico del desarrollo de un proceso de una red de transferencia de datos.....	105
Figura 35. Ejemplo grafico de un tanque de tratamiento de agua en una planta de concreto. Sedimentador – Desarenador. Fuente: <a href="http://odisa.com/">http://odisa.com/</a> .....	108
Figura 36. Ejemplo grafico de un sistema de retorno en una tubería.....	109

## Resumen

---

La empresa FCC (Fomento de Construcciones y Contratas) mantiene habilitada actualmente una planta de concreto para el abastecimiento del proyecto hidroeléctrico Chucás del ICE, localizado en el pueblo de pan de azúcar, Orotina.

La planta cuenta con un mezclador y varios tanques proveedores de materia prima los cuales mediante el accionamiento manual de bombas hacen fluir los diferentes componentes al mezclador principal para ser combinados. Este sistema manual, hoy por hoy ocasiona grandes desventajas ya que produce grandes variaciones en las proporciones y en la calidad de la mezcla final que se requiere, provocando pérdidas, debido a que la calidad del producto depende de la apreciación de los operarios y de su criterio para regular las proporciones de las mezclas.

Hay diferentes tipos de productos los cuales tienen distintas concentraciones de agregados y aditivos según el tipo de concreto requerido, según la aplicación en el proyecto hidroeléctrico.

Se plantea la solución de la estabilización y optimización de la calidad del concreto mediante la automatización de todo el sistema de bombeo y dosificación de los componentes esenciales, agregados y aditivos para así garantizar la correcta proporción de los materiales en la mezcla final, así como la exacta moderación de los tiempos y velocidades de mezclado los cuales influyen directamente en el acabado del producto.

En el proyecto propuesto todos los sistemas serán totalmente regulados y controlados a través de un sistema computarizado el cual por medio de sensores y diferentes dispositivos electrónicos indicaran los parámetros necesarios para determinar la verdadera cantidad, homogeneidad y calidad de las diferentes mezclas que se requieren preparar y despachar en las raciones que se completan con el proceso de distribución a las diferentes zonas del proyecto en construcción mediante camiones mezcladores de despacho.

Palabras claves: mezclador, agregados, homogeneidad, calidad, automatización, dosificación, aditivos, mezclas, calidad de las mezclas.

## Abstract

---

The FCC Company has enabled supply the concrete to the hydroelectric project Chucás, property of the Costarrican Electric Institute, located in the village of Pan de Azúcar, Orotina.

The plant has a mixer and several raw material tanks. All the operation process is made by manual operation of pumps and electric motors, it make possible the flow of the different components run inside to the mixer to be combined. This manual system today produce big disadvantages because it have large variations in the proportions and quality of the final mix is required, causing losses due to the quality of the product depends on the operator stand skills and their criterion for regulating the proportions of mixtures.

There are different kinds of products with different concentrations of aggregates and additives according to the type of concrete required, depending on the application in hydroelectric project.

Solving the stabilization and optimization of concrete quality by automating the entire pumping system and dosage of the essential components, aggregates and additives to guarantee the correct proportion of material in the final mixture was raised and the moderation exact times and mixing speeds which directly influence the finished product.

In the proposed scheme, all systems will be fully regulated and controlled through a computerized system which via various electronic sensors and devices indicate the parameters required to determine the true amount, uniformity and quality of the different mixtures that are required to prepare and cleared through the portions that are completed with the distribution process to the different areas of the project under construction by mixer trucks office.

Keywords: mixer, aggregates, consistency, quality, automation, dosing additives, blends, mixes quality.

# **Capítulo 1. Introducción**

## **1.1 Empresa “CORPORATIVO CETRANSA”**

Central de Transmisiones S.A.(CETRANSA) es una empresa familiar totalmente costarricense que se inició hace aproximadamente 35 años en San José, Costa Rica con la venta de piezas mecánicas como piñones, poleas, cadenas, servicios de mecánica de precisión y fabricación de estructuras metalmecánicas para la industria nacional. Con el tiempo se fueron creando otros departamentos y otro tipo de productos como bandas transportadoras, cajas reductoras, motores eléctricos y dispositivos de control y potencia.

Conforme se iban añadiendo representaciones de prestigiosas marcas a nivel mundial para las diferentes gamas de productos, la empresa se vio en la necesidad de expandir sus horizontes para abarcar las necesidades del país. En este momento se decide unificar todos los departamentos para ofrecer una única empresa que se enfoque en el desarrollo industrial del país. A partir de aquí nació la corporación llamada CORPORATIVO CETRANSA. Esto generó novedosas implementaciones de sistemas de producción y mejores soportes para la producción a toda la manufactura, con el fin de brindar soluciones integrales de primer nivel.

A continuación se presenta una breve descripción de las divisiones del Corporativo CETRANSA:

### **1.1.1 División Comercial**

La división comercial ofrece al mercado costarricense una amplia oferta de productos para la industria de marcas líderes en varias líneas de equipo y repuestos como motores eléctricos de todo tamaño y especificación marca WEG, motoredutores, cajas reductoras y motovariadores de distintos tamaños de la marca italiana Motovario, cadenas y piñones para todas las necesidades y requerimientos, fajas y poleas de todo tipo en aluminio y hierro, elementos eléctricos y electrónicos para el control y la automatización, accesorios y elementos para equipo y maquinaria especializada.

### **1.1.2 División de mecánica de precisión**

CETRANSA tiene talleres de mecánica de precisión, fresado en tornos convencionales y CNC, fabricación de moldes, piñones y engranajes, cañeros, rodillos, con la capacidad de brindar servicio en el diseño, confección y montaje de todo tipo de piezas que requieran un trabajo preciso, fino y exacto. Además confeccionan y reparan moldes para la industria plástica, también producen productos en serie de materiales como acero, hierro, bronce, aluminio, teflón y baquelita. También se brinda el servicio de visita y control en esta área para distintas industrias que requieran una empresa dispuesta a atender sus emergencias y necesidades específicas en la producción, ajuste, modificación y suplencia de piezas muy específicas.

### **1.1.3 División de Metalmecánica**

En la división metalmecánica se trabaja en el diseño y construcción de conveyors y transportadores, así como estructuras especiales para equipos y procesos, con los mejores materiales y bajo un estándar de calidad de primer nivel. Se ofrece un producto que cumple con los más altos estándares de calidad, cumpliendo con normas tanto nacionales como extranjeras. En esta división se cuenta con los equipos necesarios para poder dar el servicio en soldadura, doblaje y confección de equipo de acuerdo con las especificaciones y directrices de los clientes, de manera que se obtenga un producto exacto al requerido.

Además se fabrican piezas a la medida de cualquier dimensión, en acero negro, acero inoxidable y aluminio, construcción de conveyors, racks y ductos, entre otras piezas.

### **1.1.4 División de Bandas**

Se especializa en el manejo del diseño, montaje y servicio de una amplia gama de bandas transportadoras, en todo tipo de materiales y diseños conforme al tipo de industria que la utiliza. Bandas para industria alimenticia, farmacéutica, construcción, plantas agroindustriales, plantas embotelladoras son algunas de las opciones. Se representan a las principales marcas de

bandas a nivel mundial, con la constante actualización en tecnologías y sistemas de acuerdo con las necesidades propias de cada industria.

Asimismo, se instalan bandas transportadoras de todo tipo, tamaño y según la necesidad del cliente. Además se ofrece la vulcanización en frío y caliente con servicio los 365 días del año y a toda hora.

### **1.1.5 División de control y automatización**

Esta división se ha especializado en el diseño, confección, montaje y mantenimiento de complejos sistemas de automatización y control eléctrico en equipos y maquinaria de todo nivel. Dentro de los trabajos realizados en proyectos tanto públicos como privados hay grandes proyectos de generación eléctrica así como delicados y precisos sistemas de control en la industria. Se cuenta con una amplia gama de materiales eléctricos y electrónicos de las mejores marcas, de manera que salga un producto de primera calidad, el cual sea confiable, seguro y al día con la tecnología y el desarrollo más moderno. El servicio a la industria busca optimizar consumos, sistemas, equipos y procesos, de manera que se pueda garantizar a los clientes un consumo eléctrico óptimo, un sistema de control seguro y una vida útil más larga para sus equipos.

Los proyectos de automatización a la medida comprenden desde la construcción de bancos de corrección de factor de potencia en baja tensión hasta la puesta en marcha de motores eléctricos, variadores de frecuencia y automatización de variadores para máquinas en proyectos como grúas, transportadores y bobinadoras.

En esta división se realizó el desarrollo de este proyecto de graduación.

### **1.1.6 División de proyectos**

Esta división conjunta las características, especialidades, experiencia y facultades de todas las otras divisiones, permitiendo ofrecer proyectos bajo el concepto de llave en mano o producto integral, conjugando todas las destrezas, materiales y equipos en una propuesta de acuerdo a la necesidad de cada cliente. Con base a la necesidad desarrollada en conjunto por

nuestros ingenieros y los del cliente, se logra plasmar en la realidad una idea que cubra un trabajo específico y necesario. Se cuenta con un amplio equipo multidisciplinario dispuesto a brindar a la industria una propuesta profesional, seria y de primer nivel.

Ingeniería y asesoría de proyectos con soluciones integrales de grandes proyectos que conjugan todas las áreas de servicio, en pos de proveer a la industria costarricense la respuesta a sus necesidades más complejas.

## 1.2 Definición del problema.

### 1.2.1 Características de la planta.

El proyecto de graduación seleccionado se desarrollará en una planta de concreto de carácter industrial, perteneciente a la empresa FCC, ubicada en el pueblo de pan de azúcar, Orotina. La planta es utilizada para proveer el concreto con el que se construye la planta hidroeléctrica Chucas perteneciente al Instituto Costarricense de Electricidad (I.C.E.).

La planta posee los siguientes elementos:

- a) Instalaciones para administración: Consisten en oficina para despacho de pedidos, oficina administrativa y laboratorio.
- b) Silo para cemento: Para el almacenamiento de cemento a granel, un silo con capacidad de 40 m<sup>3</sup>. Está dotado de ductos de entrada de cemento por su parte superior y salida inferior mediante un ducto de tipo “sinfín”, además de instalaciones eléctricas para los equipos y accesorios que complementan el sistema.
- c) Planta: La cual tiene elementos esenciales como:
  - Báscula para pesaje y dosificación del cemento que llega por los ductos de “sinfín”. Entrada de agua con medidor volumétrico.
  - Dosificador de aditivos.
  - Tolva para entrada de agregados.
  - Recipiente mezclador móvil de aspas para realizar una mezcla completa, con capacidad de 20 m<sup>3</sup>. Esta caja mezcladora se moviliza por medio de una compuerta hidráulica para el cargue de los camiones mezcladores.
  - Motores eléctricos y accesorios mecánicos para el funcionamiento de la planta.
  - Posee un rendimiento nominal de 450 m<sup>3</sup> / hora.

- d) Depósitos de aditivos: Son recipientes plásticos ubicados cerca de la planta, cuya finalidad es almacenar los diferentes tipos de aditivos que se mezclan con el concreto, para darle ciertas propiedades especiales. Estos recipientes se llenan periódicamente y no requieren ningún tipo de estructura o aditamento especial, dado que su dosificación se hace en pequeñas cantidades por medio de bombas.
- e) Alimentación eléctrica subestación – distribución: capacidad instalada de 225 KVA de 13.200/440 V en poste. Un cuarto eléctrico con tablero de distribución, del cual se sirven el centro de control de motores en la planta, tablero bombas y tablero de circuitos a 220 V.
- f) Generación eléctrica: Planta eléctrica de 400 KVA con su transferencia manual; estará ubicada en el cuarto eléctrico y funcionará únicamente en caso de cortes de energía.
- g) Tanque para agua industrial: Para almacenamiento de agua de proceso, hay un tanque metálico para almacenamiento del agua que va a las mezclas de concreto, con capacidad de 25m<sup>3</sup>. La captación se derivará del A y A.
- h) Producción de concreto: Las materias primas utilizadas son las siguientes:
- Agua en proporción de 500 L por m<sup>3</sup> de mezcla.
  - Cemento en proporción de 250 a 400 kg por m<sup>3</sup> de mezcla.
  - Arenas lavadas de río, de grano medio a grueso en proporción de 0,4 a 0,7 m<sup>3</sup> por m<sup>3</sup> de mezcla.
  - Triturados de río y cantera, en tamaños de ¼”, ½” y ¾” dosificados según especificaciones del concreto, en proporción de 0,5 a 0,8 m<sup>3</sup> por m<sup>3</sup> de mezcla.
  - Aditivos: especialmente plastificantes, retardantes y acelerantes; son productos derivados de la melaza de caña, que se mezclan en dosis muy bajas de acuerdo con características especiales que se busca obtener en el concreto.

Se obtienen los siguientes productos:

- Concretos: se producen concretos con resistencias entre 1.000 a 5.000 p. s. i. en compresión.
- Morteros: solo se producen eventualmente por pedidos especiales.

Ensayos y controles: Existe un laboratorio para ensayo de concretos sobre cilindros estándar, para lo cual se requieren pequeñas cantidades de cemento, agregados, aditivos y agua de la misma naturaleza y calidad que los utilizados en la planta industrial. Los cilindros se introducen a un tanque de curado y de allí se sacan para los ensayos de compresión a 1, 3, 7, 14 y 28 días.

- i) Proceso de mezcla: En la planta de FCC, se opera la dosificación de cada uno de los componentes por medio de pesaje o medición volumétrica:
  - El cemento llega a través de los ductos del “sinfín”.
  - Los agregados son colocados a una tolva y posteriormente a la banda transportadora.
  - Los aditivos son controlados mediante un medidor dosificador.
  - El agua es dosificada volumétricamente.
  - Todos los componentes pasan a un recipiente mezclador de espas, de 20 m<sup>3</sup> de capacidad.
  - Donde se mezclan por un tiempo determinado hasta que es despachado a un camión mezclador o mixer cuya capacidad es de aproximadamente 7 m<sup>3</sup>.

Los camiones de mezcla antes de ser cargados han sido previamente lavados en sus elementos interiores: olla, canal y embudo; igualmente se lavan las llantas para evitar que algo de concreto salga adherido a estas.

Los camiones de mezcla deben desplazarse a bajas velocidades. El camión está dotado de un mecanismo que le imprime un movimiento giratorio a la olla, con el fin de mantener la mezcla homogénea.

j) Personal para la planta: La organización del personal en la planta es la siguiente:

Puesto	Cantidad
Jefe de Planta	1
Asistente administrativo	1
Conductores	3
Operario de Pluma	1
Ayudante de Planta	1
Despachador de Pedidos	1
Operario	1
Celador	2
TOTAL	11

Tabla 1. Personal de la Planta

Fuente: Fomento de Construcciones y Contratas (FCC).

k) Composición del parque automotor: El parque automotor que se utilizará estará compuesto por 3 camiones mezcladores o “mixers”, motor Diesel, con capacidad para 7 m<sup>3</sup> de concreto cada uno.

### 1.2.2 El Problema.

Actualmente se han dado pérdidas que han puesto en riesgo el contrato de la empresa FCC con el proyecto hidroeléctrico, debido a que la calidad de las mezclas obtenidas en la planta ha tenido variaciones extremas en las concentraciones de los componentes del producto final despachado.

Las condiciones de operación ponen en duda muchos de los procedimientos que perjudican la correcta elaboración de las mezclas realizadas, al igual que el constante

despilfarro en materia energética provocado por el constante uso de sistemas de arranques directos en el accionar de todos los accionamientos eléctricos para activar las partes móviles que dan pie al proceso de producción.

Inicialmente fue fácil detectar uno de los primeros defectos en la preparación de los ingredientes de la mezcla y es que actualmente en la planta de concreto todos los procedimientos son realizados manualmente, lo que refleja y vulnera totalmente cualquier posibilidad de control sobre la calidad del producto.

Esta inestabilidad es puesta en manifiesto con los valores de las muestras analizadas en los laboratorios. Estas inconsistencias provocan pérdidas millonarias en devoluciones de producto las cuales son rechazadas por no cumplir las condiciones mínimas de calidad exigidas por el ICE lo cual además tiene consecuencias serias por provocar multas por inducir atrasos en el proyecto hidroeléctrico.

A continuación la explicación del procedimiento de producción actual:

Se necesitan crear diferentes tipos de mezclas según las necesidades de la aplicación seleccionada en el proyecto hidroeléctrico. Generalmente el concreto de mayor producción contiene los siguientes componentes agua, cemento, aditivos y agregados (Grava y arena). Sus proporciones y combinaciones dependerán del tipo de producto que se busque obtener.

Se cuenta con un tanque de agua el cual dispone de una tubería de PVC para trasegar el líquido al mezclador según la cantidad requerida, esta medida es establecida por un caudalímetro. El flujo de agua es controlado por una motobomba cuyo motor eléctrico es controlado por medio de un arranque directo por medio de botoneras de arranque-pare.

Un silo de cemento que distribuye el polvo al mezclador por medio de una tubería metálica la cual por medio de un tornillo sinfín agrega el cemento. Este tornillo sinfín es impulsado por medio de un motor eléctrico controlado por una botonera de arranque directo tipo arranque-pare.

Dos tanques para los aditivos utilizados en la preparación de las mezclas, estos aditivos son trasegados por medio de mangueras de combustible y transportados de manera independiente uno u otro de los tanques por una motobomba movilizada por un motor eléctrico trifásico con arranques directos por medio de botoneras de arranque en cada uno de los tanques. Inclusive se daban casos en que el suministro de la dosis se daba por medio del conteo de los segundos para establecer las cantidades.

Los agregados (Arena y Grava) son colocados directamente en tolva sobre una banda transportadora con movimiento constante por medio de un cargador. Las proporciones de los agregados son reguladas a criterio de los operadores y supervisores basándose en el conocimiento que dicen tener acerca de las proporciones que caben en la pala del cargador.

Finalmente con todos los componentes colocados en el mezclador controlado igualmente por un motor de 250 HP, el cual por medio de arranque directo inicia cada vez que se requiere realizar una mezcla.

Es evidente que hay un gran descontrol en la dosificación que se utiliza en cada proceso, inclusive muchas veces utilizan los tanques de los componentes para verter en ellos las cantidades exactas que necesitan para realizar la mezcla procurando que cuando se traslade todo lo que se coloco en ellos esta sea la medida correcta de que el mezclador contiene las proporciones indicadas.

Como se menciona anteriormente todos los procedimientos realizados en la actualidad son manuales lo cual tiene un alto riesgo de exactitud en cuanto a la elección de sus proporciones. Estas operaciones implican que todos los procesos dependan del criterio de cada una de las personas involucradas lo cual crea inconsistencia y poca regularidad en los acabados del producto final obtenido ya que se basan en cierto tipo de visualización basado en experiencia, conteo por segundos, etc.

Por otro lado al utilizar todo el control de sus motores por el método de arranque directo la proporción de consumo de corriente al arranque produce altos costos en la

facturación energética de la planta con lo cual pone aun más en rojo los números de los resultados esperados.

Un problema importante que se presenta además es el tema de la limpieza del mezclador, la cual de no realizarse de la mejor manera puede provocar un serio deterioro de todas las partes ya que requieren grandes esfuerzos para remover los restos de concreto endurecidos en las partes del mezclador. Esta limpieza debe realizarse de manera eficaz posteriormente al despacho de la mezcla.

### **1.2.3 Justificación del proyecto.**

Este proyecto constituye un apoyo fundamental para los departamentos de calidad y mantenimiento y producción ya que actualmente la planta ha estado en etapas críticas debido a que muchos de sus productos han sido rechazados por no cumplir con los estándares requeridos.

De igual manera el departamento de mantenimiento ha tenido que solventar un sin número de contratiempos provocados por el mal diseño de algunos de sus componentes básicos de control que no permiten completar de la mejor manera las labores de dosificación y mezclado del concreto.

El proyecto de automatización encaja perfectamente con las necesidades actuales de la planta las cuales vendrán a solucionar un sin número de problemas tanto en la producción como en la calidad de sus despachos, pudiendo así ofrecer un producto de calidad y evitar las pérdidas monetarias actuales.

Otro aspecto de gran importancia es la justificación energética del proyecto, ya que actualmente los consumos por arranques directos y picos de corriente incrementan enormemente los costos de producción del concreto.

Antes de iniciar detalladamente el desarrollo y la elaboración del proyecto de graduación vamos a conocer la CETRANSA empresa encargada de brindar la oportunidad.

## **Capítulo 2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

Diseñar un sistema de automatización que mejore el control de la dosificación de los componentes para optimizar la calidad de la mezcla del concreto en una planta de abastecimiento de la empresa FCC.

### **2.2 Objetivos específicos:**

- Evaluar los equipos e infraestructura localizados en la planta de concreto donde se va a implementar el proyecto.
- Formular los posibles cambios y mejoras por realizar en las estructuras de funcionamiento actuales.
- Diseñar la programación del sistema de control eléctrico de operación, monitoreo, mezcla de componentes y limpieza en el mezclador de concreto.
- Definir los componentes electrónicos de control y funcionamiento del sistema dosificador y mezclador que se deben incluir en la planta de concreto.
- Diseñar un sistema de limpieza automatizado.
- Optimizar el ahorro energético de la planta de concreto.
- Analizar los costos del proyecto.
- Incrementar el control de la dosificación para aumentar la calidad del concreto producido en la planta.

## Capítulo 3. Metodología

El análisis de la automatización del proceso se desarrollo en tres fases:

- Fase Preliminar: En esta fase se recopiló y analizó toda la información existente relacionada con los equipos y los procesos que conlleva la producción de concreto en la planta de FCC con el fin de disponer de un panorama total de donde se desarrollara el proyecto.
- Fase de Campo: En esta etapa se realizó una inspección detallada de las áreas en estudio así como de las áreas definidas, toma de datos y mediciones, análisis de la posible ubicación de la cabina de operación y control de la planta de concreto. Se analizaron las estructuras y dimensiones de los equipos para poder establecer los parámetros de diseño que se va a emplear en el desarrollo del proyecto de graduación.

Se estructuró un formato de recopilación de datos, ubicaciones, mediciones, aspectos importantes, causas de falla y recomendaciones para cada zona afectada.

- Fase Final: En esta se especifico el área de influencia en la que se realizará la automatización, procediendo a los cálculos y selección de componentes que se emplearán para lograr los objetivos establecidos con la información recopilada, analizada, organizada e interpretada.

Se analizó toda la gama de productos que posee CETRANSA para emplear los más viables en el desarrollo del proyecto.

Se investigaron los manuales de programación de los equipos a emplear.

Se observaron proyectos de automatización realizados anteriormente en CETRANSA para intentar obtener información que pueda ser útil en la elaboración de este proyecto de graduación.

Distinguir las posibles localizaciones de señales y/o sensores que permitan establecer y conformar el sistema de bombeo y dosificación de componentes.

Se estableció la lógica programada según las necesidades requeridas para el proyecto de graduación.

Se validaron los tipos de control de arranque de los motores que mueven las diferentes partes del sistema.

Dimensionamiento las protecciones térmicas de los equipos eléctricos involucrados.

Determinación de todos los componentes eléctricos y electrónicos por emplear en el proyecto.

Analizar todas las posibles variables de regulación del sistema dosificador del mezclador.

## **Capítulo 4. Marco Teórico**

Es importante identificar e investigar acerca de todos los temas y principios básicos de lo que involucra el proceso de solución de las propuestas del proyecto. A continuación se analizará e investigará sobre los principales temas de este proyecto.

