

MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE COMBUSTIÓN DE LA CALDERA Y
MONITOREO DE TEMPERATURA DE LAS ETAPAS DE PRODUCCIÓN EN
LA PLANTA DE MEZCLA ASFÁLTICA DE LA EMPRESA RUMA
INGENIERÍA S.A.S.

JOHAN ALBERTO MALDONADO TORRES

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

BUCARAMANGA

2021

MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE COMBUSTIÓN DE LA CALDERA Y
MONITOREO DE TEMPERATURA DE LAS ETAPAS DE PRODUCCIÓN EN LA
PLANTA DE MEZCLA ASFÁLTICA DE LA EMPRESA RUMA INGENIERÍA S.A.S.

JOHAN ALBERTO MALDONADO TORRES

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECATRÓNICO

DIRECTOR:

M.SC. Hernando González Acevedo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

BUCARAMANGA

2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

M. Sc. Hernando González Acevedo

Director de Proyecto

M. Sc. Roger Peña Meza

Evaluador de Proyecto

M. Sc. Carlos Adolfo Forero González

Evaluador de Proyecto

Bucaramanga, 10 de diciembre de 2021

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios, pieza fundamental de este logro, por haberme permitido cursar becado este programa en una excelente universidad. Le agradezco a mis padres Enna Milena y Lucas Alberto (QEPD) por apoyarme, y motivarme a continuar en todo momento. A mi novia Karina, por acompañarme durante este ciclo lectivo, por sus consejos y fortaleza hasta alcanzar juntos nuestro grado.

Agradezco a mis hermanos Anggie Marcela y Sergio Alejandro, por su acompañamiento y entusiasmo. A mi tía Nubia y a mi abuela María por su apoyo, alegría y confianza incondicional.

Le agradezco al Ingeniero Carlos Forero, por su acompañamiento como director de programa de Ingeniería Mecatrónica. A los Ingenieros Hernando González y Jessica Maradey por aceptar el reto de ser mis directores de este último trabajo universitario. A los ingenieros Johann Barragán, Camilo Moncada, Faustino Muñoz, Magda Villamil, Edward González, Roger Peña, entre otros, por su enorme aporte a mi formación profesional.

Agradezco al Ingeniero Luis Guillermo Ruiz Machado, y a la empresa RUMA INGENIERÍA S.A.S, a Benjamín y Daniel Esquivel, y a todo el personal, por permitirme laborar en esta empresa, por su confianza para desarrollar mi proyecto de grado en función de ellos.

Le agradezco al programa Ser Pilo Paga y al ex-presidente Juan Manuel Santos, por la oportunidad que nos dieron a más de 40.000 “Pilos” de alcanzar esta importante meta.

DEDICATORIA

Le dedico este triunfo a Dios, porque sin él no lo hubiese conseguido; también a todas aquellas personas que me motivaron e impulsaron a seguir adelante a pesar de las adversidades.

A mi mamá Enna Milena y mi novia Karina, por nunca dejar de creer en mí, por impulsarme y apoyarme incondicionalmente.

A mi padre Lucas Alberto, quien siempre quiso ver a sus hijos profesionales; “papá, ¡lo logré!”

Se lo dedico a mis tíos, a mis abuelos, hermanos y a mi perro, por ser parte de ese motor que me impulsó a lograrlo.