### **4.1 Definición de concreto.**

Es un producto creado por el hombre resultante de la mezcla de un aglutinante, cemento, agregados (Arena, Grava o Piedra Machacada), Agua, aditivos y algunas veces adiciones especiales.

Antiguamente se empleó en Asia y en Egipto. En Grecia existieron acueductos y depósitos de agua hechos con este material, cuyos vestigios aún se conservan. Los romanos lo emplearon en sus grandes obras públicas, como el puerto de Nápoles, y lo extendieron por todo su imperio.

Antes del descubrimiento de los Cementos se emplearon como Aglomerantes la Cal Grasa, la Cal Hidráulica, y los Cementos Naturales. Desde mediados del S.XIX comenzó a utilizarse en obras marítimas, y a finales del mismo, asociado con el hierro en forma de Hormigón Armado, en puentes y depósitos, habiéndose extendido su empleo tanto en obras públicas como privadas.

Es un material de bajo precio respecto al Acero, de resistencia similar o mayor a la del Ladrillo, que brinda la posibilidad de construir elementos de casi cualquier forma.

También es buen aislante acústico y resistente al fuego.

La consistencia o fluidez del concreto dependerá del contenido de agua de la mezcla.

La plasticidad dependerá del contenido de Áridos finos de diámetro inferior a 0,1 mm., haciendo más fácil la colocación en obra.

## **4.2 Aditivos para concreto.**

Son materiales orgánicos o inorgánicos que se añaden a la mezcla durante o luego de formada la pasta de cemento y que modifican en forma dirigida algunas características del proceso de hidratación, el endurecimiento e incluso la estructura interna del concreto.

Cada vez se va consolidando a nivel internacional el criterio de considerar a los aditivos como un componente normal dentro de la Tecnología del Concreto moderna ya que contribuyen a minimizar los riesgos que ocasiona el no poder controlar ciertas características inherentes a la mezcla de concreto original, como son los tiempos de fraguado, la estructura de vacíos el calor de hidratación, etc.

Cualquier labor técnica se realiza más eficientemente si todos los riesgos están calculados y controlados, siendo los aditivos la alternativa que siempre permite optimizar las mezclas de concreto y los procesos constructivos.

En nuestro país, no es frecuente el empleo de aditivos por la creencia generalizada de que su alto costo no justifica su utilización en el concreto de manera rutinaria; pero si se hace un estudio detallado del incremento en el costo del m<sup>3</sup> de concreto (incremento que normalmente oscila entre el 0.5 al 5% dependiendo del producto en particular), y de la economía en mano de obra, horas de operación y mantenimiento del equipo, reducción de lazos de ejecución de las labores, mayor vida útil de las estructuras etc., se concluye en que el costo extra es sólo aparente en la mayoría de los casos, en contraposición a la gran cantidad de beneficios que se obtienen.

Aunado a esto, hay mucho desconocimiento sobre el uso y potencialidades de los aditivos, ya que al no ser productos de gran disponibilidad y consumo en el mercado local, son relativamente pocos los profesionales que tienen la oportunidad de emplearlos e investigar sus posibilidades con los materiales y condiciones locales.

## **4.3 Tipos de aditivos para concreto**

### **4.3.1 Aditivos impermeabilizantes**

Esta es una categoría de aditivos que sólo está individualizada nominalmente pues en la práctica, los productos que se usan son normalmente reductores de agua, que propician disminuir la permeabilidad al bajar la Relación Agua/Cemento y disminuir los vacíos capilares.

Su uso está orientado hacia obras hidráulicas donde se requiere optimizar la estanqueidad de las estructuras.

No existe el aditivo que pueda garantizar impermeabilidad si no damos las condiciones adecuadas al concreto para que no exista fisuración, ya que de nada sirve que apliquemos un reductor de agua muy sofisticado, si por otro lado no se consideran en el diseño estructural la ubicación adecuada de juntas de contracción y expansión, o no se optimiza el proceso constructivo y el curado para prevenir agrietamiento.

Hemos tenido ocasión de apreciar proyectos hidráulicos donde en las especificaciones técnicas se indica el uso exclusivo de aditivos impermeabilizantes, lo cual no es correcto y lleva a confusión pues esta connotación que es subjetiva, la han introducido principalmente los fabricantes, pero en la práctica no son en general otra cosa que reductores de agua.

Existe un tipo de impermeabilizantes que no actúan reduciendo agua sino que trabajan sobre el principio de repeler el agua y sellar internamente la estructura de vacíos del concreto, pero su uso no es muy difundido pues no hay seguridad de que realmente confieran impermeabilidad y definitivamente reducen resistencia. Las sustancias empleadas en este tipo de productos son jabones, butilestearato, ciertos aceites minerales y emulsiones asfálticas.

Otros elementos que proporcionan características de incremento de impermeabilidad son las cenizas volátiles, las puzolanas y la microsílíce, que en conjunción con el cemento generan una estructura mucho menos permeable que la normal, pero su uso es más restringido.

### 4.3.2 Aditivos retardadores

Tienen como objetivo incrementar el tiempo de endurecimiento normal del concreto, con miras a disponer de un período de plasticidad mayor que facilite el proceso constructivo.

Su uso principal se amerita en los siguientes casos:

- a) Vaciado complicado y/o voluminoso, donde la secuencia de colocación del concreto provocaría juntas frías si se emplean mezclas con fraguados normales.
- b) Vaciados en clima cálido, en que se incrementa la velocidad de endurecimiento de las mezclas convencionales.
- c) Bombeo de concreto a largas distancias para prevenir atoros.
- d) Transporte de concreto en Mixers a largas distancias.
- e) Mantener el concreto plástico en situaciones de emergencia que obligan a interrumpir temporalmente los vaciados, como cuando se malogra algún equipo o se retrasa el suministro del concreto.

La manera como trabajan es actuando sobre el Aluminato Tricálcico retrasando la reacción, produciéndose también un efecto de superficie, reduciendo fuerzas de atracción entre partículas.

En la medida que pasa el tiempo desaparece el efecto y se desarrolla a continuación el de hidratación, acelerándose generalmente el fraguado.

Hay que tener cuidado con las sobredosificaciones pues pueden traer complicaciones en el desarrollo de la resistencia, obligando a adoptar sistemas de curado adicionales.

Usualmente tienen características plastificantes. Los productos básicos empleados en su fabricación son modificaciones y combinaciones de los usados en los plastificantes y adicionalmente, algunos compuestos de étercelulosa.

Se dosifican generalmente en la proporción del 0.2% al 0.5% del peso del cemento.

#### **4.4 Proporcional integral derivativo (PID)**

Un PID es un mecanismo de control por realimentación que calcula la desviación o error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener, para aplicar una acción correctora que ajuste el proceso. El algoritmo de cálculo del control PID se da en tres parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo. El valor Proporcional determina la reacción del error actual. El Integral genera una corrección proporcional a la integral del error, esto nos asegura que aplicando un esfuerzo de control suficiente, el error de seguimiento se reduce a cero. El Derivativo determina la reacción del tiempo en el que el error se produce. La suma de estas tres acciones es usada para ajustar al proceso vía un elemento de control como la posición de una válvula de control o la energía suministrada a un calentador, por ejemplo. Ajustando estas tres variables en el algoritmo de control del PID, el controlador puede proveer un control diseñado para lo que requiera el proceso a realizar. La respuesta del controlador puede ser descrita en términos de respuesta del control ante un error, el grado el cual el controlador llega al "set point", y el grado de oscilación del sistema. Nótese que el uso del PID para control no garantiza control óptimo del sistema o la estabilidad del mismo. Algunas aplicaciones pueden solo requerir de uno o dos modos de los que provee este sistema de control. Un controlador PID puede ser llamado también PI, PD, P o I en la ausencia de las acciones de control respectivas. Los controladores PI son particularmente comunes, ya que la acción derivativa es muy sensible al ruido, y la ausencia del proceso integral puede evitar que se alcance al valor deseado debido a la acción de control.

##### **4.4.1 Funcionamiento**

Para el correcto funcionamiento de un controlador PID que regule un proceso o sistema se necesita, al menos:

- a) Un sensor, que determine el estado del sistema (termómetro, caudalímetro, manómetro, etc).

- b) Un controlador, que genere la señal que gobierna al actuador.
- c) Un actuador, que modifique al sistema de manera controlada (resistencia eléctrica, motor, válvula, bomba, etc).

El sensor proporciona una señal analógica o digital al controlador, la cual representa el punto actual en el que se encuentra el proceso o sistema. La señal puede representar ese valor en tensión eléctrica, intensidad de corriente eléctrica o frecuencia. En este último caso la señal es de corriente alterna, a diferencia de los dos anteriores, que también pueden ser con corriente continua.

El controlador lee una señal externa que representa el valor que se desea alcanzar. Esta señal recibe el nombre de punto de consigna (o punto de referencia), la cual es de la misma naturaleza y tiene el mismo rango de valores que la señal que proporciona el sensor. Para hacer posible esta compatibilidad y que, a su vez, la señal pueda ser entendida por un humano, habrá que establecer algún tipo de interfaz (HMI-Human Machine Interface), son pantallas de gran valor visual y fácil manejo que se usan para hacer más intuitivo el control de un proceso.

El controlador resta la señal de punto actual a la señal de punto de consigna, obteniendo así la señal de error, que determina en cada instante la diferencia que hay entre el valor deseado (consigna) y el valor medido. La señal de error es utilizada por cada uno de los 3 componentes del controlador PID. Las 3 señales sumadas, componen la señal de salida que el controlador va a utilizar para gobernar al actuador. La señal resultante de la suma de estas tres se llama variable manipulada y no se aplica directamente sobre el actuador, sino que debe ser transformada para ser compatible con el actuador utilizado.

Las tres componentes de un controlador PID son: parte Proporcional, acción Integral y acción Derivativa. El peso de la influencia que cada una de estas partes tiene en la suma final, viene dado por la constante proporcional, el tiempo integral y el tiempo derivativo, respectivamente. Se pretenderá lograr que el bucle de control corrija eficazmente y en el mínimo tiempo posible los efectos de las perturbaciones.

#### 4.4.2 Proporcional

La parte proporcional consiste en el producto entre la señal de error y la constante proporcional para lograr que el error en estado estacionario se aproxime a cero, pero en la mayoría de los casos, estos valores solo serán óptimos en una determinada porción del rango total de control, siendo distintos los valores óptimos para cada porción del rango. Sin embargo, existe también un valor límite en la constante proporcional a partir del cual, en algunos casos, el sistema alcanza valores superiores a los deseados. Este fenómeno se llama sobreoscilación y, por razones de seguridad, no debe sobrepasar el 30%, aunque es conveniente que la parte proporcional ni siquiera produzca sobreoscilación. Hay una relación lineal continua entre el valor de la variable controlada y la posición del elemento final de control (la válvula se mueve al mismo valor por unidad de desviación). La parte proporcional no considera el tiempo, por lo tanto, la mejor manera de solucionar el error permanente y hacer que el sistema contenga alguna componente que tenga en cuenta la variación respecto al tiempo, es incluyendo y configurando las acciones integral y derivativa.

La fórmula del proporcional está dada por:  $P_{sal} = K_p e(t)$

El error, la banda proporcional y la posición inicial del elemento final de control se expresan en tanto por uno. Nos indicará la posición que pasará a ocupar el elemento final de control

Ejemplo: Cambiar la posición de una válvula (elemento final de control) proporcionalmente a la desviación de la temperatura (variable) respecto al punto de consigna (valor deseado).

#### 4.4.3 Integral

El modo de control Integral tiene como propósito disminuir y eliminar el error en estado estacionario, provocado por el modo proporcional. El control integral actúa cuando hay una desviación entre la variable y el punto de consigna, integrando esta desviación en el tiempo y sumándola a la acción proporcional. El error es integrado, lo cual tiene la función de

promediarlo o sumarlo por un período determinado; Luego es multiplicado por una constante  $K_i$ . Posteriormente, la respuesta integral es adicionada al modo Proporcional para formar el control P + I con el propósito de obtener una respuesta estable del sistema sin error estacionario.

El modo integral presenta un desfase en la respuesta de  $90^\circ$  que sumados a los  $180^\circ$  de la retroalimentación ( negativa ) acercan al proceso a tener un retraso de  $270^\circ$ , luego entonces solo será necesario que el tiempo muerto contribuya con  $90^\circ$  de retardo para provocar la oscilación del proceso. <<< la ganancia total del lazo de control debe ser menor a 1, y así inducir una atenuación en la salida del controlador para conducir el proceso a estabilidad del mismo. >>> Se caracteriza por el tiempo de acción integral en minutos por repetición. Es el tiempo en que delante una señal en escalón, el elemento final de control repite el mismo movimiento correspondiente a la acción proporcional.

El control integral se utiliza para obviar el inconveniente del offset (desviación permanente de la variable con respecto al punto de consigna) de la banda proporcional.

La fórmula del integral está dada por:

$$I_{sal} = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau$$

Ejemplo: Mover la válvula (elemento final de control) a una velocidad proporcional a la desviación respecto al punto de consigna (variable deseada).

#### 4.4.4 Derivativo

La acción derivativa se manifiesta cuando hay un cambio en el valor absoluto del error; (si el error es constante, solamente actúan los modos proporcional e integral).

El error es la desviación existente entre el punto de medida y el valor consigna, o "Set Point".

La función de la acción derivativa es mantener el error al mínimo corrigiéndolo proporcionalmente con la misma velocidad que se produce; de esta manera evita que el error se incremente.

Se deriva con respecto al tiempo y se multiplica por una constante D y luego se suma a las señales anteriores (P+I). Es importante adaptar la respuesta de control a los cambios en el sistema ya que una mayor derivativa corresponde a un cambio más rápido y el controlador puede responder acordeamente.

La fórmula del derivativo está dada por:  $D_{sal} = K_d \frac{de}{dt}$

El control derivativo se caracteriza por el tiempo de acción derivada en minutos de anticipo. La acción derivada es adecuada cuando hay retraso entre el movimiento de la válvula de control y su repercusión a la variable controlada.

Cuando el tiempo de acción derivada es grande, hay inestabilidad en el proceso. Cuando el tiempo de acción derivada es pequeño la variable oscila demasiado con relación al punto de consigna. Suele ser poco utilizada debido a la sensibilidad al ruido que manifiesta y a las complicaciones que ello conlleva.

El tiempo óptimo de acción derivativa es el que retorna la variable al punto de consigna con las mínimas oscilaciones

Ejemplo: Corrige la posición de la válvula (elemento final de control) proporcionalmente a la velocidad de cambio de la variable controlada.

La acción derivada puede ayudar a disminuir el rebasamiento de la variable durante el arranque del proceso. Puede emplearse en sistemas con tiempo de retardo considerables, porque permite una repercusión rápida de la variable después de presentarse una perturbación en el proceso.

## **Capítulo 5. Desarrollo del proyecto**

### **5.1 Solución**

La propuesta al problema se basa en brindar una solución completa en la cual la planta pueda operar asumiendo siempre la mayor certeza de obtener la mejor calidad de sus productos, así como la optimización de sus procesos a través de métodos de control eléctrico y automatización con los cuales permita mejorar la eficiencia de sus procedimientos además de poder desarrollar una mejora en el tema de ahorro energético.

Se propone como base principal del proyecto realizar la automatización de todo el proceso de la planta de concreto con lo cual se eliminaría en su totalidad la inestabilidad presenta actualmente en cuanto a la dosificación de los componentes y los parámetros del proceso de mezcla del producto final.

Mediante la automatización que se presentara a continuación se va a poder asegurar un proceso de gran calidad para los diferentes tipos de mezclas producidas, las cuales serian regulados muy detalladamente por el sistema programado lo cual prácticamente evitaría los errores tanto en la dosificación como en la operación general del proceso. Igualmente facilitaría un control total de las instrucciones programadas ya que las proporciones de los elementos se introducen de acuerdo a las configuraciones estipuladas en los diseños seleccionados que han sido previamente validados y ajustados por el departamento de calidad de la planta de FCC.

La primer propuesta es la de crear una cabina de operación en la cual se encuentra el sistema automatizado que realizara la dosificación y control automático de todo el proceso de mezclado y despacho del concreto. Mediante un controlador PID de un autómeta programable se diseñara un programa que permita mediante señales de diferentes dispositivos electrónicos y sensores monitorear y asegurar la mayor precisión en la dosificación de los elementos involucrados en la creación de la mezcla. Este programa traerá por defecto los diseños de las composiciones de las mezclas planteadas previamente por los ingenieros del departamento de calidad y de los laboratorios de análisis.

En esta cabina de operaciones se localizara un panel de control con el cual se van a poder controlar y supervisar todas las funciones que realiza en la planta.

Este panel tiene un botón de inicio del sistema, el cual energiza y coloca en etapa de ignición todos y cada uno de los sectores de la planta. También contiene el botón de apagado del sistema y el de paro de emergencia con el cual se podría detener de manera inmediata y por completo todas las operaciones de la planta en caso de accidente o fallo de algún procedimiento en la mezcla de los componentes.

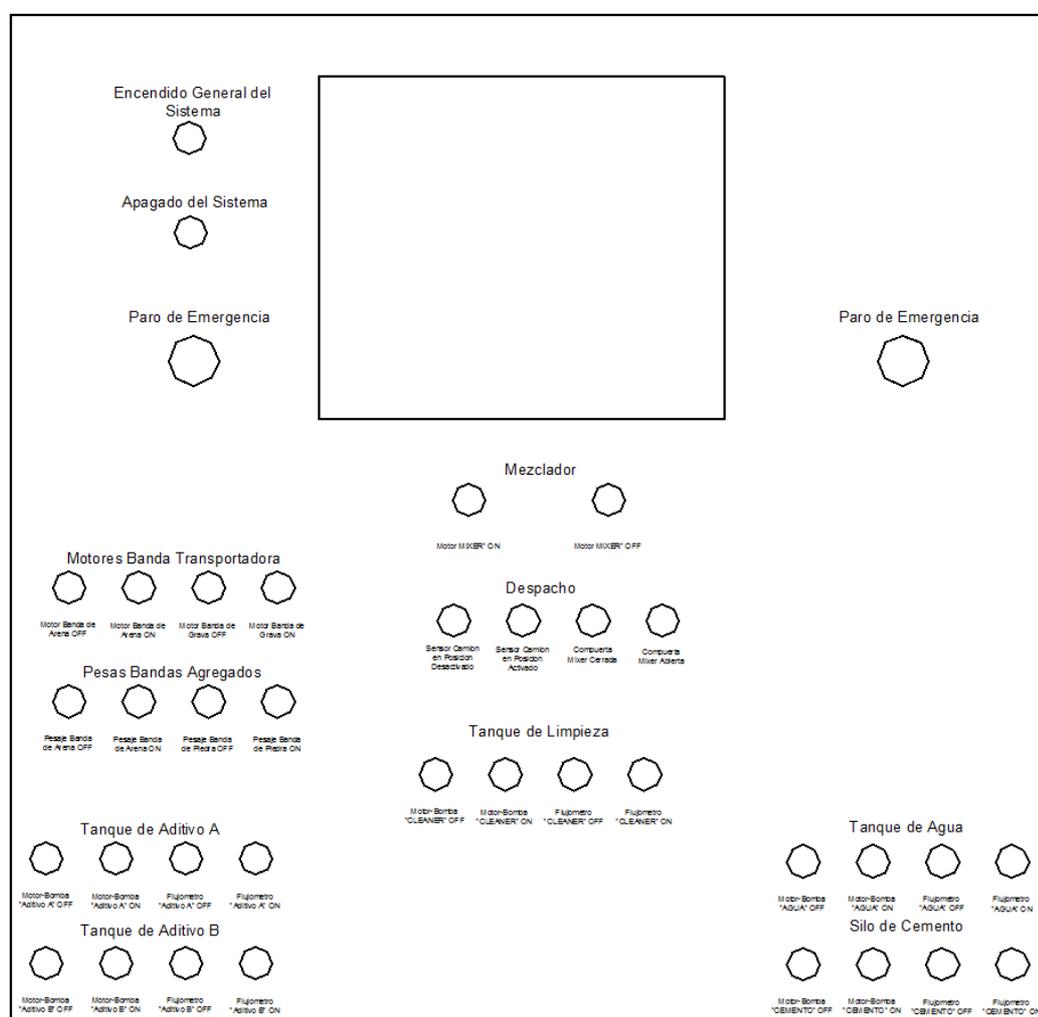


Figura 1. Visualización del panel de control y operación, cabina de operaciones, planta de concreto.

Fuente: Diseño propio.

En este panel es donde se realizan el 100% de las configuraciones de los parámetros de operación por medio de una pantalla táctil en la cual el operador registra y programa los datos del tipo de mezcla que se quiere realizar.

Como primer paso antes de iniciar con la configuración de la dosificación y los parámetros de la mezcla nueva, el sistema tendrá la restricción de asegurarse de que el mezclador haya sido sometido al proceso de limpieza automática previamente, si la limpieza fue programada, el sistema guardara un registro que permite iniciar un nuevo proceso de mezcla sin problemas, de lo contrario la pantalla marcara un mensaje de “Limpieza de Mezclador Incompleta” por lo cual debe realizarse previamente antes de empezar la configuración de una nueva mezcla.

La primera interfaz de la pantalla muestra una introducción del inicio del sistema mientras se energizan todas las partes de la planta, en ella se selecciona el tipo de mezcla que se requiere.



Figura 2. Visualización de la interfaz de selección de tipo de mezcla.

Fuente: Diseño propio.

La segunda interfaz es la selección de las características de la mezcla que se quiere obtener, el operador puede elegir en esta interfaz entre crear una nueva configuración de mezclas ingresando por cuenta propia los porcentajes de dosificación requeridos

(SELECCIONADA) o bien elegir entre mezclas automáticas ya establecidas y almacenadas por defecto en el sistema (PROGRAMADAS), las mismas fueron previamente establecidas y aprobadas por los ingenieros del departamento de calidad de FCC , generalmente son los productos con una producción más constante.

**PROGRAMADA:** Guarda configuraciones de las mezclas más comunes realizadas en la planta, son mezclas creadas por los ingenieros del departamento de calidad.



Figura 3. Visualización de la interfaz de selección de tipo de mezcla “PROGRAMADA”, mezclas establecidas por defecto. Fuente: Diseño propio.

**SELECCIONADA:** El operador regula manualmente los porcentajes de los componentes del sistema, se utiliza para crear mezclas muy poco comunes y para casos especiales.

CONFIGURACION DE PARAMETROS			
GRAVA	30 %	200 kg	
ARENA	30 %	200 kg	
CEMENTO	15%	100 kg	
AGUA	10 %	200 m3	
ADITIVO A	10%	40 m3	
ADITIVO B	5 %	20 m3	

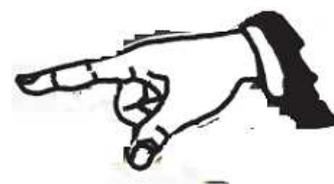


Figura 4. Visualización de la interfaz de selección de tipo de mezcla. “SELECCIONADA”, mezclas establecidas manualmente. La dosificación de la mezcla deseada es regulada paso por paso. Fuente: Diseño propio.

La tercera interfaz controla las velocidades y el tiempo total de la mezcla a realizar.