Me dedico también este triunfo, por finalmente alcanzarlo.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE TABLAS	11
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	12
GLOSARIO.....	13
ABREVIATURAS.....	17
INTRODUCCIÓN	20
OBJETIVOS	22
OBJETIVO GENERAL.....	22
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	23
1.1. MARCO TEÓRICO.....	23
1.1.1. ASFALTO	23
1.1.2. TÉCNICAS DE PRODUCCIÓN DE ASFALTOS.....	23
1.1.3. PLANTA DE ASFALTO.....	24
1.1.4. CLASIFICACIÓN DE LAS PLANTAS DE ASFALTO.....	25
1.1.5. CALDERAS DE VAPOR.....	26
1.1.6. QUEMADORES.....	26
1.1.7. COMBUSTIÓN.....	27
1.2. FUNCIONAMIENTO Y ETAPAS DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA.....	28
2. INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE.....	44
2.1. SELECCIÓN DE SENSORES Y ACTUADORES	44
2.1.1. CONTEXTUALIZACIÓN DEL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.....	44
2.1.2. SELECCIÓN DE LA INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA.....	45
2.1.3. SELECCIÓN DE MÓDULO DE PESAJE.....	46
2.1.4. SELECCIÓN DE MÓDULO DE ENTRADAS ANALÓGICAS	47
2.1.5. SELECCIÓN DE LOS SENSORES DE TEMPERATURA	48
2.1.6. SELECCIÓN DEL TERMOPOZO PARA TANQUE DE ASFALTO	49
2.1.7. SELECCIÓN DEL TRANSMISOR DE TEMPERATURA	50
2.2.8. SELECCIÓN DEL QUEMADOR PARA CALDERA.....	52
2.3. INGENIERÍA DE DETALLE.....	55
2.3.1. COMUNICACIÓN DEL PLC CON LOS V.D.F.....	56

2.3.2.	PROGRAMACIÓN DE LOS SENSORES DE TEMPERATURA	59
2.3.3.	PROGRAMACIÓN DEL MÓDULO DE PESAJE.....	66
2.3.4.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MECANISMO PARA DOSIFICACIÓN DE MATERIAL EN LA TOLVA 1.....	68
3.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA	70
3.1.	PROGRAMACIÓN DE LA HMI.....	70
4.	CONCLUSIONES.....	76
5.	ANEXOS.....	81
5.1.	QUEMADOR RIELLO RS 34 MZ	81
5.1.2.	DIMENSIONES DEL CONTROLADOR DEL SIEMENS LMV 27	83
5.2.	PROPUESTA DE CONTROL DE QUEMADOR.....	84
5.3.	ACEPTACIÓN DE PROYECTO – EMPRESA RUMA INGENIERÍA S.A.S.....	86
5.4.	COMPRA DE QUEMADOR – EMPRESA RUMA INGENIERÍA S.A.S.....	87
5.5.	MANUAL DE USURIO DE LA HMI	88
5.6.	LISTA DE ICONOS HMI	96
5.6.	MANUAL DE USUARIO DE LA HMI 2.0.....	106
5.7.	PLANOS DE LA PLANTA	108
5.7.1.	PLANO DE DISTRIBUCIÓN FÍSICA DE LA PLANTA DE ASFALTO.....	108
5.7.2.	PLANO UNIFILAR - ELÉCTRICO DE LA PLANTA DE ASFALTO	109
5.7.3.	PLANO DE CONEXIONES DE CONTROL DE LA PLANTA DE ASFALTO ...	110
5.7.4.	PLANO DE INSTRUMENTACIÓN PI&D DE LA PLANTA DE ASFALTO.....	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de producción de productos asfálticos	24
Figura 2. Partes de una planta de asfalto	25
Figura 3. Quemadores de aceite combustóleo o fuel oil.....	27
Figura 4. Triángulo de combustión	28
Figura 5. Tolvas para material pétreo.....	29
Figura 6. Banda Colectora de material y Malla Zaranda	30
Figura 7. Banda lanzadora.	31
Figura 8. Motor de tambor mezclador	31
Figura 9. Ventilador del quemador	32
Figura 10. Bomba de combustible.	32
Figura 11. Tambor mezclador - Quemador - Colector de finos	33
Figura 12. Tubería del colector de finos.	33
Figura 13. Piscina de lodos.	34
Figura 14. Bomba de asfalto	34
Figura 15. Bomba de descargue.	35
Figura 16. Caldera de la planta de Ruma Ingeniería S.A.S.	35
Figura 17. Tubería Encendido de Caldera y Calentamiento de Asfalto	35
Figura 18. Quemador de la caldera de la planta.	36
Figura 19. Compresor de aire.	36
Figura 20. Bomba de combustible.	36
Figura 21. Electrodo de ignición improvisado.....	37
Figura 22. Paletas mezcladoras.....	37
Figura 23. Banda elevadora	38
Figura 24. Tolva de bachadas	38
Figura 25. Compresor para la apertura de la compuerta de la tolva de bachadas	39
Figura 26. Tablero de control de la planta de asfalto.	39
Figura 27. Botonera para el funcionamiento de la planta de asfalto.	40
Figura 28. Diagrama de flujo - Planta de Asfalto 2.....	41
Figura 29. Diagrama de flujo - Planta de Asfalto 1.....	43
Figura 30. Dimensiones del PLC LX3V 3624 M	45
Figura 31. Dimensiones del módulo de pesaje Wecon LX3V - 1WT	47
Figura 32. Módulo de conversión LX3V-4AD.....	48
Figura 33. Termocupla Tipo J – Electro-sensores.....	49
Figura 34. Dimensiones del transmisor de temperatura Pixsys 2000.35.015	51
Figura 35. Diagrama de control de lazo cerrado para la implementación del quemador.....	54
Figura 36. Ejemplo programación variador / plc comunicación modbus	58
Figura 37. Lectura de registros	58
Figura 38. Lectura de registros comunicación Modbus.....	59
Figura 39. Lectura de registros comunicación Modbus.....	59
Figura 40. Inicialización de canal	60
Figura 41. Comunicación módulo de conversión A/D	61
Figura 42. Especificaciones de funcionamiento para entrada analógica de temperatura - linealización.....	62