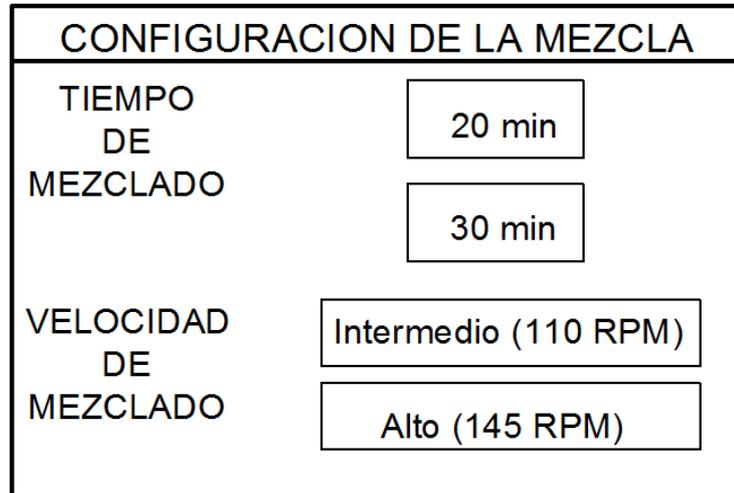


Figura 5. Visualización de la interfaz de selección de velocidad y tiempo de mezclado. Fuente: Diseño propio.

La cuarta interfaz del panel es la de monitoreo de funcionamiento del sistema, en el cual se pueden observar en la pantalla táctil la operación de los distintos dispositivos conforme se van dando cada uno de los procesos.

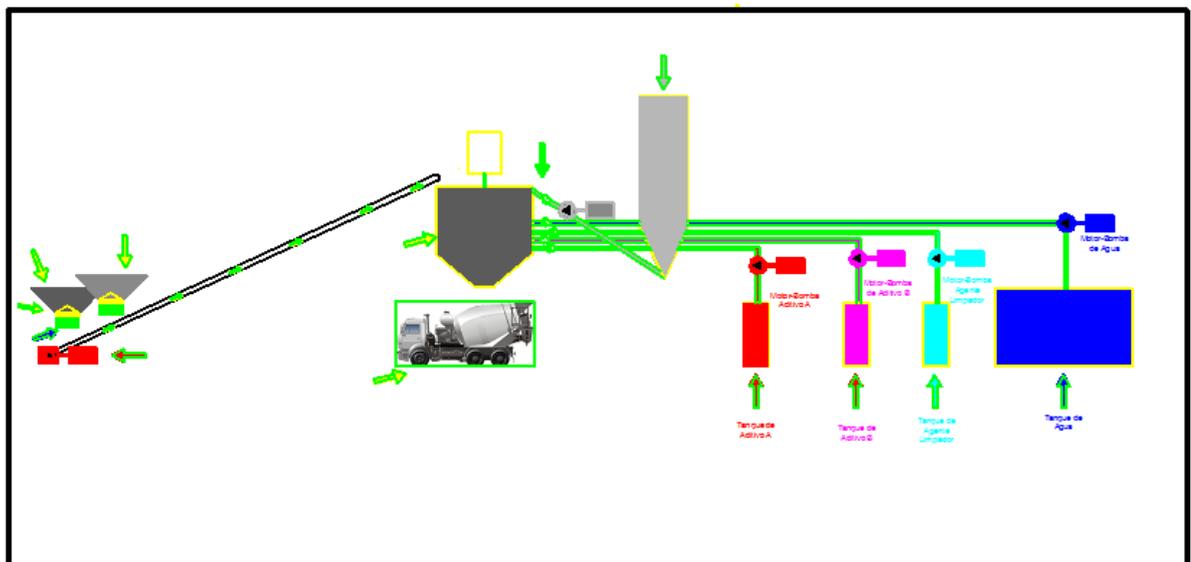


Figura 6. Visualización de la interfaz de monitoreo. Fuente: Diseño propio.

Por último se ubica la interfaz de limpieza del tanque con agente limpiador con el cual se garantiza que para la siguiente mezcla a realizar el interior del mezclador este va estar sin ningún tipo de residuo en el mezclador.

Posteriormente después de configurar el tipo de mezcla que se quiere realizar en el mezclador.

Iniciará con el vertido de los componentes y las proporciones seleccionadas.

El primer proceso de dosificación se realiza con los agregados. Se propone utilizar dos tolvas de suministro de agregados, una para la grava y otra para la arena para así poder establecer específicamente el peso de cada uno de los agregados. Estas tolvas son llenadas por medio de cargadores con palas de aproximadamente  $1.5 \text{ m}^3$ . Las tolvas utilizadas vienen equipadas independientemente una de otra con un sistema electrónico de pesaje en cual destaca una balanza electrónica y un modulo para extraer la señal que se utiliza para representar la cantidad real de peso que se está midiendo, este peso es visualizado en kilogramos. Mediante este sistema electrónico de pesaje se puede establecer los valores de peso reales que han sido colocados en cada tolva con lo cual se podrá utilizar esta señal y relacionarla con la cantidad de peso seleccionada en el panel de control.

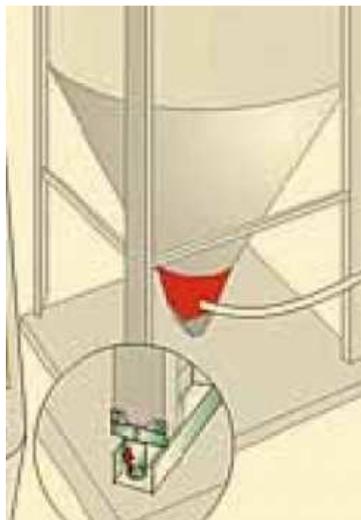


Figura 7. Balanza electrónica del sistema electrónico de pesaje.

Cada tolva tiene un sistema luminoso tipo semáforo para poder guiar al operador del cargador en el llenado de cada una de las tolvas por aparte hasta lograr el peso indicado. Conforme el operador se vaya acercando al peso seleccionado inicialmente las luces indicaran cuando detener la alimentación de material con las señales en los colores siguientes:

- Verde (seguir llenando),
- Amarillo (verter con mayor cuidado el agregado dado que se acerca al peso requerido)
- Rojo (Indica que se debe detener el llenado de las tolvas).



Figura 8. Representación del sistema de iluminación tipo semáforo para el control de llenado de las tolvas de agregados.

También se colocara un monitor independiente en cada tolva, este monitor mostrara dos valores, uno es el peso real colocado en la tolva en tiempo real y el otro es el peso al que debe de llegar la tolva para alcanzar el peso seleccionado en el panel de control de la cabina de operaciones.

Por último se incluirá una señal sónica que indicara una alarma mediante un sonido tipo corneta en el momento exacto en que la báscula electrónica logre conseguir el peso solicitado en la configuración realizada en el panel de control.

Si por error en alguna de las tolvas el operador del cargador vierte mayor cantidad de material del configurado, la bascula percibe el exceso de peso comparándolo con el peso que se configuro inicialmente y mostrara en la pantalla un mensaje de ¡EXCESO! Con lo cual los encargados de la planta deberán proceder a vaciar la cantidad sobrepasada en la tolva correspondiente, este vaciado se realiza por medio de las compuertas de vaciado alternas que posee la tolva.

Una vez que ambas tolvas (Arena y Grava) han llegado al peso que se configuro para la mezcla seleccionada, el sistema esperara durante 15 segundos para enviar la orden a los procesos siguientes.

Trascurridos los 15 segundos de estabilidad en el peso indicado, automáticamente se activara el variador de frecuencia del motoreductor del rodillo motriz de la banda transportadora que es la encargada de llevar los agregados al mezclador. Simultáneamente las compuertas neumáticas se abrirán y el agregado respectivo empezara a despacharse deslizándose por medio de una canoa hasta la banda transportadora la cual está en movimiento y acarreará el material.

La señal activa del variador de frecuencia del motoreductor del rodillo motriz se mantendrá por 45 segundos después de que la última de las dos tolvas registren en sus básculas electrónicas la cantidad de 0 kg, siendo este el tiempo suficiente para que la banda transportadora traslade el total del material suministrado por ambas tolvas y despachar la totalidad de los agregados colocados en la banda antes de detenerse automáticamente.

La señal que activa el variador de frecuencia del motor de la banda transportadora de agregados, la cual indica que se completo correctamente el peso de los agregados, es la misma señal que activa los variadores de frecuencia de los motores de las bombas de trasiego de los tanques de Aditivo A y Aditivo B (En caso de ser requeridos en la configuración de la mezcla

por realizar) , por lo tanto esta señal inicia el bombeo de los aditivos hacia la parte interior del mezclador las cantidades colocadas en la configuración inicial, por otro lado cabe destacar que los flujómetros de las tuberías de aditivos los cuales están colocados a la entrada del mezclador cumplirán la función de indicar cuando la cantidad de aditivo ha sido despachada totalmente dentro del tanque. Cuando esta cantidad este completa dentro del tanque, el sistema enviara la señal de desactivación del trasiego de aditivo al mezclador. Las tuberías de los tanques de aditivos utilizadas son tuberías especiales, muy similares a las utilizadas para el trasiego de combustibles.

De igual manera de cómo se inicia el proceso de trasiego de los tanques de aditivos, la señal que activa el variador de frecuencia del motor de la banda transportadora de agregados es la señal que activa el variador de frecuencia para que inicie el movimiento del motor eléctrico de la bomba de agua la cual empieza a trasladando el agua del tanque al mezclador, la bomba trasiega agua hasta que el flujómetro reconozca el ingreso de la cantidad programada previamente en la cabina de operaciones, el flujómetro de agua o cuenta litros se encuentra en la entrada de la tubería de agua al mezclador, una vez registrada la señal de la cantidad especificada se desactiva el variador deteniendo completamente el trasiego de agua hacia el mezclador. La tubería del tanque de agua es de hierro negro.

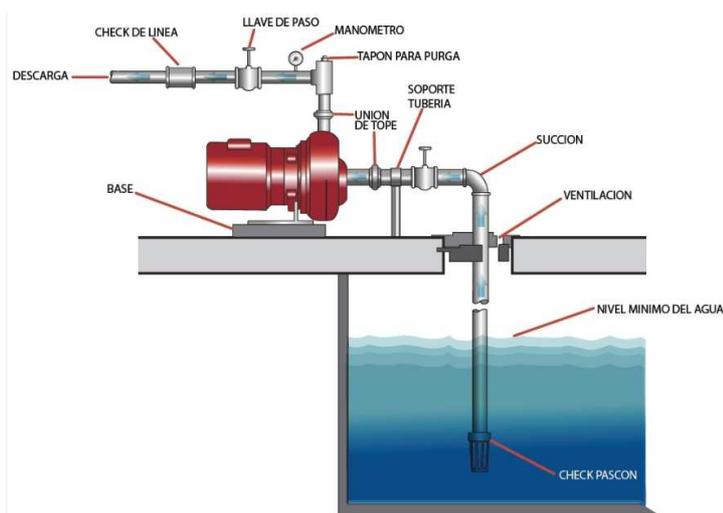


Figura 9. Representación grafica de un sistema de bombeo de agua.

Nuevamente se repite que al mismo tiempo en que se inicia el movimiento de la banda transportadora, el trasiego de los aditivos de los tanques al mezclador, el trasiego de agua del tanque al mezclador, inicia el ultimo componente necesario para realizar la mezcla de concreto seleccionada, el cemento, esta señal simultanea activara el variador de frecuencia del motor eléctrico del motoreductor del tornillo sin fin del silo de cemento, iniciando la distribución de cemento al interior del mezclador, el motor se detendrá igualmente cuando el flujómetro granular ubicado a la entrada del mezclador haya obtenido la cantidad adecuada, la cual fue indicada en la programación inicial en el panel de control de la planta, lo cual detendrá la dosificación del cemento al interior del mezclador inmediatamente.

Tanto los tanques de aditivos (A y B), como el tanque de agua, el tanque de agente limpiador y el silo de cemento tendrán colocados 5 sensores de nivel cada uno, con el fin de poder controlar el nivel de material real que contenido en cada uno de ellos, estos sensores son sensores capacitivos. Estos sensores se utilizaran con el fin de marcar las cantidades de 100% del total del tanque, 75% del total del tanque, 50% del total del tanque, 25% del total del tanque y 10% lo cual es considerado como cantidad critica.

En el caso del mezclador tendrá un sensor que determinara si el mezclador realmente esta vacio, este sensor en el mezclador es considerado como clave para determinar el despacho total por medio de los camiones mezcladores de toda la mezcla realizada, esta señal es indispensable para activar las funciones de “Limpieza de Mezclador” e “Inicio de un nuevo proceso de mezcla”, ya que de marcar que tiene algún tipo de material dentro del mezclador no puede iniciar un nuevo proceso. Debería de despacharse la totalidad del contenido en el mezclador antes de proceder.

En caso de que la cantidad contenida en el silo de cemento, tanque de aditivo A, tanque de aditivo B o el tanque de agua sean cantidades inferiores a la cantidad requerida según la programación indicada en el panel de control principal para la mezcla demandada, el sistema enviara un mensaje de alerta para que el debido recipiente sea relleno, de no ser así el proceso de mezcla no iniciara.

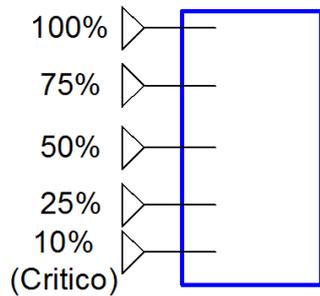


Figura 10. Representación grafica de la posición de los sensores de nivel de los tanques de Aditivos y el tanque de agente limpiador. Fuente: Diseño propio.

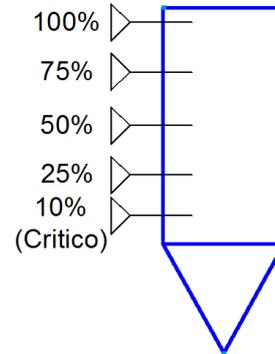


Figura 11. Representación grafica de la posición de los sensores de nivel en el silo de cemento. Fuente: Diseño propio.

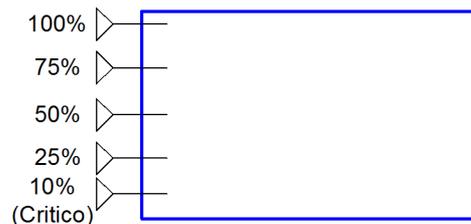


Figura 12. Representación grafica de la posición de los sensores de nivel en el tanque de agua. Fuente: Diseño propio.

Una vez iniciado el proceso de dosificación e ingreso de los componentes de la mezcla dentro del mezclador, se activa por medio de las señales de los flujómetros involucrados, el variador de frecuencia del motor del mezclador el cual empezara a mover las aspas del mezclador a un 20% de su velocidad seleccionada, esta función ayudara al ingreso y la premezcla de los materiales dentro del mezclador para homogenizar poco a poco la mezcla. Cuando la señal del último flujómetro o de la banda transportadora indique que todos los componentes han ingresado en el mezclador, el variador incrementara paulatinamente su velocidad hasta obtener el 100% de la velocidad programada en la cabina de operaciones. Con la velocidad del motor girando a plena carga esta se mantendrá de esta manera por el tiempo programado inicialmente Posteriormente cuando se ha completado el tiempo de mezcla seleccionado se activa una señal que indica que el variador de frecuencia del motoreductor del

mezclador disminuya a un 40 % de su velocidad nominal, lo cual colaborara en el despacho de la mezcla por la compuerta hidráulica hacia el camión mezclador.

Cuando termino el tiempo de mezclado y todo listo para el despacho de la mezcla a los camiones mezcladores, antes de poder abrir la compuerta hidráulica de despacho del mezclador se necesita que se cumplan tres condiciones:

- a) Activar un sensor de posición conformado por una placa metálica colocada en la posición debajo del mezclador, esta placa cuando el camión se ubica bajo la compuerta hidráulica es presionada por las llantas y el peso del camión, oprimiendo el sensor de ubicación, indicando que efectivamente hay un camión listo para recibir el concreto.
- b) Un sensor ultrasónico de proximidad, el cual está configurado para calcular la distancia de la compuerta de despacho del mezclador a la tolva del ducto de ingreso del camión mezclador, este sensor previene que el concreto fluya sin que la tolva receptora del ducto del camión este en posición de recibir el concreto, lo cual aunque este activado el sensor de posición del camión, evita que se abra la compuerta hidráulica.
- c) Por último hay un botón de despacho (descargue) que debe ser oprimido por un operador que se asegura de que todas las condiciones se cumplen, si se presiona el botón de despacho se presiona y no se cumplen las otras dos condiciones de posición del camión, la compuerta hidráulica no se abrirá. La señal de apertura de la compuerta está programada para vaciar la cantidad de  $6.5 \text{ m}^3$  por camión mezclador. Cabe destacar que los camiones mezcladores utilizados pueden contener hasta  $8 \text{ m}^3$ . El flujómetro para concreto instalado a la salida del mezclador indicara la cantidad de descargue programada para cada camión ( $6.5\text{m}^3$ ) y enviara una señal para cerrar automáticamente la compuerta del mezclador, posteriormente cuando un nuevo camión este en posición se vuelve a repetir el proceso hasta despachar el total de la mezcla contenida en el mezclador, por lo general se necesitan 3 camiones para cumplir todo el proceso.

Como paso previo al proceso de descargue del concreto del mezclador al camión, un supervisor dará el visto bueno de que el camión mezclador que se va a colocar en posición de

recibir producto nuevo del mezclador, está completamente vacío y cumple con las condiciones de limpieza requeridas para trasladar el concreto a la obra, esto con el fin de evitar que un camión con un cierto contenido de material o impurezas perjudique el despacho de mezcla o bien su calidad.



Figura 13. Representación grafica del despacho de producto en una planta de concreto con un camión mezclador.

Finalmente después de cada preparación y despacho de la mezcla seleccionada, hay una interfaz que regula la limpieza del mezclador, la cual está compuesta por el vertido de agua y un agente limpiador que se encarga de realizar un barrido de material en el interior del mezclador, el sistema simula un mezclado de material por una cantidad de minutos establecida según la mezcla preparada, con esto se asegura que el mezclador finaliza el proceso completamente limpio, impidiendo así que las impurezas y residuos de las mezclas realizadas interfieran en la calidad de las mezclas futuras, además esto brinda una mayor mantenibilidad a las partes internas y de despacho del mezclador. Esta limpieza es requisito para iniciar un nuevo proceso de mezcla, este proceso queda registrado en una memoria y es una restricción de inicio para el proceso siguiente, de no realizarse la limpieza, la próxima vez que se inicie un proceso de mezcla el sistema enviara una alarma e informara que debe realizarse la limpieza antes de iniciar. Cuando el proceso de limpieza se despacha se realiza ya sea en vagonetas o en camiones mezcladores para aprovechar y realizar la limpieza de dichos vehículos.

LIMPIEZA DE MECLADOR	
TIEMPO DE LIMPIEZA	10 min
	20 min
Tipo de Limpieza	Limpieza Standard
	Limpieza Rapida

Figura 14. Visualización de la interfaz de limpieza del mezclador.

Fuente: Diseño propio.

#### Información Adicional:

- El cemento a granel llega a la planta en cisternas, son introducidas al silo por medio de compresores directamente desde los camiones cisternas.
- Los agregados (grava y arena) se transportan en vagonetas.
- Los aditivos son suministrados por medio de camiones cisternas, los mismos son bombeados directamente del interior del camión cisterna a cada uno de los tanques.
- Los niveles de los tanques de agua, aditivos (A y B), agente limpiador y el silo de cemento pueden ser monitoreados desde la cabina de operaciones para poder apreciar cuando alguno necesite ser recargado, el nivel de estado crítico tiene una alarma para indicar que necesita recargar

## 5.2 Composición de una de las mezclas de concreto utilizada en la planta de concreto Pan de Azúcar de FCC.

A pesar de los varios tipos de concreto que se pueden producir en la planta, se utilizara como base para el diseño de la automatización el tipo más común de concreto.

Composición de la mezcla para plena carga					
Componente	Cantidades		Proporción en kg	Proporción m3	
<b>CEMENTO</b>	3500,00	kg	1,59	m3	14,57%
<b>AGUA</b>	1500,00	L	1,50	m3	6,24%
<b>ARENA</b>	6500,00	kg	4,48	m3	27,06%
<b>GRAVA</b>	12500,00	kg	6,94	m3	52,04%
<b>ADITIVO A</b>	11,40	kg	0,76	m3	0,05%
<b>ADITIVO B</b>	10,00	kg	0,43	m3	0,04%
<b>TOTAL</b>	24021,40	kg	15,70	m3	100,00%

Tabla 2. Proporción de la dosificación. Mezcla M15.

Fuente: Departamento de calidad FCC.

A continuación se representan los valores de las densidades de los componentes utilizados en la mezcla de concreto.

Componente	Densidad
Cemento	2200 kg/m3
Agua	1000 kg/m3
Arena	1450 kg/m3
Grava	1800 kg/m3
Aditivo A (Reductor de Agua)	15 kg/m3
Aditivo B (Acelerante de Fraguado)	23,5 kg/m3

Tabla 3. Densidades de los componentes utilizados en la planta de concreto.

Fuente: Departamento de calidad FCC.

### 5.3 Dimensiones de las estructuras que comprenden el sistema de mezcla y bombeo sobre el cual se va a desarrollar la automatización

Parte	Dimensiones			
	Mezclador	<b>Altura</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Volumen</b>
4,5 m		2,4 m	20,36 m <sup>3</sup>	
Silo de Cemento	<b>Altura</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Volumen</b>	
	6 m	3 m	42,41 m <sup>3</sup>	
Tanque de Aditivo A	<b>Altura</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Volumen</b>	
	5 m	3 m	35,34 m <sup>3</sup>	
Tanque de Aditivo B	<b>Altura</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Volumen</b>	
	4 m	3 m	28,27 m <sup>3</sup>	
Tanque de Agua	<b>Altura</b>	<b>Ancho</b>	<b>Largo</b>	<b>Volumen</b>
	2,5 m	3 m	4 m	30,00 m <sup>3</sup>
Tolvas	<b>Alto</b>	<b>Largo</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Volumen</b>
	2,86 m	3,65 m	2,57 m	8,00 m <sup>3</sup>
Banda Transportadora	<b>Altura</b>	<b>Longitud</b>	<b>Angulo de Inclinación</b>	
	8,5 m	15 m	35,31 °	
Tubería de Aditivo A	<b>Longitud</b>	<b>Diámetro</b>		
	1,94 m	2 "		
Tubería de Aditivo B	<b>Longitud</b>	<b>Diámetro</b>		
	2,84 m	2 "		
Tubería de Agua	<b>Longitud</b>	<b>Diámetro</b>		
	8 m	4 "		
Tubería de Agente Limpiador	<b>Longitud</b>	<b>Diámetro</b>		
	6 m	2 "		

Tabla 4. Dimensiones de los tanques, Tolvas, Banda Transportadora y tuberías de la planta de concreto de FCC.

Fuente: Mediciones realizadas en la planta de concreto Pan de Azúcar, FCC.