Figura 43. Tratamiento de señal análoga.....	63
Figura 44. Tratamiento de señal análoga - 2.....	63
Figura 45. Escalamiento de la señal de temperatura	66
Figura 46. Comunicación módulo de pesaje.....	67
Figura 47. Control de peso	67
Figura 48. Mecanismo Final de carrera.....	68
Figura 50. Circuito de potencia.....	69
Figura 49. Circuito de control.....	69
Figura 51. Pantalla de Inicio de programación	70
Figura 52. Pantalla principal de la HMI Funcional.....	71
Figura 53. Alerta de falla en HMI.....	72
Figura 54. Variador de frecuencia 1.....	74
Figura 55. Teclado virtual - Variador de frecuencia	74
Figura 56. Configuración tolva de bachadas	75
Figura 57. Calibración de la celda de carga.....	76
Figura 58. Cuadro de alarmas en HMI.....	76
Figura 59. Dimensiones del quemador Riello RS 34 MZ	81
Figura 60. Dimensiones de la boca de flama del quemador	82
Figura 61. Componentes del quemador Riellos RS 34 MZ.....	83
Figura 62. Dimensiones LMV27	83
Figura 63. Parámetros para obtener en el controlador.....	84
Figura 64. Manual de usuario de la HMI.....	88
Figura 65. Displays de temperatura.....	88
Figura 66. Bomba de descargue.....	89
Figura 67. Bomba de agua.....	89
Figura 68. Compresor.....	90
Figura 69. Bomba de asfalto.....	90
Figura 70. Bomba de combustible	90
Figura 71. Tolvas de material Pétreo	91
Figura 72. Banda Colectora	91
Figura 73. Zaranda y Lanzadera.	92
Figura 74. Tambor mezclador.....	92
Figura 75. Ventilador	92
Figura 76. Extractor de Finos	93
Figura 77. Mezclador	93
Figura 78. Banda Elevadora	93
Figura 79. Apertura de la tolva de bachadas.....	94
Figura 80. Contador de bachadas.....	94
Figura 81. Peso de la mezcla	94
Figura 82. Bloquear la HMI.....	94
Figura 83. Indicador flotante de alarmas	95
Figura 84. Variador de frecuencia 2.....	96
Figura 85. Teclado virtual - Variador de frecuencia	96
Figura 86. Variador de frecuencia 3.....	96
Figura 87. Teclado virtual - Variador de frecuencia	97