## 5.4 Cálculos y selección de componentes de la banda transportadora de agregados.

### 5.4.1 Cálculo y selección del motoreductor de la banda de agregados.

<b>Motoreductor de la Banda Transportadora</b>		
<b>Motor eléctrico Trifásico</b>		
Marca	WEG	
Potencia	20	HP
Velocidad	1800	RPM
Frame	160M	
<b>Caja Reductora</b>		
Marca	Motovario	
Modelo	H 130	
Potencia	20	HP
Relación	30/1	
Velocidad de salida	60	RPM
<b>Rodillo Motriz</b>		
Diámetro	0,2	m
Circunferencia	0,628	m

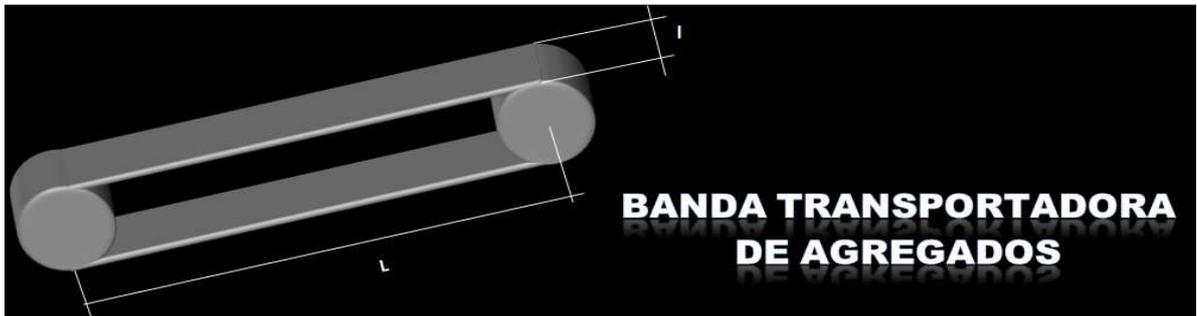
Tabla 5. Datos técnicos Motoreductor y componentes de la banda de agregados.

Fuente: Catálogos WEG /Motovario. Mediciones en la planta.

<b>PESO DE LOS AGREGADOS</b>		
<b>ARENA</b>	6500,00	kg
<b>GRAVA</b>	12500,00	kg
<b>TOTAL</b>	19000,00	kg

Tabla 6. Totales de peso en kg de los agregados para aproximadamente 20 m3 de concreto.

Fuente: Departamento de calidad FCC



## BANDA TRANSPORTADORA DE AGREGADOS

Cálculos sobre la banda transportadora de agregados					
TOLVA DE ARENA			TOLVA DE GRAVA		
Longitud de la Banda	15,00	m	Longitud de la Banda	15,00	m
Ancho de la banda	1,00	m	Ancho de la banda	1,00	m
Velocidad del Eje	60,00	RPM	Velocidad del Eje	60,00	RPM
Velocidad de la banda	0,63	m/s	Velocidad de la banda	0,63	m/s
15 metros se recorren en	23,87	s	15 metros se recorren en	23,87	s
Despacho de la Tolva	0,032	m <sup>3</sup> /s	Despacho de la Tolva	0,032	m <sup>3</sup> /s
Tolva Llena	4,48	m <sup>3</sup>	Tolva Llena	6,94	m <sup>3</sup>
Tiempo de vaciado de la tolva	140,09	s	Tiempo de vaciado de la tolva	217,01	s
Volumen del arena sobre los 15 metros de banda	0,76	m <sup>3</sup>	Volumen del arena sobre los 15 metros de banda	0,76	m <sup>3</sup>
Peso de la arena sobre los 15 metros de Banda	1107,72	kg	Peso de la arena sobre los 15 metros de Banda	1375,10	kg
Densidad del arena	1450,00	kg/m <sup>3</sup>	Densidad de la grava	1800,00	kg/m <sup>3</sup>

Tabla 7. Cálculos de Velocidades, tiempos y pesos de la banda transportadora de agregados.

Fuente: Cálculos propios realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico empleados en el movimiento de la banda transportadora de agregados.

Peso total sobre la banda	2482,82 kg
Relación de proporciones de despacho de los agregados de las tolvas a la banda transportadora.	7,65
Recorrido de la banda transportadora de agregados mientras despacha ambas tolvas	114,79 m
Tiempo de despacho de la totalidad de las tolvas + la banda	182,78 s
	3,05 min

Tabla 8. Continuación cálculos de Velocidades, tiempos y pesos de la banda transportadora de agregados.

Fuente: Cálculos propios realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico empleados en el movimiento de la banda transportadora de agregados.

### **Datos de aplicación**

Longitud transportador (L)	<b>15</b>	m
Ancho de la Banda (l)	<b>42</b>	"
Altura de elevación	<b>10</b>	m
Longitud de las guías	<b>5</b>	m
Capacidad	<b>374,21</b>	ton/hora
Velocidad de la banda	<b>0,628</b>	m/s
Diámetro del Rodillo	<b>200</b>	mm
Relación motor/reductor	<b>60</b>	
Relación reductor/tambor	<b>1</b>	
Velocidad del Motor	<b>1750,00</b>	rpm

Tabla 9. Datos de aplicación y cálculos para la selección del motor eléctrico del motoreductor de la banda transportadora de agregados.

Fuente: Cálculos propios realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico empleados en el movimiento de la banda transportadora de agregados.

### **Cálculo auxiliar**

Peso sobre la banda	<b>2482,82</b>	kg
Longitud del transportador	<b>15,00</b>	m
Velocidad de la banda	<b>0,628</b>	m/s
Capacidad de la banda	<b>374,21</b>	ton/hora

Tabla 10. Cálculos auxiliares para la selección del motor eléctrico del motoreductor de la banda transportadora de agregados.

Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico empleados en el movimiento de la banda transportadora de agregados.

	velocidad	radio cilindro
	60 rpm	0,1 m
	6,2831853 rad/s	
w*r	0,6283185 m/s	

Tabla 11. Cálculos auxiliares de velocidad angular empleados en la selección del motor de la banda transportadora de agregados.

Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico de la banda transportadora de agregados.

### **Datos calculados**

Torque Previsto	<b>2063 Nm</b>
Rotación Rodillo(n)	<b>60,00 rpm</b>
Potencia	<b>12,96 kW</b>
Reducción	<b>0,49</b>
<b>POTENCIA SELECCIONADA</b>	<b>17,38 HP</b>

Tabla 12. Datos cálculos para la selección del motor eléctrico del motoreductor de la banda transportadora de agregados.

Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico empleados en el movimiento de la banda transportadora de agregados.

#### **5.4.2 Selección del sistema electrónico de pesaje tolva de grava y arena.**

Para la selección del sistema de pesaje se necesita un sistema electrónico que permita poder establecer a partir de las indicaciones del peso mostrado las señales que vamos a utilizar posteriormente en la señal luminosa tipo semáforo y para el monitor de marca de peso y auditiva tipo alarma.

Buscando en el mercado un sistema de pesaje para incorporarlo a las tolvas existentes se aprecia que la manera más correcta de pesar los agregados que van a ser depositados en el mezclador es con es colocando el sistema en cada una de las tolvas, sin embargo debido al tamaño de las tolvas actuales esto no sería muy útil porque las tolvas necesitan llenarse varias veces para lograr enviar al mezclador la cantidad necesaria.

Es por eso que se busco un sistema de tolvas que puedan contener el total necesario de arena o grava suficiente para contener las cantidades mínimas para realizar la mezcla completa con el cual se pueda establecer un mayor control del peso de los agregados y por medio de un sistema de pesaje electrónico que viene incorporado, nos permita obtener una señal digital para poder realizar lo propuesto con el monitor y el sistema luminoso.

Después de observar varias opciones se decidió elegir un conjunto de tolva y sistema de pesaje electrónico con apertura de despacho por medio de compuertas neumáticas con capacidad de 8 m<sup>3</sup> modelo VTBEI-8 fabricado en México por la empresa Grupo Víctor.



Figura 15. Tolva modelo VTBEI-8 con sistema de pesaje electrónico y apertura de despacho por medio de compuertas neumáticas. Fuente: Catalogo Grupo Víctor. [www.grupovictor.com](http://www.grupovictor.com)



Figura 16. Ejemplo de visualización, tolvas de agregados.  
Fuente: Fotografía de ejemplo. [www.anunico.com.ve](http://www.anunico.com.ve)

<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MOD VTBEI-8</b>	
DIMENSIONES	Alto (máximo): 2,86 metros. Largo: 3,65 metros. Fondo: 2,57 metros.
CAPACIDAD	8 metros cúbicos.
INDICADOR DE PESO	Tipo almeja operado neumáticamente por medio de electroválvula. Marca Rice Lake
MATERIAL DE FABRICACIÓN	Acero Inoxidable Calibre 12
ALIMENTACION	Trifásica 220/440V 60 HZ

Tabla 13. Especificaciones técnicas, tolva modelo VTBEI-8

Fuente: Catalogo Grupo Víctor. [www.grupovictor.com](http://www.grupovictor.com)



Figura 17. Pantalla principal de la tolva modelo VTBEI-8.

Fuente: Catalogo <http://www.ricelake.mx/>

El sistema electrónico de la balanza marca Rice Lake de cada una de las tolvas de agregados posee una salida de comunicación digital opcional para un monitor adicional. Esta salida será utilizada para obtener la señal digital que se utilizara para controlar la información del peso que está percibiendo la báscula electrónica, este valor se comparara con el valor configurado inicialmente en la cabina de operación.

Esta información se utiliza para controlar por medio del controlador lógico programable la función de visualización del peso real medido por el sistema de la báscula y se utilizara para mostrar en el monitor de cada tolva el peso en kilogramos colocado realmente, con lo cual se visualiza con total certeza el peso ingresado.

Además a partir de este valor del peso medido por el sistema electrónico de pesaje se utiliza la señal para el control del sistema luminoso de llenado de cada una de las dos tolvas.

El sistema electrónico de pesaje también tiene una entrada analógica con la cual se podrá controlar la apertura y cierre de las compuertas neumáticas de cada una de las tolvas de agregados.

#### **5.4.3 Selección del sistema luminoso de indicación de llenado tolva de grava y arena.**

Cada una de las tolvas tendrá un sistema luminoso para indicarle al operador del cargador conforme se vaya realizando el llenado de cada una de las tolvas mediante los colores de las luces cuando el peso seleccionado se ha alcanzado y así el operador del cargador sabrá cuando detener la alimentación de material por medio del control visual. Las luces indicaran lo siguiente:

<b>Color</b>	<b>Descripción</b>
	La señal de color verde le indicara al operador del cargador que necesita agregar más material a la tolva de arena o grava respectivamente para obtener el peso determinado en la cabina de control.
	La señal de color amarillo le indicara al operador del cargador que se debe agregar material en menor proporción dado que se está aproximando al peso requerido por la configuración de la cabina de operaciones en la tolva de arena o grava respectivamente.
	La señal de color rojo le indicara al operador del cargador que la tolva de arena o grava respectivamente ha alcanzado el peso indicado y que se tiene que detener por completo el llenado de material

Tabla 14. Descripción de la función de cada uno de los colores.

Fuente: Diseño propio.

Según el porcentaje del rango seleccionado así mismo el sistema automatizado enviara la señal de que color debe mostrarse en el sistema luminoso. A continuación se muestra el rango que corresponde a uno de los colores.

Color	Rango de Control del Peso Seleccionado en la cabina de operaciones
Verde	0% - 70%
Amarillo	71% - 90%
Rojo	91% - 100%

Tabla 15. Porcentaje de variación de los colores del sistema luminoso tipo semáforo para el control de llenado en las tolvas de agregados. Fuente: Diseño propio.

#### 5.4.4 Selección del monitor de peso tolva de grava y arena.

El monitor de la tolva se utilizara para mostrar al operador del cargador el valor exacto del peso contenido en la carga con el fin de tener una mayor precisión a la hora de agregar agregados a las tolvas.

El monitor mostrara en la parte superior el peso real contenido en la tolva, mientras que en la parte inferior mostrara el peso que se programo en la cabina de operaciones para así poder observar a cual es el peso que se tiene que llegar.



Figura 18. Monitor principal para las tolvas de agregados marca Hatteland, modelo JH 19T14, Marca: MMD MARITIME MULTI DISPLAY 19.0 inches. Fuente: Catalogo <http://www.lavastica.com/>

Los monitores se regulan con la señal digital que viene del controlador lógico programable. Cada tolva tendrá su propio monitor de 19" marca Hattelland® modelos JH 19T14 M con entrada de alimentación AC. Las conexiones incluyen DVI-I en, RGB, entrada RGB, entrada IEC, salida IEC y USB I / O. Además tiene opciones de entrada / salida de señal se pueden aumentar por medio de un conector multifunción, que permite la conexión de muchos tipos de señal común a través de una sola conexión de cable, para las señales comunes, tales como; Entrada de vídeo compuesto, pantalla táctil y la Comunicación en serie.

#### **5.4.5 Selección de la bocina de alarma de peso tolva de grava.**

Se colocara en cada una de las tolvas una señal sónica que indicara el momento en el cual la cantidad de grava o arena es igual a la cantidad que se selecciono en la cabina de operación para realizar la mezcla elegida.

Esta señal es la misma señal que envía el controlador lógico programable para activar la luz roja del sistema luminoso cuando llega al color rojo o la del monitor que muestra la cantidad exacta en kg.



Figura 19. Avisador de claxon continuo marca Rodman Modelo S-67 C.

Fuente: Catalogo Rodman International. <http://www.rodmanintl.com/>

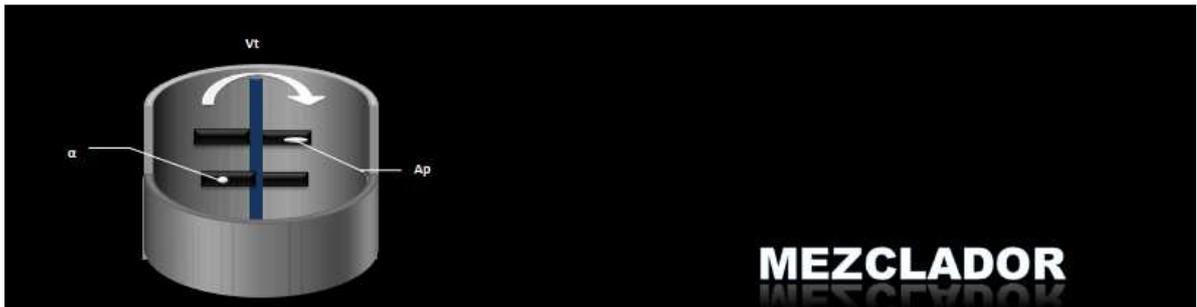
## 5.5 Cálculos y selección de componentes del mezclador principal.

### 5.5.1 Cálculo y selección del motor eléctrico del motoreductor del mezclador.

<b>Motoreductor del Mezclador</b>	
<b>Motor eléctrico Trifásico</b>	
Marca	WEG
Potencia	250 HP
Velocidad	1800 RPM
Frame	315M
<b>Caja Reductora</b>	
Marca	CESTARI
Modelo	V 72 3 12
Potencia	250 HP
Relación	12/1
Velocidad de salida	150 RPM
<b>Impulsores</b>	
Cantidad	3
Diámetro	0,6 m
Brazos por impulsor	3

Tabla 16. Datos técnicos Motoreductor y componentes del mezclador de concreto.

Fuente: Catálogos WEG / CESTARI. Mediciones en la planta.



### Datos de aplicación

Velocidad tangencial ( $V_t$ )	<b>4,56</b>	m/s
Área de las brazos ( $A_p$ )	<b>0,44</b>	m <sup>2</sup>
Densidad del producto	<b>2400</b>	kg/m <sup>3</sup>
Ángulo de los brazos ( $\alpha$ )	<b>45</b>	°
No. de brazos por impulsor	<b>4</b>	
No. de Impulsores	<b>3</b>	
Diámetro del impulsor	<b>0,6</b>	m
Relación de motor / reductor	<b>12</b>	
Relación reductor / eje	<b>1</b>	
La rotación del motor	<b>1750</b>	rpm

Tabla 17. Datos de aplicación y cálculos para la selección del motor eléctrico del motoreductor del mezclador de concreto. Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico empleado para el movimiento del mezclador de concreto.

### Cálculo auxiliar

Velocidad tangencial:

Diámetro del impulsor	<b>0,6</b>	m
Rotación deseada	<b>145</b>	rpm
$V_t =$	<b>4,56</b>	m/s

Tabla 18. Cálculos auxiliares para la velocidad tangencial de selección del motor eléctrico del motoreductor del mezclador de concreto. Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo de la velocidad tangencial para la selección del motor eléctrico empleado en el movimiento del mezclador de concreto.

Área de las brazos:

Longitud de los brazos	<b>1</b>	m
Anchura de los brazos	<b>0,2</b>	m
Número de brazos	<b>3</b>	
$A =$	<b>0,6</b>	m <sup>2</sup>

Tabla 19. Cálculos del área de los brazos del motoreductor del mezclador de concreto de la planta. Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo del área (superficie de contacto con el concreto).

### Datos calculados

<b>Torque proporcionado</b>	<b>11,546</b>	<b>Nm</b>
<b>Rotación del impulsor</b>	<b>145</b>	<b>rpm</b>
<b>Potencia</b>	<b>175</b>	<b>kW</b>
<b>Reducción</b>	<b>1</b>	
<b>POTENCIA SELECCIONADA</b>	<b>235,10</b>	<b>HP</b>

Tabla 20. Datos cálculos para la selección de la potencia del motor eléctrico del motoreductor del mezclador de concreto de la planta. Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico empleados en el movimiento del motoreductor del mezclador de concreto.

### 5.5.2 Selección del sensor óptico tolva camión mezclador.

Detectores ultrasónicos de proximidad. Marca: Siemens.

Modelo: SIMATIC PXS

Los detectores ultrasónicos de proximidad (Sonar) son detectores que trabajan sin contacto. Resultan ideales para aplicaciones en las que haya que medir distancias en el aire, para detectar objetos, también son capaces de calcular e indicar la distancia absoluta que hay entre el detector y el objeto.

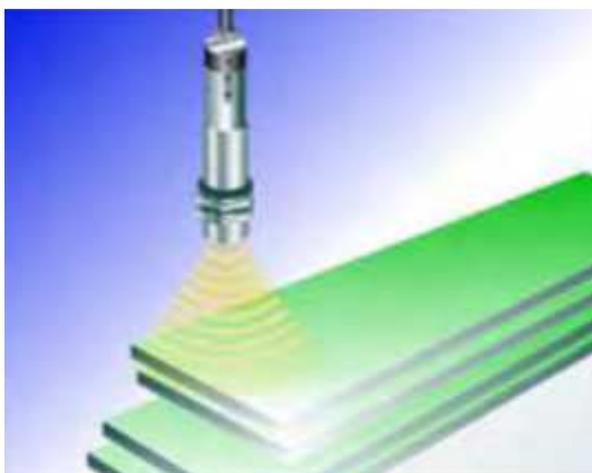


Figura 20 Sensor ultrasónico de proximidad, SIMATIC PXS. Fuente: Catalogo de automatización SIEMENS.  
<https://www.automation.siemens.com/>



Figura 21 Sensor ultrasónico de proximidad, SIMATIC PXS. Fuente: Catalogo de automatización SIEMENS.  
<https://www.automation.siemens.com/>

### 5.5.3 Selección del sensor de posición camión mezclador.

En esta parte se colocara un sensor capacitivo dentro de una estructura tipo rampa, que al ser presionada por las llantas del camión, comprimirá un resorte que provoca que las dos placas metálicas se unan, en esta posición cerrada, el sensor capacitivo hará la función de sensor de posición e indicara al sistema que el camión mezclador se ubica en la posición establecida para el despacho de concreto. Una vez que el camión se traslade y se vuelvan a separar las placas por la apertura del resorte de la rampa, este sensor enviara la señal de que no hay camión en la posición de despacho.

Marca: IFM Electronic (IFM)

Modelo: KI5084.



Figura 22 Sensor capacitivo KI5084.

Fuente: Catalogo de automatización SIEMENS. <https://www.automation.siemens.com/>

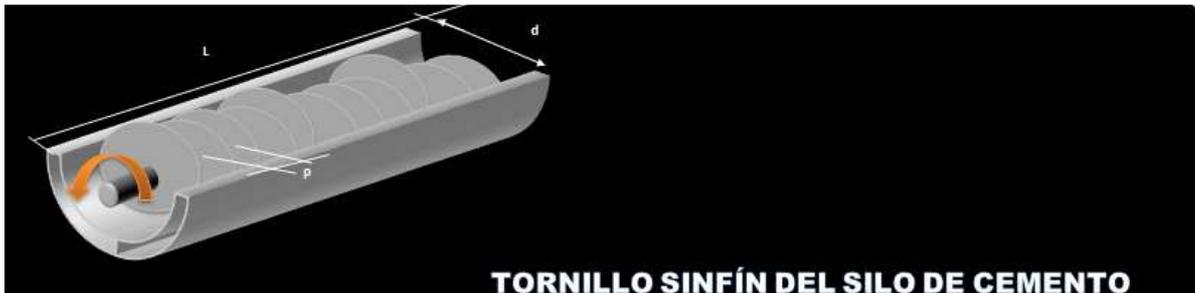
## 5.6 Cálculos y selección de componentes Tornillo Sinfín del Silo de Cemento.

### 5.6.1 Selección del motoreductor del tornillo sinfín del silo.

<b>Motoreductor del Silo de Cemento</b>		
<b>Motor eléctrico Trifásico</b>		
Marca	WEG	
Potencia	10	HP
Velocidad	1800	RPM
Frame	132S	
<b>Caja Reductora</b>		
Marca	Motovario	
Modelo	H 130	
Potencia	10	HP
Relación	20/1	
Velocidad de salida	60	RPM
<b>Rodillo Motriz</b>		
Diámetro	0,2	m
Circunferencia	0,628	m

Tabla 21. Datos técnicos Motoreductor y componentes del tornillo sinfín del silo de cemento.

Fuente: Catálogos WEG / Motovario. Mediciones en la planta.



<b>Cálculos sobre el tornillo sin fin del silo de cemento</b>			
Longitud de la tornillo sin fin	9,61	m	
Diámetro del tubo	0,30	m	
Paso del tornillo sin fin	0,30	m	
Velocidad de giro del eje del tornillo	60,00	RPM	
Desplazamiento de celda por vuelta	0,30	cm	
Tiempo de vaciado del tornillo sin fin	0,32	min	32,03 s
Volumen de cemento por celda	0,021	m <sup>3</sup>	
Cantidad de Celdas en el tornillo	32,03		
Volumen de cemento en el tubo	0,679	m <sup>3</sup>	
Masa del cemento en el tubo	1494,44	kg	
Densidad del cemento	2200	kg/m <sup>3</sup>	
Relación de proporciones de despacho del cemento al mezclador.	2,34		
Cantidad de Celdas para la cantidad de cemento estándar	75,02		
Tiempo de despacho de la cantidad de cemento estándar	1,25	min	
	75,02	s	

Tabla 22. Datos y cálculos sobre el tornillo sin fin del silo de cemento.

Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico empleado para el movimiento del motoreductor del tornillo sin fin del silo de cemento.

### Datos de aplicación

Longitud (L)	<b>9,6</b>	m
Diámetro (d)	<b>0,3</b>	m
Paso (p)	<b>0,3</b>	m
Girar (n)	<b>60</b>	rpm
Grado de llenado	<b>50%</b>	
Coefficiente de Resistencia	<b>2</b>	
Densidad	<b>2,2</b>	t/m <sup>3</sup>
Inclinación	<b>51,34</b>	°
Relación Motor / caja de reductora	<b>30</b>	
Relación reductor / tornillo	<b>1</b>	
La velocidad del motor	<b>1750</b>	rpm

Tabla 23. Datos de aplicación y cálculos para la selección del motor eléctrico del motoreductor del mezclador de concreto. Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico empleados para el movimiento del mezclador de concreto.

### Cálculo auxiliar

#### Producción del tornillo

Volumen total	<b>0,679</b>	m <sup>3</sup>
Producto del volumen	<b>0,339</b>	m <sup>3</sup>
Producción del tornillo	<b>83,97</b>	ton/hora

Tabla 24. Cálculo auxiliar para determinar la producción del tornillo sinfín.

Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico empleados para el movimiento del mezclador de concreto.

### Velocidad de tornillo

Producción deseada	<b>15</b>	ton/hora
Rotación necesaria	<b>10,72</b>	<b>rpm</b>

Tabla 25. Datos y cálculos de velocidad del tornillo sinfín para establecer los RPM de operación.

Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico empleados para el movimiento del mezclador de concreto.

### Datos calculados

---

<b>V =</b>	<b>38.17</b>
<b>G =</b>	<b>83.97</b>
<b>Pa =</b>	<b>4.39</b>
<b>Pas =</b>	<b>6.17</b>

<b>Torque proporcionado</b>	<b>983</b>	<b>Nm</b>
<b>Velocidad de rotación</b>	<b>60</b>	<b>rpm</b>
<b>Potencia</b>	<b>6</b>	<b>kW</b>
<b>Reducción</b>	<b>1</b>	
<b>POTENCIA SELECCIONADA</b>	<b>8.28</b>	<b>HP</b>

Tabla 26. Datos calculados para la selección del motor del motoreductor del mezclador de concreto.

Fuente: Datos cálculos en software del fabricante CESTARI, para el cálculo de potencias de movimiento de tornillos sinfín.

## 5.7 Cálculos y selección de componentes del tanque de Aditivo A.

### 5.7.1 Selección de la bomba de trasiego de aditivo A.

Para seleccionar la bomba se debe debemos considerar la tasa de flujo volumétrico (Caudal). En este caso para una de una bomba de engranajes con desplazamiento positivo es el volumen de líquido que puede pasar a través de la bomba por segundo. Con el fin de calcular el volumen, debemos considerar el diámetro en pulgadas de la tubería. También saber los metros cúbicos por segundo en el que la bomba mueve el fluido.

Se Instalara una motobomba tipo desplazamiento positivo de engranes internos, marca Viking Pump, modelo HL-4124A de la serie universal acoplada a un motor de 3 HP controlado por un variador de frecuencia.

Esta tendrá la capacidad de aumentar y disminuir la velocidad de forma gradual para evitar efectos por golpes de ariete según sea la demanda requerida en el llenado de "Aditivo A" a la mezcladora, la demanda será asignada en la cabina de operaciones cuando se configuren los parámetros iniciales.

<b>Motor de la bomba del tanque de Aditivo A</b>	
<b>Motor eléctrico Trifásico</b>	
Marca	WEG
Potencia	3 HP
Velocidad	1800 RPM
Frame	100L
<b>Bomba de trasiego.</b>	
Marca	Viking
Modelo	HL-4124A
Presión	3.89 Psig
Flujo Nominal	60GPM

Tabla 27. Datos técnicos Motor de la bomba de trasiego de Aditivo A.

Fuente: Catálogos WEG / Viking. Mediciones en la planta.

### 5.7.2 Cálculo y selección del motor eléctrico de la bomba de trasiego de aditivo A



#### Datos del sistema

Diámetro de las manguera de trasiego	2 "	0.051 m
Área transversal de la manguera	2.03E-03 m <sup>2</sup>	
Velocidad (v)	5 m/s	
Caudal (Q)	1.01E-02 m <sup>3</sup> /s	
Cantidad a trasegar	0.76 m <sup>3</sup>	
Tiempo de trasiego	74.99 s	1.25 min

Tabla 28. Datos y cálculos del sistema para el bombeo de aditivo A, para la selección del motor eléctrico de la bomba de aditivo A. Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico empleados para el movimiento de la bomba del tanque de aditivo A.

### Datos de aplicación

Carga del sistema (M)	<b>11.40</b>	kg
Diámetro (d)	<b>0.19</b>	m
Velocidad de rotación (n)	<b>1800</b>	rpm
Tiempo de aceleración	<b>1</b>	s
Relación Motor / caja de reductora	<b>1</b>	
Relación Reductor / Bomba	<b>1</b>	
Velocidad del motor	<b>1800</b>	rpm

Tabla 29. Datos de aplicación y cálculos del sistema para el bombeo de aditivo A, para la selección del motor eléctrico de la bomba de aditivo A. Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico empleados para el movimiento de la bomba del tanque de aditivo A.

### Datos calculados

<b>Torque proporcionado</b>	<b>10</b>	<b>Nm</b>
<b>Rotación eje de la bomba</b>	<b>1800.00</b>	<b>rpm</b>
<b>Potencia</b>	<b>1.84</b>	<b>kW</b>
<b>Reducción</b>	<b>1.00</b>	
<b>POTENCIA SELECCIONADA</b>	<b>2.46</b>	<b>HP</b>

Tabla 30. Datos calculados para la selección del motor eléctrico de la bomba de aditivo A. Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico empleado en el movimiento de la bomba de aditivo A.

## 5.8 Cálculos y selección de componentes del tanque de Aditivo B.

### 5.8.1 Selección de la bomba de trasiego de Aditivo B.

De igual manera que en el tanque de Aditivo A se instalara una motobomba tipo desplazamiento positivo de engranes internos, marca Viking Pump, modelo HL-4124A de la serie universal acoplada a un motor de 3 HP controlado por un variador de frecuencia.

También tendrá la capacidad de aumentar y disminuir la velocidad de forma gradual para evitar efectos por golpes de ariete según sea la demanda requerida en el llenado de Aditivo B a la mezcladora, la demanda será asignada en la cabina de operaciones cuando se configuren los parámetros iniciales.

<b>Motor de la bomba del tanque de Aditivo B</b>	
<b>Motor eléctrico Trifásico</b>	
Marca	WEG
Potencia	3 HP
Velocidad	1800 RPM
Frame	100L
<b>Bomba de trasiego.</b>	
Marca	Viking
Modelo	HL-4124A
Presión	3.89 Psig
Flujo Nominal	60GPM

Tabla 31. Datos técnicos Motor de la bomba de trasiego de Aditivo B.

Fuente: Catálogos WEG / Viking. Mediciones en la planta.

## 5.8.2 Cálculo y selección del motor eléctrico de la bomba de trasiego de Aditivo B.



### Datos del sistema

Diámetro de las manguera de trasiego	2 "	0.051 m
Área transversal de la manguera	2.03E-03 m <sup>2</sup>	
Velocidad (v)	5 m/s	
Caudal (Q)	1.01E-02 m <sup>3</sup> /s	
Cantidad a trasegar	0.43 m <sup>3</sup>	
Tiempo de trasiego	41.99 s	0.70 min

Tabla 32. Datos y cálculos del sistema para el bombeo de aditivo B, para la selección del motor eléctrico de la bomba de aditivo B. Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico empleados para el movimiento de la bomba del tanque de aditivo B.

### Datos de aplicación

Carga del sistema (M)	<b>10</b>	kg
Diámetro (d)	<b>0.19</b>	m
Velocidad de rotación (n)	<b>1800</b>	rpm
Tiempo de aceleración	<b>1</b>	s
Relación Motor / caja de reductora	<b>1</b>	
Relación Reductor / Bomba	<b>1</b>	
Velocidad del motor	<b>1800</b>	rpm

Tabla 33. Datos de aplicación y cálculos del sistema para el bombeo de aditivo B, para la selección del motor eléctrico de la bomba de aditivo B. Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico empleados para el movimiento de la bomba del tanque de aditivo B.

### Dados calculados

<b>Torque proporcionado</b>	<b>9</b>	<b>Nm</b>
<b>Rotación eje de la bomba</b>	<b>1800.00</b>	<b>rpm</b>
<b>Potencia</b>	<b>1.61</b>	<b>kW</b>
<b>Reducción</b>	<b>1.00</b>	
<b>POTENCIA SELECCIONADA</b>	<b>2.16</b>	<b>HP</b>

Tabla 34. Datos calculados para la selección del motor eléctrico de la bomba de aditivo B. Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico empleado en el movimiento de la bomba de aditivo B.

## 5.9 Cálculos y selección de componentes del tanque de Agua.

### 5.9.1 Selección de la bomba de trasiego de Agua.

Se instalara una motobomba tipo desplazamiento positivo de engranes internos, marca Viking Pump, modelo HL-4124A de la serie universal acoplada a un motor de 5 HP controlado por un variador de frecuencia.

También tendrá la capacidad de aumentar y disminuir la velocidad de forma gradual para evitar efectos por golpes de ariete según sea la demanda requerida en el llenado de Aditivo B a la mezcladora, la demanda será asignada en la cabina de operaciones cuando se configuren los parámetros iniciales.

<b>Motor de la bomba del tanque de Agua</b>	
<b>Motor eléctrico Trifásico</b>	
Marca	WEG
Potencia	3 HP
Velocidad	1800 RPM
Frame	100L
<b>Bomba de trasiego.</b>	
Marca	Viking
Modelo	HL-4124A
Presión	17 Psig
Flujo Nominal	100GPM

Tabla 35. Datos técnicos Motor de la bomba de trasiego de agua.

Fuente: Catálogos WEG / Viking. Mediciones en la planta.

### 5.9.2 Cálculo y selección del motor eléctrico de la bomba de trasiego de Agua.



#### Datos del sistema

Diámetro de las manguera de trasiego	4 "	0.102 m
Área transversal de la manguera	8.11E-03 m <sup>2</sup>	
Velocidad (v)	5 m/s	
Caudal (Q)	4.05E-02 m <sup>3</sup> /s	
Cantidad a trasegar	1.50 m <sup>3</sup>	
Tiempo de trasiego	37.00 s	0.62 min

Tabla 36. Datos y cálculos del sistema para el bombeo de agua, para la selección del motor eléctrico de la bomba de agua. Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico empleado para el movimiento de la bomba del tanque de agua.

### Datos de aplicación

Carga del sistema (M)	<b>1500</b>	kg
Diámetro (d)	<b>0.19</b>	m
Velocidad de rotación (n)	<b>150</b>	rpm
Tiempo de aceleración	<b>0.5</b>	s
Relación Motor / caja de reductora	<b>1</b>	
Relación Reductor / Bomba	<b>1</b>	
Velocidad del motor	<b>1800</b>	rpm

Tabla 37. Datos de aplicación y cálculos del sistema para el bombeo de agua, para la selección del motor eléctrico de la bomba de agua. Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico empleados para el movimiento de la bomba del tanque de agua.

### Datos calculados

<b>Torque proporcionado</b>	<b>220</b>	<b>Nm</b>
<b>Rotación eje de la bomba</b>	<b>150.00</b>	<b>rpm</b>
<b>Potencia</b>	<b>3.45</b>	<b>kW</b>
<b>Reducción</b>	<b>12.00</b>	
<b>POTENCIA SELECCIONADA</b>	<b>4.63</b>	<b>HP</b>

Tabla 38. Datos calculados para la selección del motor eléctrico de la bomba de agua.

Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico empleado en el movimiento de la bomba de agua.

## 5.10 Cálculos y selección de componentes del tanque de Agente Limpiador.

### 5.10.1 Selección de la bomba de trasiego de Agente Limpiador.

Se instalara una motobomba tipo desplazamiento positivo de engranes internos, marca Viking Pump, modelo HL-4124A de la serie universal acoplada a un motor de 3 HP controlado por un variador de frecuencia.

También tendrá la capacidad de aumentar y disminuir la velocidad de forma gradual para evitar efectos por golpes de ariete según sea la demanda requerida en el llenado de Aditivo B a la mezcladora, la demanda será asignada en la cabina de operaciones cuando se configuren los parámetros iniciales.

<b>Motor de la bomba del tanque de Agente limpiador</b>	
<b>Motor eléctrico Trifásico</b>	
Marca	WEG
Potencia	3 HP
Velocidad	1800 RPM
Frame	100L
<b>Bomba de trasiego.</b>	
Marca	Viking
Modelo	HL-4124A
Presión	17 Psig
Flujo Nominal	100GPM

Tabla 39. Datos técnicos Motor de la bomba de trasiego de agente limpiador.

Fuente: Catálogos WEG / Viking. Mediciones en la planta.

### 5.10.2 Cálculo y selección del motor eléctrico de la bomba de trasiego de Agente Limpiador.



#### Datos del sistema

Díámetro de las manguera de trasiego	2 "	0.051 m
Área transversal de la manguera	2.03E-03 m <sup>2</sup>	
Velocidad (v)	5 m/s	
Caudal (Q)	1.01E-02 m <sup>3</sup> /s	
Cantidad a trasegar	1.50 m <sup>3</sup>	
Tiempo de trasiego	148.01 s	2.47 min

Tabla 40. Datos y cálculos del sistema para el bombeo de agua, para la selección del motor eléctrico de la bomba de agente limpiador. Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico empleado para el movimiento de la bomba del tanque de agente limpiador.

### Datos de aplicación

Carga del sistema (M)	<b>60</b>	kg
Diámetro (d)	<b>0.19</b>	m
Velocidad de rotación (n)	<b>600</b>	rpm
Tiempo de aceleración	<b>0.5</b>	s
Relación Motor / caja de reductora	<b>1</b>	
Relación Reductor / Bomba	<b>1</b>	
Velocidad del motor	<b>1800</b>	rpm

Tabla 41. Datos de aplicación y cálculos del sistema para el bombeo de agente limpiador, para la selección del motor eléctrico de la bomba de agente limpiador. Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico empleados para el movimiento de la bomba del tanque de agente limpiador.

### Dados calculados

<b>Torque proporcionado</b>	<b>34</b>	<b>Nm</b>
<b>Rotación eje de la bomba</b>	<b>600.00</b>	<b>rpm</b>
<b>Potencia</b>	<b>2.16</b>	<b>kW</b>
<b>Reducción</b>	<b>3.00</b>	
<b>POTENCIA SELECCIONADA</b>	<b>2.89</b>	<b>HP</b>

Tabla 42. Datos calculados para la selección del motor eléctrico de la bomba de agente limpiador. Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo y selección del motor eléctrico empleado en el movimiento de la bomba de agente limpiador.

## **5.11 Selección de los flujómetros (Caudalímetros).**

### **5.11.1 Selección del flujómetro del mezclador.**

Flujómetro tipo Sonar No Invasivo para una medición de flujo robusta. Marca CIDRA Minerals Processing.

Modelo SONARtrac. Cuyo principio de medición se basa en la interpretación de los campos acústicos producidos por los vórtices del flujo, utilizando un proceso de calibración basado en el número de Reynolds que relaciona la velocidad de las estructuras turbulentas y coherentes al flujo volumétrico.

#### Características generales:

- Disponibles desde 2" a 60" de diámetro.
- Temperatura máxima de 130°C
- Velocidades de flujo de 3 a 200 pies / segundo
- Apto para intemperie IP 66
- Salida de 4 a 20 mA
- Salida digital RS 232 o RS 485
- Protocolos fieldbus foundation y profibus
- La electrónica del transmisor esta dentro de una caja recubierta de epoxi, tipo NEMA 4.



Figura 23. Caudalímetro de concreto, tipo Sonar.

Fuente: Catalogo Tiar. <http://www.tiar.cl/>

### **5.11.2 Selección del flujómetro del silo de cemento.**

Caudalímetro para sólidos. Marca Siemens.

Modelo SITRANS WF 100. Son Caudalímetros con células de carga que monitorizan el caudal de sólidos a granel. Miden continuamente la fuerza de impacto del material alimentado por gravedad, y convierten esta señal de caudal, en una señal digital de 0 a 24 V.

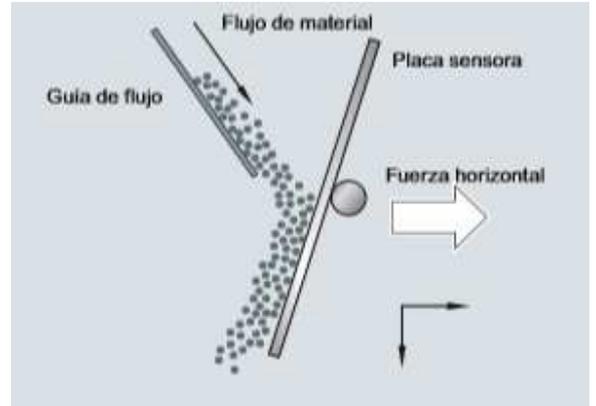


Figura 24. Caudalímetro para sólidos, SITRANS WF 100.

Fuente: Catalogo Exion. <http://www.exion.com.ar/>

### 5.11.3 Selección del flujómetro del tanque de agua.

Caudalímetro digitales para agua, marca GPI (usa) para diámetros de 3 y 4 pulgadas.

Modelo TM300 de 3" para un rango de operación de 151-1514 LPM.

Características generales:

- Rango de temperatura: 0°C A 60°C
- Conexión : NPT (HEMBRA)
- Presión máxima : 150 PSI
- Para instalación en cañerías horizontales.
- Conjunto de medición fácilmente sustituible sin retirar el medidor de la instalación.
- Rango de medición de acuerdo a lo requerido en la Norma ISO 4064 (clase B)
- Cuerpo metálico protegido de la corrosión con pintura termo fraguada.
- Contador hermético con salida de pulsos.
- Materiales plásticos de uso industrial.

- Baja pérdida de carga.



Figura 25. Caudalímetro de agua, tipo Woltmann.

Fuente: Catalogo Exion. <http://www.exion.com.ar/>

#### **5.11.4 Selección de los flujómetros de los tanques de Aditivos A y B, y del tanque de Agente Limpiador.**

Flujometro digital para combustible para utilizarlo en las tuberías de entrada al mezclador del aditivo A, aditivo b y agente limpiador. Marca Kaifeng Qingtianweiye

Medidor de caudal de combustible para la utilización en la medición de gas, líquido, etc.

##### Características generales:

- Bits 16 microprocesador- msp430
- La vida útil de la batería más de seis años para el campo de visualización
- La pantalla de campo/2 cables estándar de corriente de salida de la señal
- Dispositivo conectado/de alta fiabilidad/resistencia
- Contraseña de validación

- Temperatura del fluido - 20<sup>0</sup>C a 120<sup>0</sup>C
- Temperatura del medio ambiente 0<sup>0</sup>C a 50<sup>0</sup>C
- Precisión  $\pm 0.5\%$  a 1%
- Transductor de salida de las señales 4 a 20 mA resistencia < 500 $\Omega$ ;
- Pantallas LCD tipo flowrate (6 dígitos) & cantidad total (8 dígitos)

Fijación del instrumento:

- Fijación de difiere en varios tamaños de tubos
- Puede colocarse fijo o en posición horizontal, en posición vertical o inclinada, la tubería debe estar lleno de líquido y sin gas en él
- Seguir el indicador de dirección en la superficie del sensor, aguas arriba de longitud debe ser más que 20dn, aguas abajo de longitud por lo menos 7dn
- Instrumento debe estar lejos de cualquier campo electromagnético.



Figura 26. Flujómetro para las tuberías de Aditivo A, tubería de Aditivo B y la tubería de Agente Limpiador.

Fuente: Catalogo Kaifeng Qingtianweiye.

## **5.12 Selección de los Sensores de Nivel.**

### **5.12.1 Selección de los sensores de nivel del silo de cemento.**

Sensor capacitivo de nivel para sólidos granulados. Marca Siemens.

Modelo Pointek CLS200. Es un interruptor de nivel capacitivo y versátil que incorpora la tecnología Inverse Frequency Shift. Posee sondas de varilla o cable opcionales y una salida configurable que resulta ideal para detectar sólidos granulados, lodos, espuma e interfaces. La versión digital (con PROFIBUS PA) incluye un visualizador y funciones de diagnóstico adicionales

El Pointek CLS200 está disponible en las versiones estándar y digital.

La versión estándar tiene 3 indicadores LED con funciones simples de relé y alarma de transistor.

La versión digital integra un indicador LCD para uso como equipo stand-alone y ofrece comunicación PROFIBUS PA (versión de perfil 3.0, clase B) para la conexión a una red.

Campos de aplicación principales: líquidos, lodos, polvos, granulados, aplicaciones con presión, atmósferas potencialmente explosivas.

Características generales:

- Su diseño encapsulado protege el circuito de señal contra golpes, vibraciones, humedad y/o condensación
- Alta resistencia química
- Detección de nivel, independientemente de la tierra de referencia, de la pared del tanque/tubo de masa
- Insensible frente a sedimentaciones de producto debido a una alta frecuencia de vibración
- Alta sensibilidad que permite numerosas posibilidades de uso con líquidos, granulados o lodos
- Indicador LCD integrado para un fácil ajuste del CLS200 en la configuración del umbral de conmutación, incluso en condiciones de proceso extremadamente difíciles (solo en la versión digital)
- Se dispone de versiones con una mayor longitud de las sondas de varilla, cable y elementos sanitarios
- Versión estándar: 3 LED para indicar el estado del sensor, el estado de conmutación y la tensión
- Versión digital: indicador LCD integrado y comunicación vía PROFIBUS PA



Figura 27. Sensor de nivel capacitivo para sólidos granulados.

Fuente: Catalogo de sensores de nivel de Siemens. <http://w3.siemens.com/>

### **5.12.2 Selección de los sensores de nivel del tanque de agua, de los tanques de Aditivos A y B, y del tanque Agente Limpiador.**

Sensor de nivel para líquido, acero inoxidable, marca GILL.

Modelo Serie R

Características generales:

- SAE-5 bridas de montaje sanitarias
- Construcción en acero inoxidable.
- Disponible hasta 500mm de longitud
- Adecuado para su uso para líquidos agresivos y/o corrosivos.
- Salida Analógica de 0 – 5 V.
- Temperatura de operación de -40°C hasta +125°C.
- Calibrado en fábrica.
- Tecnología capacitiva de estado sólido.



Figura 28. Sensor de nivel capacitivo para líquidos.

Fuente: <http://sensovant.com/>

### 5.13 Cálculo de las potencias del sistema eléctrico.

Red Trifásica 440 V. Motores Eléctricos Trifásicos.								
Motores	Potencia	Voltaje Nominal	Corriente Nominal	Velocidad	Frame	Torque (lb*pie)	Corriente de Arranque	Eficiencia (%)
Motor Banda Transportadora de Agregados	20 HP	440 V	25,7 A	1775 RPM	160M	60	198 A	93,40
Mezclador	250 HP	440 V	290 A	1800 RPM	315M	750	2200 A	96,30
Motor Tornillo Sinfín Silo de cemento.	10 HP	440 V	12,7 A	1800 RPM	132S	30	104 A	92,00
Motor Bomba Tanque de aditivo A	3 HP	440 V	4,08 A	1800 RPM	100L	9	31 A	89,50
Motor Bomba Tanque de aditivo B	3 HP	440 V	4,08 A	1800 RPM	100L	9	31 A	89,50
Motor Tanque de Agua	5 HP	440 V	6,78 A	1800 RPM	112M	15	51,5 A	89,50
Motor Bomba de Agente Limpiador	3 HP	440 V	4,08 A	1800 RPM	100L	9	31 A	89,50

Corriente Total 

347,42 A
----------

Potencia Activa (P)	248883,42 VA
Potencia Reactiva (Q)	213816,84 VAr
Potencia Aparente (S)	264769,60 VA

fp: 0.94

Tabla 43 Datos de voltaje y corriente de los motores propuestos en la planta de concreto, FCC. Cálculo de potencia activa (P), potencia reactiva (Q) y potencia aparente (S), Fuente: Cálculos realizados por medio de Excel, a través de formulas para el cálculo de las potencias del sistema.

#### 5.14 Selección de los variadores de frecuencia para el control de los motores trifásicos de alta eficiencia del sistema.

Se elegirán variadores de frecuencia Marca WEG. Modelo CFW 11.

Se debe seleccionar según la corriente, el voltaje y la potencia respectiva de cada motor

Variadores de frecuencia WEG. CFW11.					
Motores	Potencia	Voltaje Nominal	Corriente Nominal	Modelo del variador de frecuencia	Factor de potencia del variador de frecuencia
Motor Banda Transportadora de Agregados	20 HP	440 V	25.7 A	CFW11, 20HP, 440V, 31A	0.94
Mezclador	250 HP	440 V	290 A	CFW11, 250HP, 440V, 290A	0.94
Motor Tornillo Sinfín Silo de cemento.	10 HP	440 V	12.7 A	CFW11, 10HP, 440V, 17A	0.94
Motor Bomba Tanque de aditivo A	3 HP	440 V	4.08 A	CFW11, 3HP, 440V, 5A	0.94
Motor Bomba Tanque de aditivo B	3 HP	440 V	4.08 A	CFW11, 3HP, 440V, 5A	0.94
Motor Tanque de Agua	5 HP	440 V	6.78 A	CFW11, 5HP, 440V, 10A	0.94
Motor Bomba de Agente Limpiador	3 HP	440 V	4.08 A	CFW11, 3HP, 440V, 5A	0.94

Tabla 44. Selección de los variadores de frecuencia marca WEG, respectivos para cada motor.

Fuente: Catálogos de variadores de frecuencia WEG. <http://ecatalog.weg.net/>

Nota: El uso de variadores de frecuencia en todos los motores optimiza el valor del factor de potencia a 0.94 lo que evita tener que utilizar un banco de capacitores para aumentarlo.

### 5.15 Selección de las protecciones de los variadores de frecuencia para el control de los motores trifásicos de alta eficiencia del sistema.

Como se utilizaran variadores de frecuencia para cada uno de los motores trifásicos utilizados en la planta, únicamente se debe proteger el circuito eléctrico del variador, ya que dichas protecciones brindaran suficiente respaldo al motor en caso de picos de corriente, cortocircuitos, caídas de fase, etc.

Protecciones del circuito eléctrico de los variadores de frecuencia de los motores trifásicos del sistema.						
Motores	Potencia	Voltaje Nominal	Corriente Nominal	Modelo del variador de frecuencia	Interruptor DWB	Fusibles Ultrarápidos
Motor Banda Transportadora de Agregados	20 HP	440 V	25.7 A	CFW11, 20HP, 440V, 31A	DWB 160N - 32A	F00NH 50A
Mezclador	250 HP	440 V	290 A	CFW11, 250HP, 440V, 290A	DWA 630H - 320 A	F00NH 355A
Motor Tornillo Sinfín Silo de cemento.	10 HP	440 V	12.7 A	CFW11, 10HP, 440V, 17A	DWB 160N - 16A	F00NH 16A

Tabla 45. Selección de los variadores de frecuencia maraca WEG, respectivos para cada motor.

Fuente: Catálogos de variadores de frecuencia WEG. <http://ecatalog.weg.net/>

Motor Bomba Tanque de aditivo A	3 HP	440 V	4.08 A	CFW11, 3HP, 440V, 5A	DWB 160N - 8A	F00NH 6A
Motor Bomba Tanque de aditivo B	3 HP	440 V	4.08 A	CFW11, 3HP, 440V, 5A	DWB 160N - 8A	F00NH 6A
Motor Tanque de Agua	5 HP	440 V	6.78 A	CFW11, 5HP, 440V, 10A	DWB 160N - 10A	F00NH 10A
Motor Bomba de Agente Limpiador	3 HP	440 V	4.08 A	CFW11, 3HP, 440V, 5A	DWB 160N - 8A	F00NH 6A

Tabla 46. Continuación selección de los variadores de frecuencia marca WEG, respectivos para cada motor.

Fuente: Catálogos de variadores de frecuencia WEG. <http://ecatalog.weg.net/>



Figura 29. Interruptores en caja moldeada WEG, Línea DW.

Fuente: <http://www.weg.net/ar/>



Figura 30. Fusibles ultrarápidos WEG, Línea NH-aR.

Fuente: <http://www.weg.net/ar/>

## 5.16 Selección del controlador lógico programable.

Por su amplia gama de aplicaciones y su fácil manipulación para este proyecto se seleccionó un controlador programable LOGO! De la marca Siemens.

El mismo tiene comunicación Ethernet para poder establecer la comunicación con la pantalla táctil utilizada en el sistema.

Interfaz Ethernet integrada.

La característica más destacada de los modelos básicos OBA7 es sin duda el interfaz Ethernet estándar. Sirve como interfaz de programación y para la comunicación con otros modelos básicos LOGO! OBA7 o componentes de automatización SIMATIC como CPU SIMATIC S7, paneles HMI y PC. A través de la interfaz Ethernet pueden contactarse en red hasta ocho módulos LOGO!



Figura 31. Fusibles ultrarápidos WEG, Línea NH-aR.

Fuente: <http://www.weg.net/ar/>

## 5.17 Diseño de la lógica del PLC.

### 5.17.1 Codificación Grafcet

<b>MOTORES</b>	
Motor Banda Transportadora de Agregados	<b>M1</b>
Motor del Mezclador	<b>M2</b>
Motor Tornillo Sinfín Silo de Cemento.	<b>M3</b>
Motor Bomba Tanque de aditivo A	<b>M4</b>
Motor Bomba Tanque de aditivo B	<b>M5</b>
Motor Tanque de Agua	<b>M6</b>
Motor Bomba de Tanque de Agente Limpiador	<b>M7</b>

<b>Variadores de Frecuencia</b>	
Variador de Frecuencia Motor Banda Transportadora de Agregados	<b>VF1</b>
Variador de Frecuencia Motor del Mezclador	<b>VF2</b>
Variador de Frecuencia Motor Tornillo Sinfín Silo de Cemento.	<b>VF3</b>
Variador de Frecuencia Motor Bomba Tanque de aditivo A	<b>VF4</b>
Variador de Frecuencia Motor Bomba Tanque de aditivo B	<b>VF5</b>
Variador de Frecuencia Motor Tanque de Agua	<b>VF6</b>
Variador de Frecuencia Motor Bomba de Agente Limpiador	<b>VF7</b>

<b>Flujómetros</b>	
Flujómetro del Mezclador	<b>F2</b>
Tornillo Sinfín Silo de Cemento.	<b>F3</b>
Tanque de aditivo A	<b>F4</b>
Tanque de aditivo B	<b>F5</b>
Tanque de Agua	<b>F6</b>
Tanque de Agente Limpiador	<b>F7</b>

<b>Sensores de Nivel</b>	
Sensor de Nivel 10% Mezclador	<b>MIX-10</b>
Sensor de Nivel 100% Silo de Cemento	<b>SC-100</b>
Sensor de Nivel 75% Silo de Cemento	<b>SC-75</b>
Sensor de Nivel 50% Silo de Cemento	<b>SC-50</b>
Sensor de Nivel 25% Silo de Cemento	<b>SC-25</b>
Sensor de Nivel 10% Silo de Cemento	<b>SC-10</b>
Sensor de Nivel 100% Tanque de aditivo A	<b>TAA-100</b>
Sensor de Nivel 75% Tanque de aditivo A	<b>TAA-75</b>
Sensor de Nivel 50% Tanque de aditivo A	<b>TAA-50</b>
Sensor de Nivel 25% Tanque de aditivo A	<b>TAA-25</b>
Sensor de Nivel 10% Tanque de aditivo A	<b>TAA-10</b>

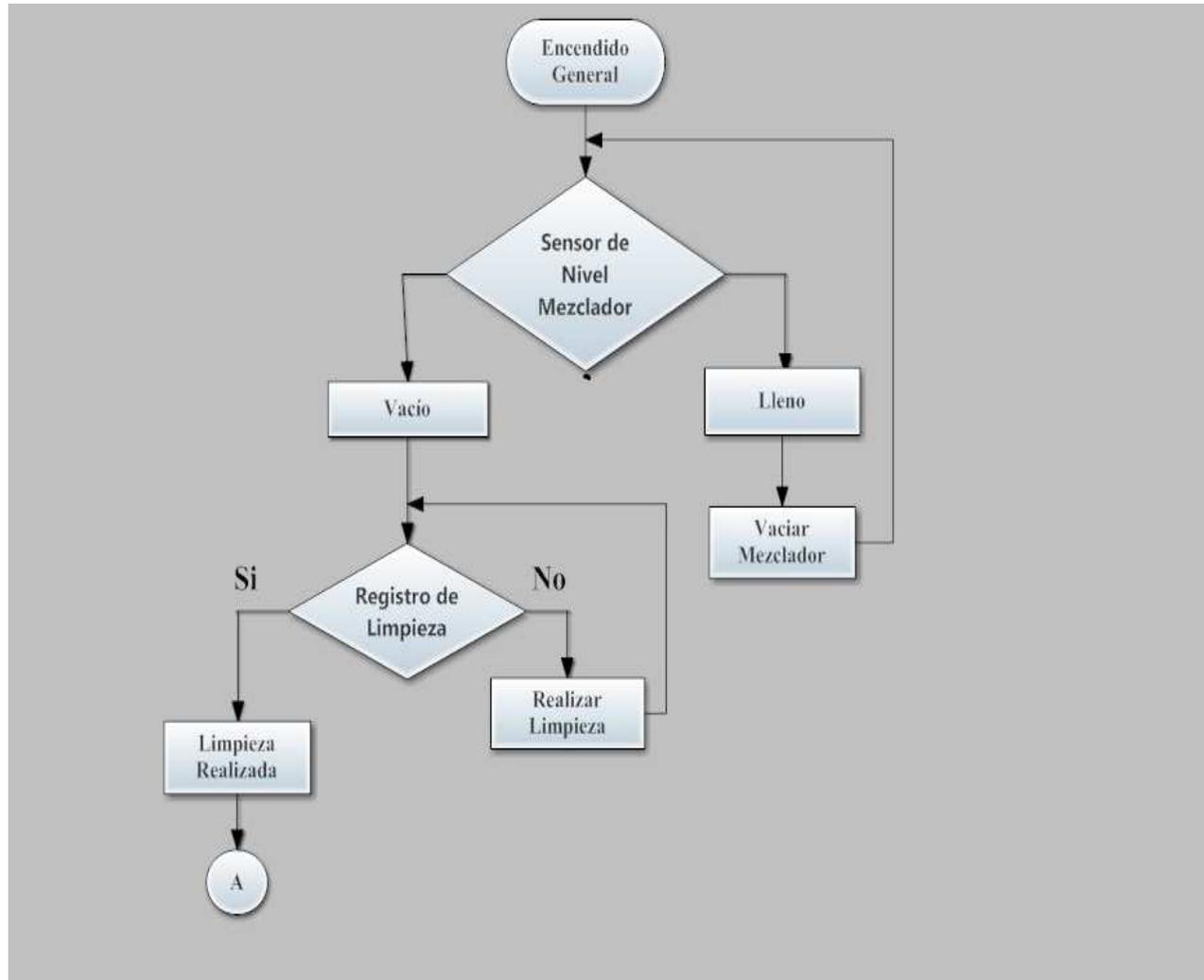
Sensor de Nivel 100% Tanque de aditivo B	<b>TAB-100</b>
Sensor de Nivel 75% Tanque de aditivo B	<b>TAB-75</b>
Sensor de Nivel 50% Tanque de aditivo B	<b>TAB-50</b>
Sensor de Nivel 25% Tanque de aditivo B	<b>TAB-25</b>
Sensor de Nivel 10% Tanque de aditivo B	<b>TAB-10</b>
Sensor de Nivel 100% Tanque de Agua	<b>TAG-100</b>
Sensor de Nivel 75% Tanque de Agua	<b>TAG-75</b>
Sensor de Nivel 50% Tanque de Agua	<b>TAG-50</b>
Sensor de Nivel 25% Tanque de Agua	<b>TAG-25</b>
Sensor de Nivel 10% Tanque de Agua	<b>TAG-10</b>
Sensor de Nivel 100% Tanque de Agente Limpiador	<b>TAL-100</b>
Sensor de Nivel 75% Tanque de Agente Limpiador	<b>TAL-75</b>
Sensor de Nivel 50% Tanque de Agente Limpiador	<b>TAL-50</b>
Sensor de Nivel 25% Tanque de Agente Limpiador	<b>TAL-25</b>
Sensor de Nivel 10% Tanque de Agente Limpiador	<b>TAL-10</b>

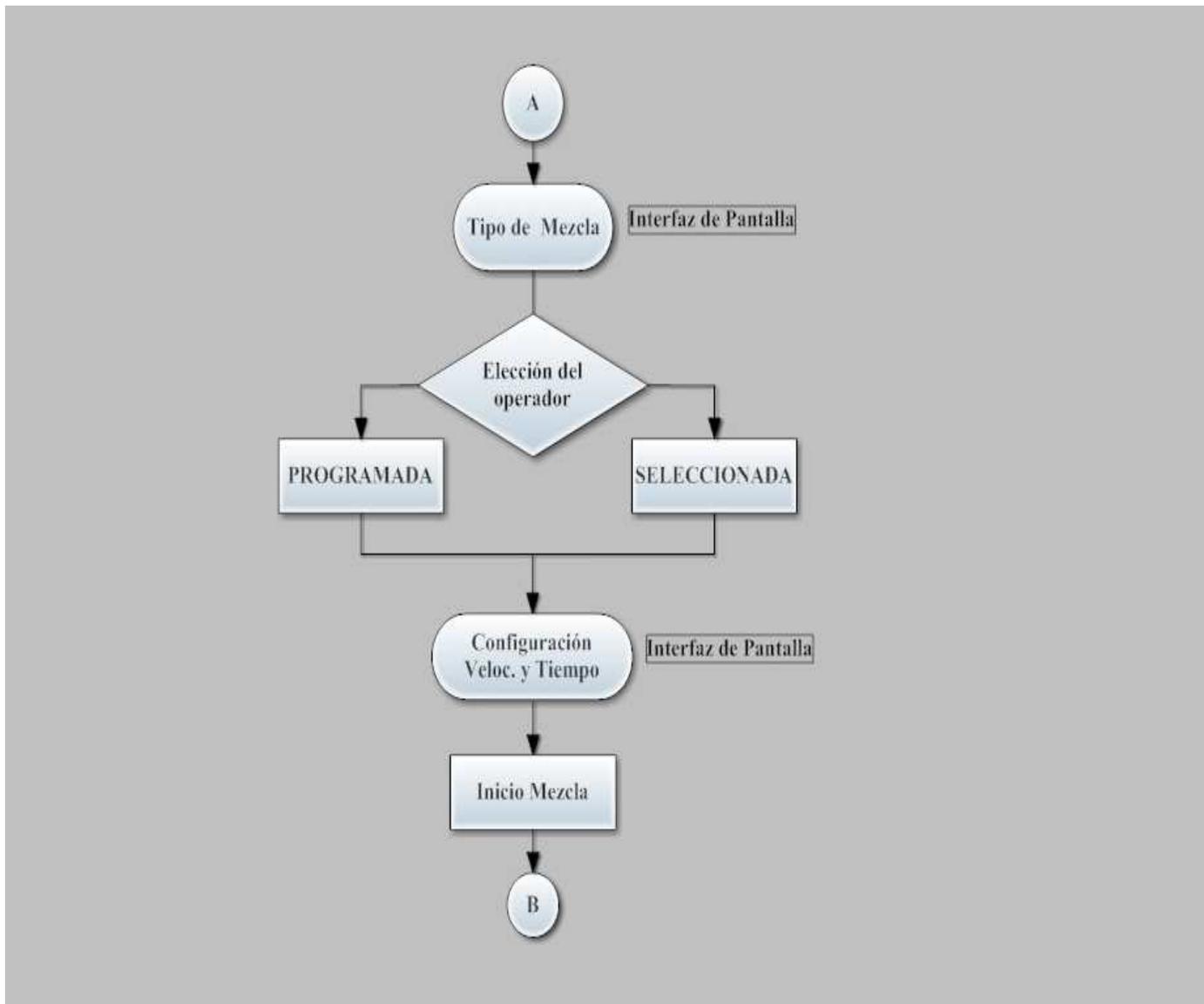
<b>Control de Tolvas de Agregados</b>	
Bascula Electrónica Tolva de Arena	<b>BE-AR1</b>
Bascula Electrónica Tolva de Grava	<b>BE-AG2</b>
Sistema de Luces Tolva de Arena	<b>SL-TA</b>

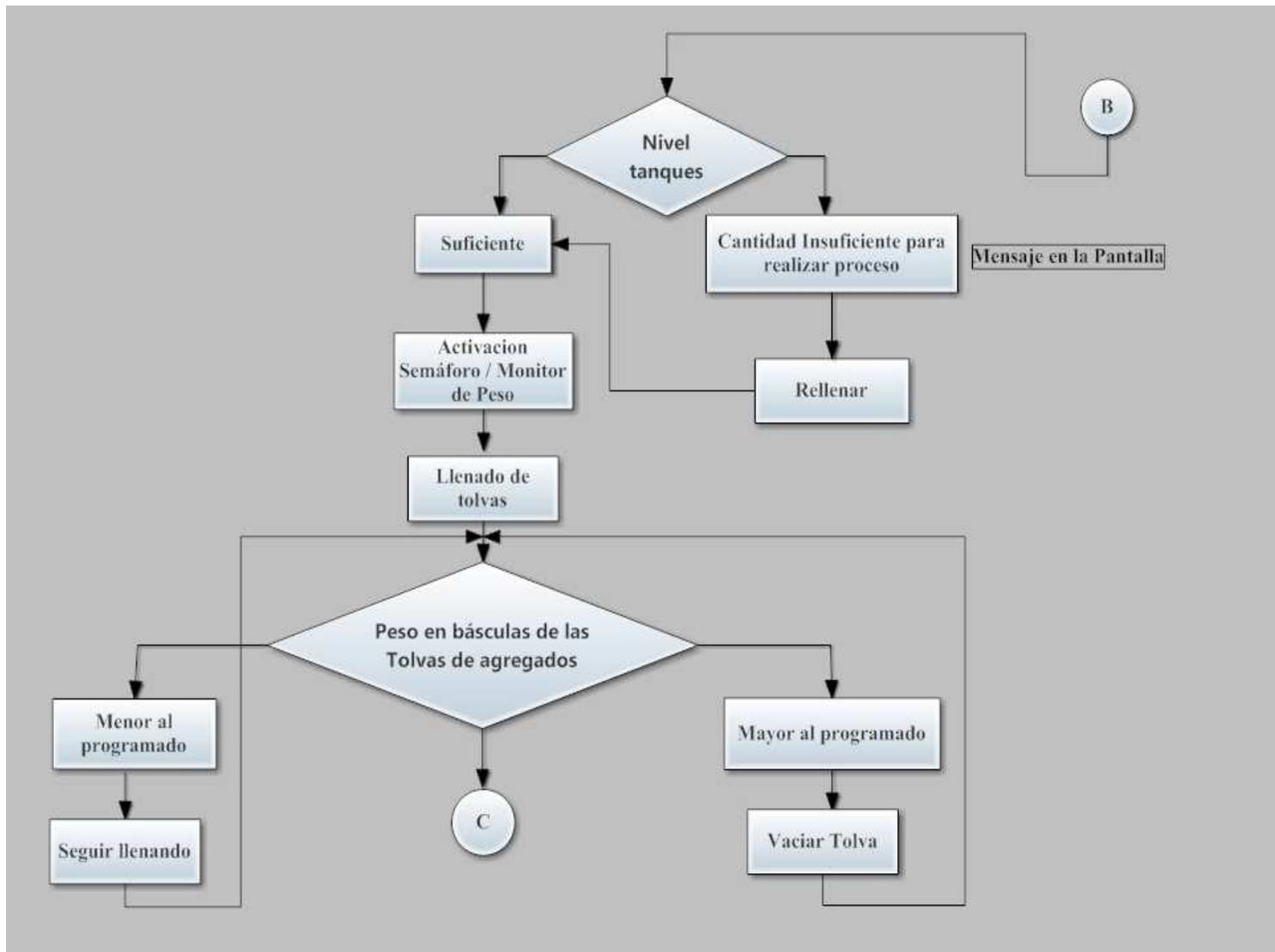
Sistema de Luces Tolva de Grava	<b>SL-TG</b>
Compuerta Neumática Tolva de Arena	<b>CN-TA</b>
Compuerta Neumática Tolva de Grava	<b>CN-TG</b>
Monitor de Peso Tolva de Arena	<b>MP-TA</b>
Monitor de Peso Tolva de Grava	<b>MP-TG</b>
Bocina de Alarma Tolva de Arena	<b>BA-TA</b>
Bocina de Alarma Tolva de Grava	<b>BA-TG</b>

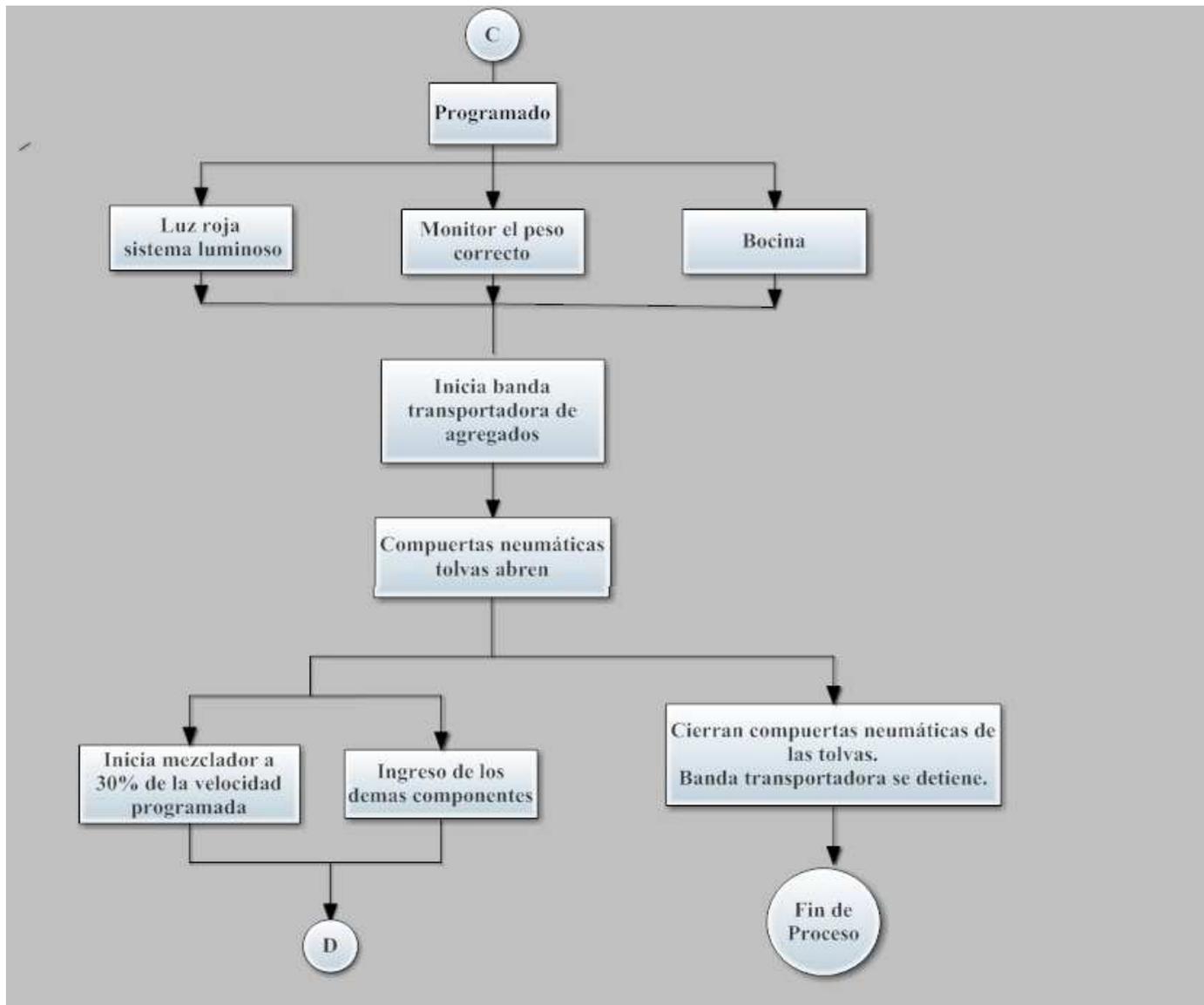
<b>Mezclador</b>	
Sensor de Posición de Camión Mezclador	<b>SC-M</b>
Sensor de Posición Tolva de Camión Mezclador	<b>ST-CM</b>
Botón de Apertura de Compuerta Hidráulica de Despacho	<b>B-CH</b>

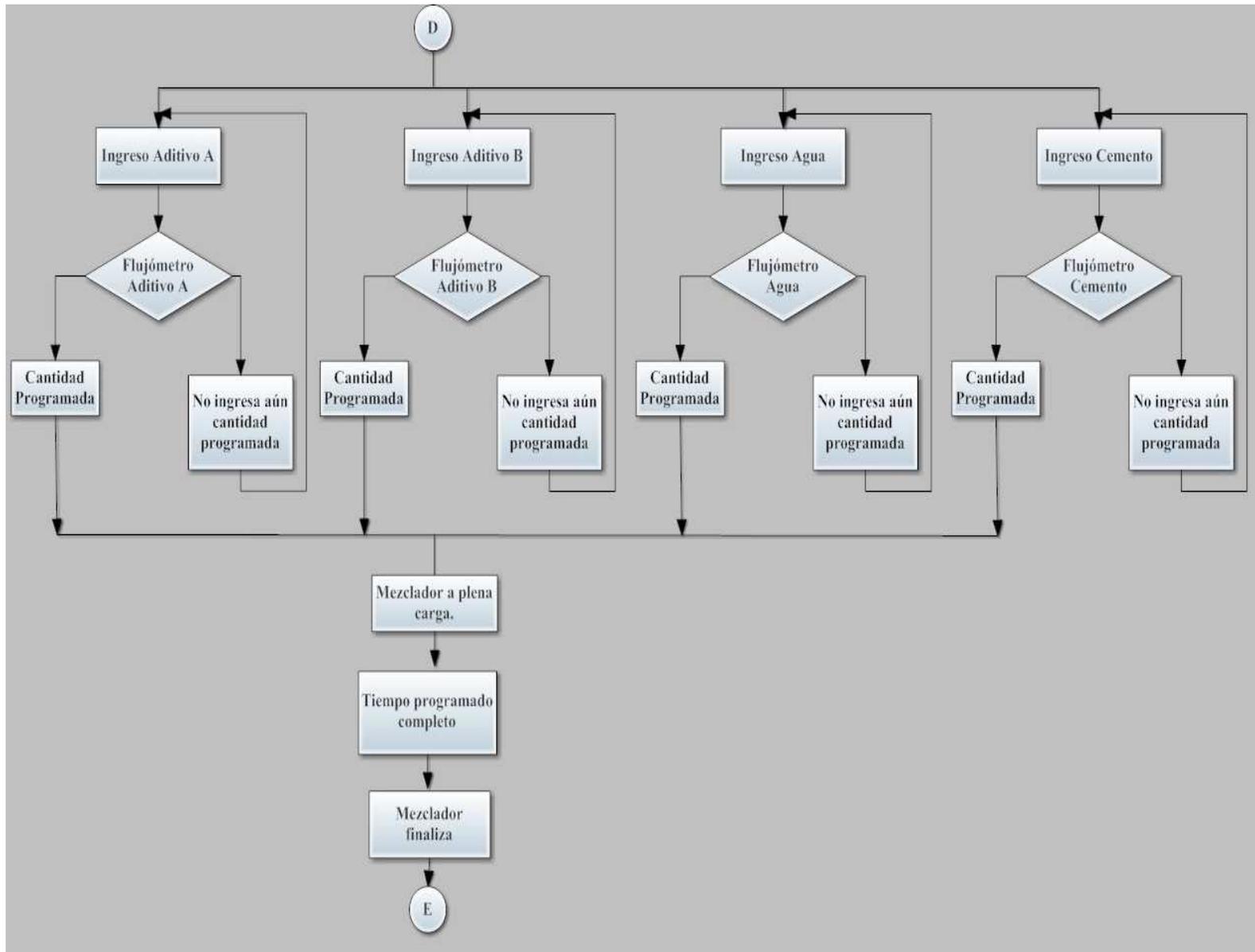
### 5.17.2 Diseño del Graficet

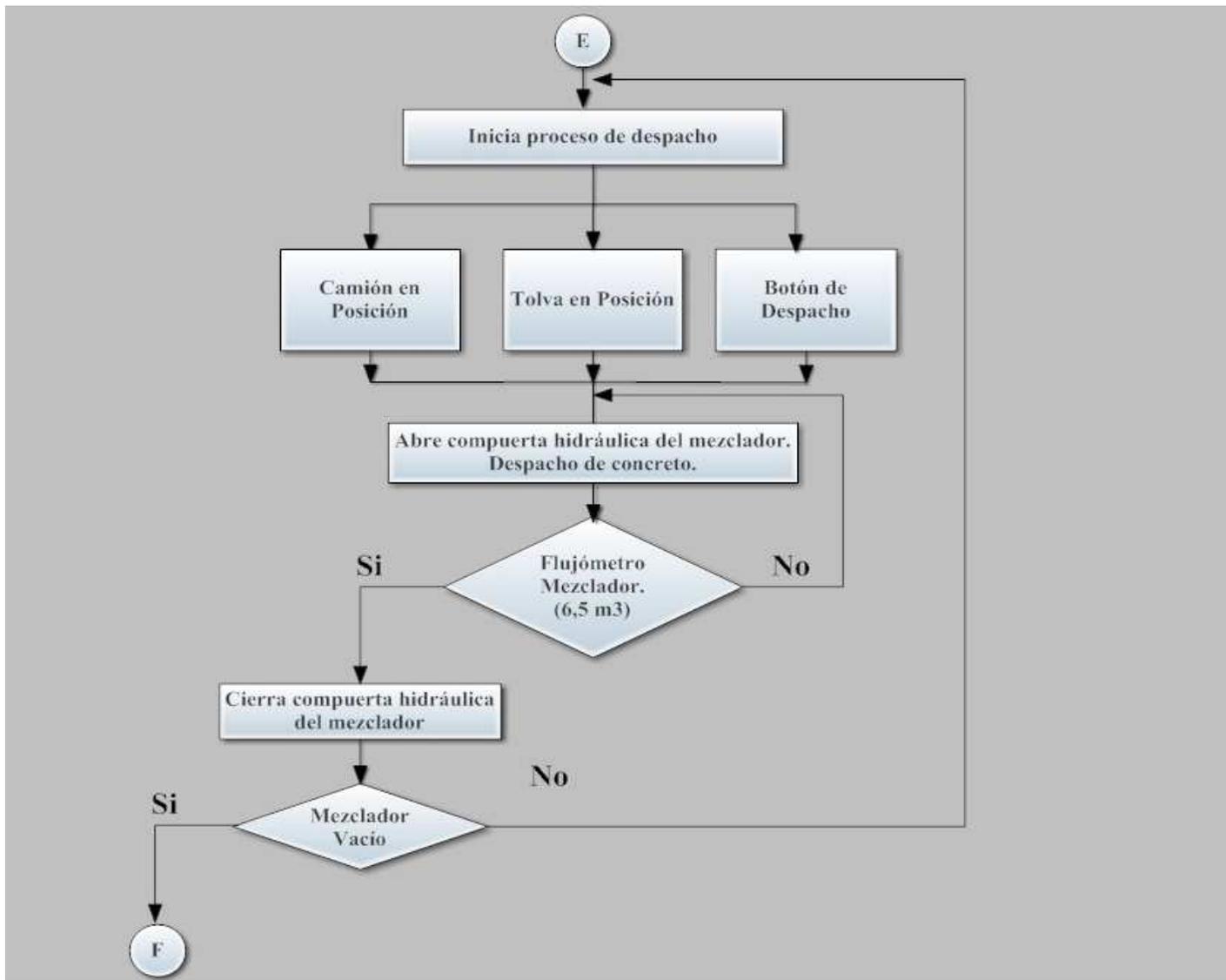


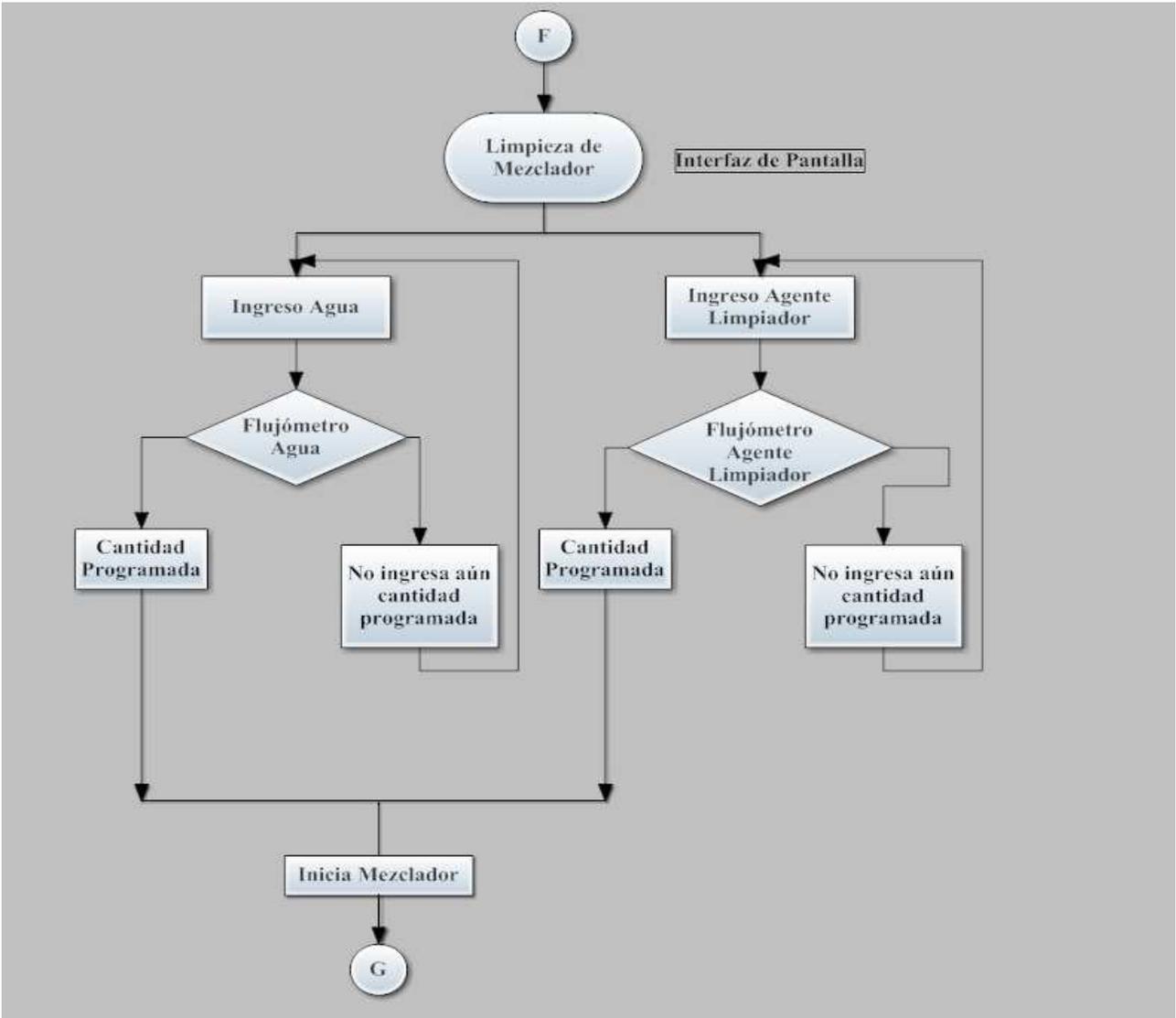


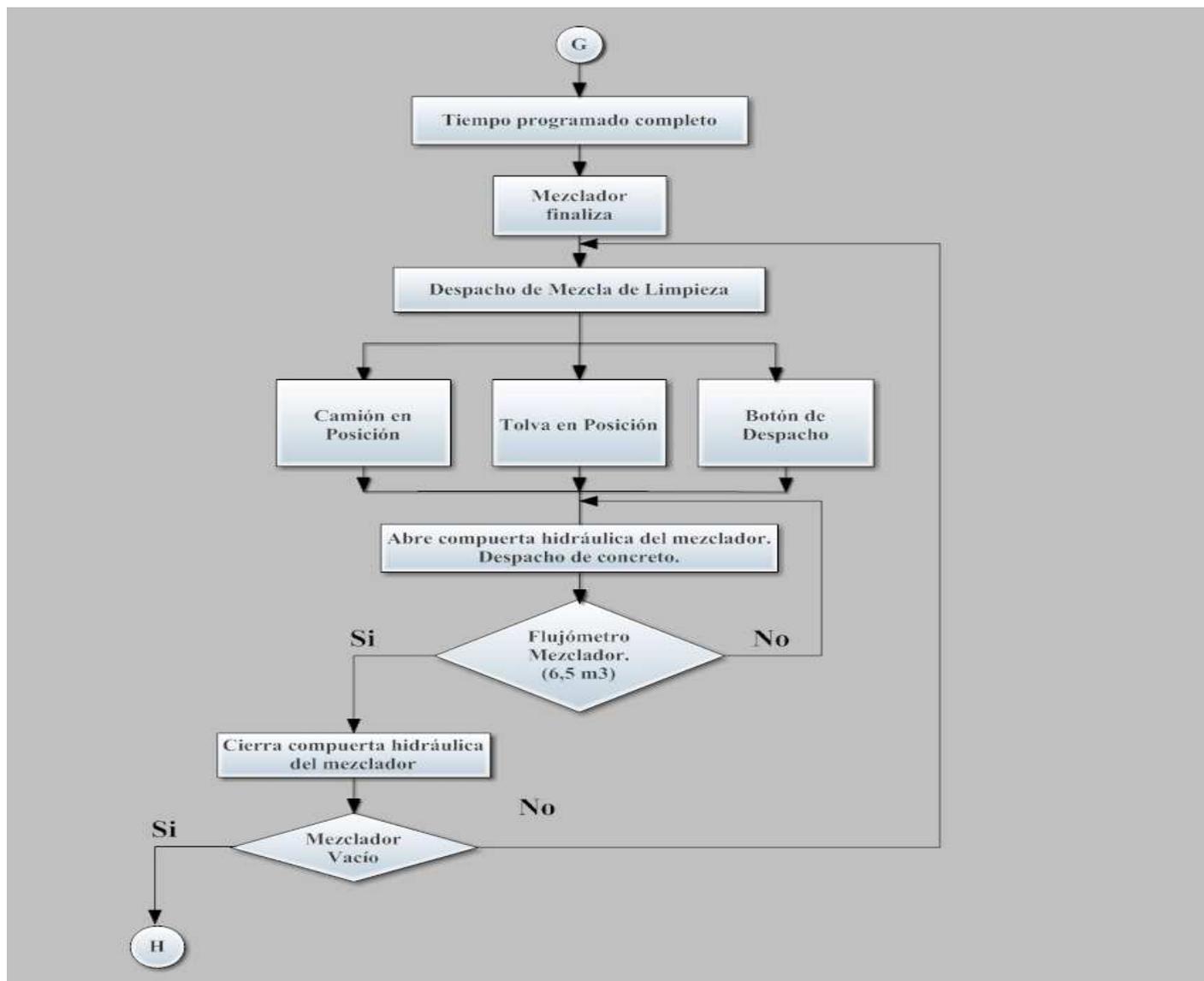


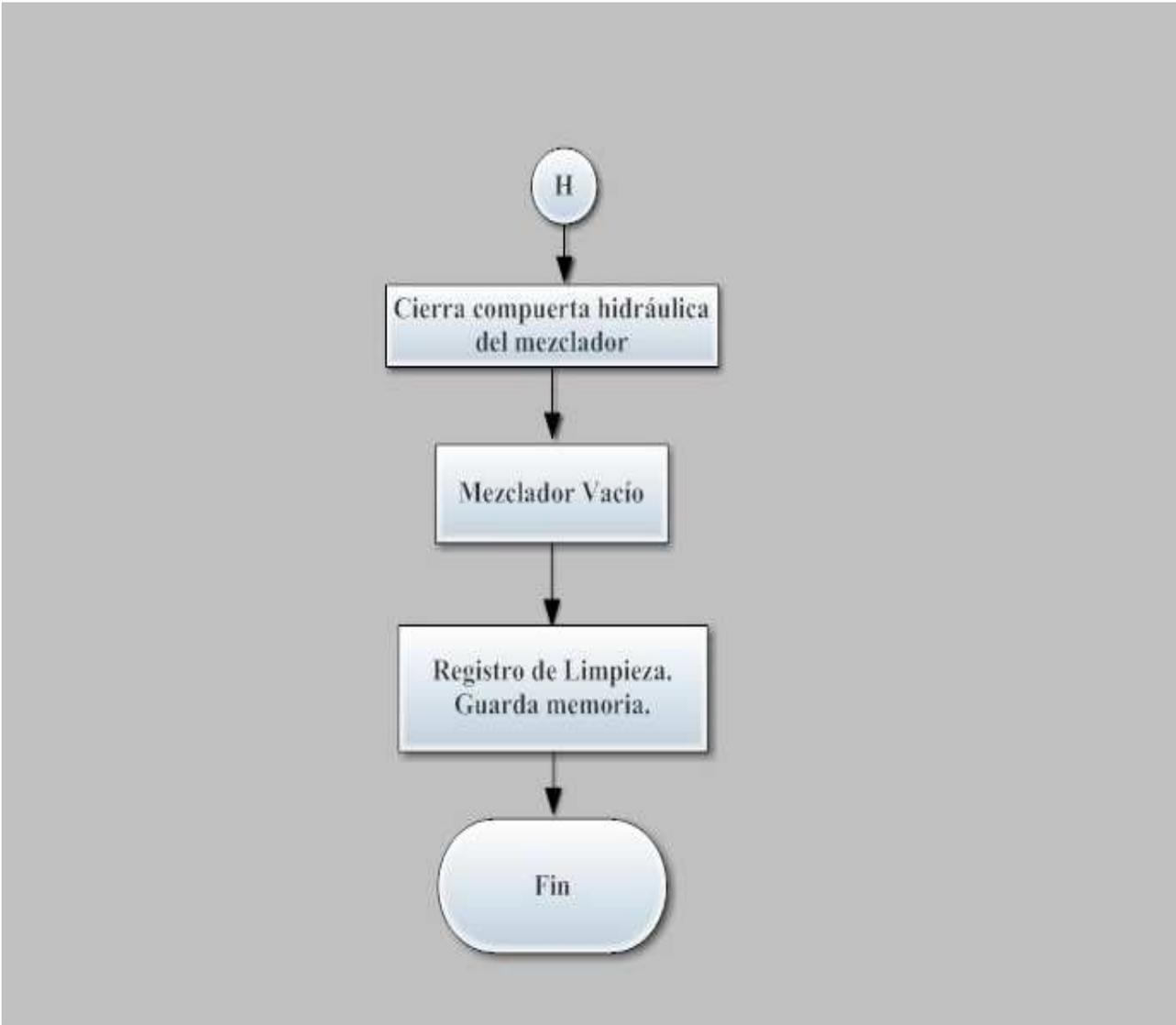












### 5.18 Selección de la pantalla touchscreen.

Se selecciono una pantalla Marca Kinco, modelo MD-10000 de 19”.

Esta pantalla será la fuente principal de todo el proceso de programación de la cabina de operaciones de la planta de concreto.

En esta pantalla se realizará toda la configuración de las mezclas del proceso productivo.

Además tendrá la capacidad de monitorear todo el proceso para establecer el proceso de distribución y mezclado.



Figura 32 Pantalla Kinco MT MT5323T-MPI  
Fuente: <http://www.weg.net/ar/>

### 5.19 Motores de Alta eficiencia y variadores de frecuencia.

Se instalaran motores con alta eficiencia para optimizar el consumo eléctrico de la planta.

Cada motor estará controlado por un variador de frecuencia, esto disminuirá totalmente los picos de arranque presentados actualmente, además de obtener un factor de potencia superior a 0.90 con lo cual se evita la multa por parte de la compañía eléctrica.



Figura 33 Ejemplo de un motor trifásico Premium de alta eficiencia IE3 marca WEG. Variador CFW11, marca WEG. Fuente: <http://www.weg.net/ar>

## Capítulo 6. Estudio de Costos

Motores	Descripción					Cantidad	Costo	Precio Final
	Potencia	Voltaje Nominal	Corriente Nominal					
Banda Transportadora de Agregados	20 HP	440 V	25.7 A			1	¢632,000.00	¢632,000.00
Mezclador	250 HP	440 V	290 A			1	¢6,453,987.00	¢6,453,987.00
Silo de cemento.	10 HP	440 V	12.7 A			1	¢234,572.00	¢234,572.00
Tanque de aditivo A	3 HP	440 V	4.08 A			1	¢145,637.00	¢145,637.00
Tanque de aditivo B	3 HP	440 V	4.08 A			1	¢145,637.00	¢145,637.00
Tanque de Agua	5 HP	440 V	6.78 A			1	¢178,561.00	¢178,561.00
Agente Limpiador	3 HP	440 V	4.08 A			1	¢145,637.00	¢145,637.00
Variadores de Frecuencia de los Motores	Modelo					Cantidad	Costo	Precio Final
Banda Transportadora de Agregados	CFW11, 20HP, 440V, 31A					1	¢1,104,085.00	¢1,104,085.00
Mezclador	CFW11, 250HP, 440V, 290A					1	¢6,842,120.00	¢6,842,120.00
Silo de cemento.	CFW11, 10HP, 440V, 17A					1	¢507,128.00	¢507,128.00
Tanque de aditivo A	CFW11, 3HP, 440V, 5A					1	¢557,320.00	¢557,320.00
Tanque de aditivo B	CFW11, 3HP, 440V, 5A					1	¢557,320.00	¢557,320.00
Tanque de Agua	CFW11, 5HP, 440V, 10A					1	¢434,954.00	¢434,954.00
Agente Limpiador	CFW11, 3HP, 440V, 5A					1	¢557,320.00	¢557,320.00

<b>Interruptor DWB (Caja Moldeada) para el circuito eléctrico de los variadores de frecuencia de los motores eléctricos</b>	<b>Modelo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>	<b>Precio Final</b>
Banda Transportadora de Agregados	DWB 160N - 32A	1	₡33,978.00	₡33,978.00
Mezclador	DWA 630H - 320 A	1	₡211,346.00	₡211,346.00
Silo de cemento.	DWB 160N - 16A	1	₡45,314.00	₡45,314.00
Tanque de aditivo A	DWB 160N - 16A	1	₡45,314.00	₡45,314.00
Tanque de aditivo B	DWB 160N - 16A	1	₡45,314.00	₡45,314.00
Tanque de Agua	DWB 160N - 16A	1	₡45,314.00	₡45,314.00
Agente Limpiador	DWB 160N - 16A	1	₡45,314.00	₡45,314.00

<b>Fusibles Ultrarápidos para el circuito eléctrico de los variadores eléctricos de los motores</b>	<b>Modelo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>	<b>Precio Final</b>
Banda Transportadora de Agregados	F00NH 50A	3	₡8,700.00	₡26,100.00
Mezclador	F00NH 350A	3	₡22,092.00	₡66,276.00
Silo de cemento.	F00NH 16A	3	₡1,161.00	₡3,483.00
Tanque de aditivo A	F00NH 6A	3	₡1,190.00	₡3,570.00
Tanque de aditivo B	F00NH 6A	3	₡1,190.00	₡3,570.00
Tanque de Agua	F00NH 10A	3	₡1,140.00	₡3,420.00

Agente Limpiador	F00NH 6A	3	₺1,190.00	₺3,570.00
Gabinetes	Modelo	Cantidad	Costo	Precio Final
Gabinete de Poliéster IP 66 (2000X800X500)	Eso	1	₺430,281.00	₺430,281.00
Gabinete de Poliéster IP 66 (2200X800X600)	Esco	1	₺1,100,660.00	₺1,100,660.00
PID	Modelo	Cantidad	Costo	Precio Final
Controlador lógico programable (PLC) _LOGO!	Siemens con Comunicación ETHERNET	1	₺96,964.00	₺96,964.00
Pantalla	Modelo	Cantidad	Costo	Precio Final
Touchscreen Kinco 19"	MD-10000	1	₺2,347,190.00	₺2,347,190.00
Flujómetros	Modelo	Cantidad	Costo	Precio Final
Mezclador	Marca CIDRA Minerals Processing.	1	₺234,762.00	₺234,762.00
Silo de Cemento	Modelo SITRANS WF 100	1	₺124,000.00	₺124,000.00
Tanque de Aditivo A	Kaifeng Qingtianweiye	1	₺46,093.00	₺46,093.00
Tanque de Aditivo B	Kaifeng Qingtianweiye	1	₺46,093.00	₺46,093.00
Tanque de Agua	Modelo TM300	1	₺33,545.00	₺33,545.00
Tanque de agente limpiador	Kaifeng Qingtianweiye	1	₺46,093.00	₺46,093.00

<b>Sensores de Nivel</b>	<b>Modelo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>	<b>Precio Final</b>
Mezclador	Modelo Pointek CL500	1	₺67,432.00	₺67,432.00
Silo de Cemento	Modelo Pointek CLS200	5	₺32,530.00	₺162,650.00
Tanque de Aditivo A	Modelo Serie R	5	₺31,532.00	₺157,660.00
Tanque de Aditivo B	Modelo Serie R	5	₺31,532.00	₺157,660.00
Tanque de Agua	Modelo Serie R	5	₺31,532.00	₺157,660.00
Tanque de agente limpiador	Modelo Serie R	5	₺31,532.00	₺157,660.00

<b>Servicio Técnico</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>	<b>Precio Final</b>
Mano de Obra	Departamento de Automatización CETRANSA	1	¢4,500,000.00	¢4,500,000.00
Viáticos (Alimentos y Traslados)		1	¢980,000.00	¢980,000.00
Materiales de Instalación		1	¢2,000,000.00	¢2,000,000.00

## **COSTO TOTAL DEL PROYECTO**

<b>¢31,924,564.00</b>
-----------------------

## Capítulo 7. Propuestas de Mejora

### 7.1 Proceso de boleta de datos.

Para el punto final del proceso de cargue de concreto en el camión mezclador se desea efectuar un proceso telemático para la interpretación de los datos obtenidos a partir de la preparación de la mezcla y los obtenidos al definir el producto establecido. La idea es crear un sistema codificador que proporcione la información necesaria de cada uno de los despachos realizados en la planta para que sirva de respaldo y control por medio de boletas impresas que establezcan todas las características del cargamento de concreto, incluyendo un análisis de cada uno de los constituyentes de la mezcla.

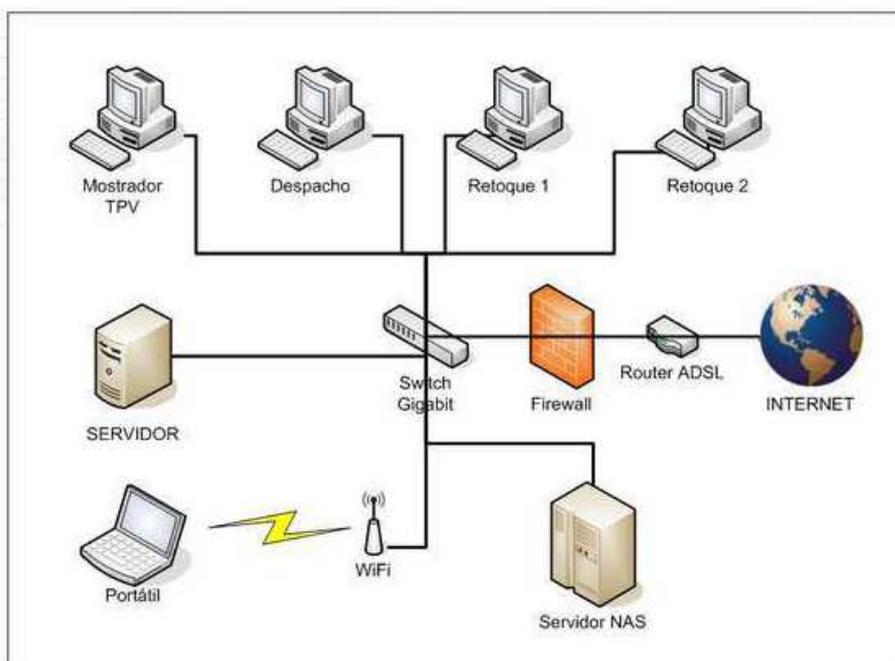


Figura 34. Ejemplo grafico del desarrollo de un proceso de una red de transferencia de datos.

Similar a lo que se propone implementar en la planta para la transmisión de datos.

Este sistema estará diseñado para reservar ciertos datos característicos los cuales a partir de un sistema de cómputo permitirá la impresión de una boleta técnica que estará conformada por los siguientes datos:

<b>Característica</b>	<b>Procedimiento para lograrlo</b>
Numero de Camión	Implementación de un tipo de sensor de código de barras que identificara cada uno de los camiones que se utilizan en el proceso de transporte de concreto.
Nombre del Conductor	Depende de la configuración de datos del personal de la planta. Generalmente van ligados a un mismo camión mezclador.
Operador de la planta	Depende de la configuración de datos y de los horarios del personal de la planta.
Numero de Tiquete (Consecutivo)	Es un consecutivo similar al que se realiza en los tiquetes de cajas o en los sistemas de facturación.
Volumen despachado de concreto	Dato suministrado por el flujómetro del mezclador.
Tipo de mezcla que lleva el camión	Mezcla elegida inicialmente en el panel de control.
Tiempo de la mezcla y tiempo que tarda en cargarla	Datos de tiempo suministrados por el sistema automatizado.
Registro de la hora en que cargo el equipo	Datos suministrados por el sistema automatizado.
Constituyentes del producto final	Proporción de los componentes utilizados en la mezcla.
Diseño que cargo el sistema por m <sup>3</sup>	Diseño seleccionado en el panel de control.

Cuanto requería cargar para todo el volumen	Datos teóricos y seleccionados en el panel de control.
Cuanto cargo en realidad	Las cantidades registradas por los flujómetros de cada uno de los componentes.
Porcentajes de las variaciones de la mezcla producida vrs la mezcla configurada. Las variaciones no deben de exceder el 1% para el agua y los cementantes y un 3% para los agregados y aditivos.	Comparación entre la mezcla seleccionada y las proporciones despachadas.

Tabla 47. Características del diseño del sistema de datos recopilados de la planta de concreto.

Fuente: Diseño Propio.

Por medio de una red Ethernet se podrá visualizar de manera digital desde cualquier punto de la planta donde se esté conectado a la red el registro de cada cargamento que se realizó. Se utiliza para validar que todo se efectuó adecuadamente.

Si en un momento dado se presenta un cargamento por fuera de los parámetros (variaciones por encima del 1% para el agua y/o cementantes y mayor de 3% para los agregados y/o aditivos), si esto ocurre, el sistema en red enviara un correo electrónico al jefe de la planta, al director de operaciones, al gerente regional, al departamento de calidad y al departamento de mantenimiento para así evitar que el cargamento salga de la planta, garantizando siempre la calidad del producto.

Si no hay ningún problema y todo esta correcto en el cargamento del camión, este puede ser despachado.

## 7.2 Tratamiento de aguas

Además se desea aprovechar parte del agua utilizada en el proceso de limpieza de los camiones y del uso en el patio de la planta, para incorporarla en el proceso de la mezcla del concreto, esta agua se almacenara previamente en tanques de sedimentación recirculada para trata de purificarla cuando ingrese nuevamente al proceso de mezcla.

La recolección y conducción de aguas industriales y lluvias se hará mediante cañuelas o acequias en concreto, que recibirán las aguas de utilizadas en el lavado de camiones, para lo cual las vías y zonas de maniobra tendrán pendientes adecuadas que permitirán la evacuación rápida de las aguas, que serán conducidas a un tanque (zona de tratamiento de aguas para la recirculación) que tendrá las funciones de sedimentador – desarenador, con lo cual esta agua será optima para el lavado de la planta e interior del mezclador, ductos y tolvas de recibo de los camiones mezcladores.

Tanto el agua filtrada de recirculación del sedimentador - desarenador, como la del tanque de agua, serán distribuidas al proceso (mezclas / lavado de planta) mediante un sistema de bombeo. El aprovechamiento de la misma minimizaría el consumo del agua y evitaría la contaminación por vertiente del alcantarillado y de las fuentes hídricas cercanas a la planta.

El objetivo es utilizar 70% de la captación del A y A y un 30% de la recirculada por el sistema de tratamiento.



Figura 35. Ejemplo grafico de un tanque de tratamiento de agua en una planta de concreto. Sedimentador – Desarenador. Fuente: <http://odisa.com/>

### 7.3 Sistema de Retorno

Por último en el sistema de tuberías de los tanques de agua, aditivos y agente mezclador se recomienda instalar un sistema de retorno, ya que cuando el flujómetro indica que las cantidades establecidas ya fueron ingresadas al mezclador y detiene el bombeo de los mismos, el material va a permanecer en las tuberías, hasta que se realice el próximo bombeo hacia el mezclador, por lo que un sistema de retorno al tanque respectivo, permitirá que el fluido regrese al tanque por gravedad.

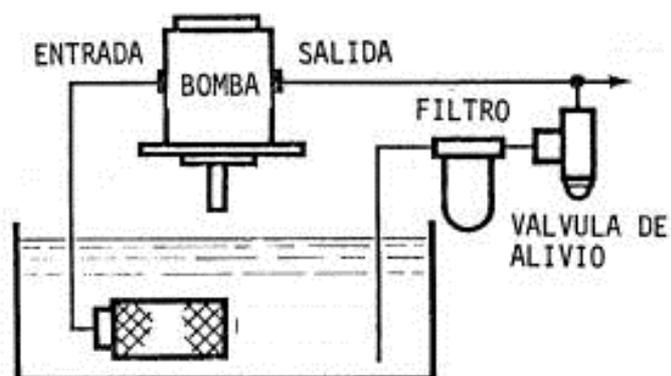


Figura 36. Ejemplo grafico de un sistema de retorno en una tubería.

Fuente: Tanques y depósitos hidráulicos. [www.cohimar.com](http://www.cohimar.com)

## Capítulo 8. Conclusiones

- Se propuso el diseño de la automatización del proceso de dosificación, mezcla y despacho de la planta de concreto para mejorar la calidad de la mezcla de sus componentes.
- Se propuso mejorar los procesos primordiales en la distribución de los componentes al mezclador de la planta de concreto.
- Se propuso mejorar el aprovechamiento de la energía eléctrica en la planta utilizando motores de alta eficiencia (super premium).
- Se propuso mejorar el factor de potencia de la planta mediante el uso de variadores de frecuencia en cada uno de los motores eléctricos de la planta.
- Se propuso la eliminación de los arranques directos los cuales ocasionan picos de corriente al activar cada uno de los motores, por medio del uso de variadores de frecuencia los cuales permitirán que el comportamiento de la velocidad de los motores sea controlado proporcionalmente hasta alcanzar la velocidad establecida.
- Se diseño un sistema de limpieza para incrementar la durabilidad y mantenibilidad del mezclador.
- El diseño fue aprobado por el departamento de ingeniería la empresa FCC, se encuentra en fase de análisis financiero.
- El sistema automatizado está diseñado para brindar la información más básica de todo el proceso de mezclado y de la proporción de sus materias primas.

## Capítulo 9. Bibliografía

A continuación se presenta una lista de libros que pueden ser consultados por el estudiante en la biblioteca del ITCR.

- Mandado, Enrique; Marcos, Jorge; Fernández, Celso; Armesto, José. *Autómatas Programables y sistemas de automatización*. 2da Edición. Alfaomega Grupo Editor, S.A. de CV., México. 2009. ISBN:98-607-7686-73-6
- McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.U. *Principios de Electronica*. 6ta Edición. Aravaca, Madrid. ISBN:84-4812568-1

Además de algunas de las páginas web mas consultadas.

- Siemens. *Siemens Global Website* [en Línea]. [Consulta: 10 octubre 2014]. Disponible en <http://www.siemens.com/entry/cc/en/>.
- WEG. *Weg Worldwide* [en Línea]. [Consulta: 06 octubre 2014]. Disponible en <http://www.weg.net/>.

## Capítulo 10. Anexos, apéndices, cuadros, gráficos, etc.

### 10.1 Características del motor seleccionado para el motoreductor del silo de cemento

Motor Trifásico Marca WEG W22 Carcasa de Hierro Gris - Premium Efficiency - IE3

Carcasa: **132S**

Potencia: **10 HP**

Frecuencia: **60 Hz**

Polos: **4**

Rotación nominal: **1765**

Deslizamiento: **1,94 %**

Voltaje nominal: **440 V**

Corriente nominal: **12,7 A**

Corriente de arranque: **104 A**

Ip / In: **8,2**

Corriente en vacío: **6,00 A**

Par nominal: **40,6 Nm**

Par de arranque: **230 %**

Par máxima: **350 %**

Categoría: **N**

Clase de aislación: **F**

Elevación de temperatura: **80 K**

Tiempo de rotor bloqueado: **13 s (caliente)**

Factor de Servicio: **1,25**

Régimen de servicio: **S1**

Temperatura Ambiente: **-20°C – +40°C**

Altitud: **1000 m**

Protección: **IPW55**

Masa aproximada: **72 kg**

Momento de inercia: **0,05631 kgm<sup>2</sup>**

Rendimiento (%)		
50%	75%	100%
90,8	91,6	92,0

Factor de Potencia		
50%	75%	100%
0,66	0,78	0,84

## 10.2 Características del motor seleccionado para la banda transportadora de agregados.

Motor Trifásico Marca WEG W22 Carcasa de Hierro Gris - Premium Efficiency - IE3

Carcasa: **160M**

Potencia: **20 HP**

Frecuencia: **60 Hz**

Polos: **4**

Rotación nominal: **1775**

Deslizamiento: **1,39 %**

Voltaje nominal: **440 V**

Corriente nominal: **25,7 A**

Corriente de arranque: **198 A**

Ip / In: **7,7**

Corriente en vacío: **13,0 A**

Par nominal: **80,7 Nm**

Par de arranque: **300 %**

Par máxima: **350 %**

Categoría: **N**

Clase de aislación: **F**

Elevación de temperatura: **80 K**

Tiempo de rotor bloqueado: **13 s (caliente)**

Factor de Servicio: **1,25**

Régimen de servicio: **S1**

Temperatura Ambiente: **-20°C – +40°C**

Altitud: **1000 m**

Protección: **IPW55**

Masa aproximada: **133 kg**

Momento de inercia: **0,14707 kgm<sup>2</sup>**

<b>Rendimiento (%)</b>		
<b>50%</b>	<b>75%</b>	<b>100%</b>
91,6	93,2	93,4

<b>Factor de Potencia</b>		
<b>50%</b>	<b>75%</b>	<b>100%</b>
0,64	0,75	0,82

### 10.3 Características del motor seleccionado para el motoreductor del mezclador.

Motor Trifásico Marca WEG W22 Carcasa de Hierro Gris - Premium Efficiency - IE3

Carcasa: **315S/M**

Potencia: **250 HP**

Frecuencia: **60 Hz**

Polos: **4**

Rotación nominal: **1790**

Deslizamiento: **0,56 %**

Voltaje nominal: **440 V**

Corriente nominal: **290 A**

Corriente de arranque: **2200 A**

Ip / In: **7,6**

Corriente en vacío: **100 A**

Par nominal: **988 Nm**

Par de arranque: **240 %**

Par máxima: **250 %**

Categoría: **N**

Clase de aislación: **F**

Elevación de temperatura: **80 K**

Tiempo de rotor bloqueado: **20 s (caliente)**

Factor de Servicio: **1,25**

Régimen de servicio: **S1**

Temperatura Ambiente: **-20°C – +40°C**

Altitud: **1000 m**

Protección: **IPW55**

Masa aproximada: **1072 kg**

Momento de inercia: **3,8858 kgm<sup>2</sup>**

Nivel de ruido: **75 dB(A)**

<b>Rendimiento (%)</b>		
<b>50%</b>	<b>75%</b>	<b>100%</b>
95,3	96,0	96,3

<b>Factor de Potencia</b>		
<b>50%</b>	<b>75%</b>	<b>100%</b>
0,75	0,83	0,87

#### 10.4 Características del motor seleccionado para la bomba de trasiego Aditivo A.

Motor Trifásico Marca WEG W22 Carcasa de Hierro Gris - Premium Efficiency - IE3

Carcasa: **100L**

Potencia: **3 HP**

Frecuencia: **60 Hz**

Polos: **4**

Rotación nominal: **1740**

Deslizamiento: **3,33 %**

Voltaje nominal: **440 V**

Corriente nominal: **4,08 A**

Corriente de arranque: **31,0 A**

$I_p / I_n$ : **7,6**

Corriente en vacío: **2,30 A**

Par nominal: **12,1 Nm**

Par de arranque: **380 %**

Par máxima: **370 %**

Categoría: **N**

Clase de aislación: **F**

Elevación de temperatura: **80 K**

Tiempo de rotor bloqueado: **24 s (caliente)**

Factor de Servicio: **1,25**

Régimen de servicio: **S1**

Temperatura Ambiente: **-20°C – +40°C**

Altitud: **1000 m**

Protección: **IPW55**

Masa aproximada: **33 kg**

Momento de inercia: **0,00968 kgm<sup>2</sup>**

Nivel de ruido: **54 dB(A)**

<b>Rendimiento (%)</b>		
<b>50%</b>	<b>75%</b>	<b>100%</b>
86,6	88,2	89,5

<b>Factor de Potencia</b>		
<b>50%</b>	<b>75%</b>	<b>100%</b>
0,59	0,72	0,79

## 10.5 Características del motor seleccionado para la bomba de trasiego de Aditivo B.

Motor Trifásico Marca WEG W22 Carcasa de Hierro Gris - Premium Efficiency - IE3

Carcasa: **100L**

Potencia: **3 HP**

Frecuencia: **60 Hz**

Polos: **4**

Rotación nominal: **1740**

Deslizamiento: **3,33 %**

Voltaje nominal: **440 V**

Corriente nominal: **4,08 A**

Corriente de arranque: **31,0 A**

$I_p / I_n$ : **7,6**

Corriente en vacío: **2,30 A**

Par nominal: **12,1 Nm**

Par de arranque: **380 %**

Par máxima: **370 %**

Categoría: **N**

Clase de aislación: **F**

Elevación de temperatura: **80 K**

Tiempo de rotor bloqueado: **24 s (caliente)**

Factor de Servicio: **1,25**

Régimen de servicio: **S1**

Temperatura Ambiente: **-20°C – +40°C**

Altitud: **1000 m**

Protección: **IPW55**

Masa aproximada: **33 kg**

Momento de inercia: **0,00968 kgm<sup>2</sup>**

Nivel de ruido: **54 dB(A)**

<b>Rendimiento (%)</b>		
<b>50%</b>	<b>75%</b>	<b>100%</b>
86,6	88,2	89,5

<b>Factor de Potencia</b>		
<b>50%</b>	<b>75%</b>	<b>100%</b>
0,59	0,72	0,79

## 10.6 Características del motor seleccionado para la bomba de trasiego de Agua.

Motor Trifásico Marca WEG W22 Carcasa de Hierro Gris - Premium Efficiency - IE3

Carcasa: **112M**

Potencia: **5 HP**

Frecuencia: **60 Hz**

Polos: **4**

Rotación nominal: **1755**

Deslizamiento: **2,50 %**

Voltaje nominal: **440 V**

Corriente nominal: **6,78 A**

Corriente de arranque: **51,5 A**

$I_p / I_n$ : **7,6**

Corriente en vacío: **3,74 A**

Par nominal: **20,1 Nm**

Par de arranque: **240 %**

Par máxima: **330 %**

Categoría: **N**

Clase de aislación: **F**

Elevación de temperatura: **80 K**

Tiempo de rotor bloqueado: **23 s (caliente)**

Factor de Servicio: **1,25**

Régimen de servicio: **S1**

Temperatura Ambiente: **-20°C – +40°C**

Altitud: **1000 m**

Protección: **IPW55**

Masa aproximada: **44 kg**

Momento de inercia: **0,01811 kgm<sup>2</sup>**

Nivel de ruido: **56 dB(A)**

<b>Rendimiento (%)</b>		
<b>50%</b>	<b>75%</b>	<b>100%</b>
88,1	89,3	89,5

<b>Factor de Potencia</b>		
<b>50%</b>	<b>75%</b>	<b>100%</b>
0,61	0,74	0,80

## 10.7 Características del motor seleccionado para la bomba de trasiego de Agente Limpiador.

Motor Trifásico Marca WEG W22 Carcasa de Hierro Gris - Premium Efficiency - IE3

Carcasa: **100L**

Potencia: **3 HP**

Frecuencia: **60 Hz**

Polos: **4**

Rotación nominal: **1740**

Deslizamiento: **3,33 %**

Voltaje nominal: **440 V**

Corriente nominal: **4,08 A**

Corriente de arranque: **31,0 A**

Ip / In: **7,6**

Corriente en vacío: **2,30 A**

Par nominal: **12,1 Nm**

Par de arranque: **380 %**

Par máxima: **370 %**

Categoría: **N**

Clase de aislación: **F**

Elevación de temperatura: **80 K**

Tiempo de rotor bloqueado: **24 s (caliente)**

Factor de Servicio: **1,25**

Régimen de servicio: **S1**

Temperatura Ambiente: **-20°C – +40°C**

Altitud: **1000 m**

Protección: **IPW55**

Masa aproximada: **33 kg**

Momento de inercia: **0,00968 kgm<sup>2</sup>**

Rendimiento (%)		
50%	75%	100%
86,6	88,2	89,5

Factor de Potencia		
50%	75%	100%
0,59	0,72	0,79