Figura 88. Variador de frecuencia de la bomba de asfalto	97
Figura 89. Teclado virtual - Variador de frecuencia	97
Figura 90. Selector de bomba de descargue	98
Figura 91. Selector bomba de agua	98
Figura 92. Selector del compresor	98
Figura 93. Selector banda Colectora	99
Figura 94. Selector del motor de zaranda	99
Figura 95. Selector de la banda lanzadora	99
Figura 96. Selector del ventilador	100
Figura 97. Selector del tambor mezclador	100
Figura 98. Selector extractor de finos	100
Figura 99. Selector mezclador	101
Figura 100. Selector de la banda elevadora	101
Figura 101. Selector para el motor vibrador	101
Figura 102. Selector Quemador para la caldera	102
Figura 103. Configuración de alarmas - 1	102
Figura 104. Configuración de alarmas - 2	103
Figura 105. Mensaje flotante de alarmas	103
Figura 106. Visualización de registro de alarma	104
Figura 107. Gráfico de tendencia - temperaturas	104
Figura 108. Configuración Visual – gráfico de tendencia de temperatura	105
Figura 109. Configuración de direcciones – grafico de tendencia de temperatura	105
Figura 110. Manual de usuario de la HMI 2.0.	106
Figura 111. Run Motor Vibrador	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comando Leer	56
Tabla 2. Comando Escribir	56
Tabla 3. Mapa de registro Modbus	57
Tabla 4. Asignación de memoria intermedia	61
Tabla 5. Especificaciones de funcionamiento para entradas analógica de temperatura	62
Tabla 6. Linealización de señal RTD vs Transmisor de temperatura.....	64
Tabla 7. Linealización de señal del transmisor de temperatura vs Conversión Digital	65
Tabla 8. Linealización de señal Digital vs Temperatura en display	66
Tabla 9. Dimensiones del quemador Riello RS 34 MZ [mm]	82
Tabla 10. Dimensiones de la boca de flama del quemador.....	82
Tabla 11. Componentes del quemador Riello RZ 34 MZ.....	82
Tabla 12. Recomendaciones para contantes de controladores PID.....	85

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Despeje ecuación de la recta.....	65
Ecuación 2. Ecuación de la recta en tercera etapa.....	65
Ecuación 3. valor escalado en la segunda etapa.....	65
Ecuación 4. Función de transferencia Control de temperatura	84
Ecuación 5. Función de transferencia reemplazada	85

GLOSARIO

AGREGADO: masa de piedra triturada, grava, arena, etc. mayormente compuesta de partículas individuales.

AGREGADO FINO: arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que pueden llegar hasta 10 [mm].

AGREGADO GRUESO: es uno de los principales componentes del hormigón o concreto. son aquellos cuyas partículas se retienen en la malla No. 16 y pueden variar hasta 152 [mm].

AGREGADO PÉTREO: árido compuesto de partículas duras, de forma y tamaño estables.

ASFALTO: sustancia de color negro que procede de la destilación del petróleo crudo, se encuentra en grandes depósitos naturales, como el lago Asfaltites o el mar Muerto, y se utiliza para pavimentar carreteras y como revestimiento impermeable de muros y tejados.

BANDA TRANSPORTADORA: Aparatos fijos y portables utilizados para transportar materiales entre dos puntos fijos a través de movimientos intermitentes o continuos.

BITUMINOSO: material sólido o semisólido que se encuentra en depósitos naturales o se obtiene como subproducto en la refinación del petróleo.

CEMENTO ASFÁLTICO: es un producto bituminoso semisólido a temperatura ambiente, preparado a partir de hidrocarburos naturales mediante un proceso de destilación, el cual contiene una proporción muy baja de productos volátiles, posee propiedades aglomerantes y es esencialmente soluble en tricloroetileno.

COMUNICACIÓN RTU – MODBUS: Modbus es un protocolo de comunicaciones situado en el nivel 7 del Modelo OSI, basado en la arquitectura maestro/esclavo (RTU) o cliente/servidor (TCP/IP), diseñado en 1979 por Modicon para su gama de controladores lógicos programables (PLCs). Convertido en un protocolo de comunicaciones estándar de factor en la industria, es el que goza de mayor disponibilidad para la conexión de dispositivos electrónicos industriales.

CONTACTOR: interruptor automático que sirve para establecer los enlaces entre distintos circuitos o aparatos eléctricos.

CPU: sigla de la expresión inglesa central processing unit, 'unidad central de proceso', que es la parte de una computadora en la que se encuentran los elementos que sirven para procesar datos.

DIESEL: gasóleo o gasoil, es un hidrocarburo líquido de densidad sobre 850 kg/m³, compuesto fundamentalmente por parafinas y utilizado principalmente como combustible en calefacción y en motores Diesel.

DISEÑO MARSHALL: la metodología de diseño Marshall tiene como finalidad fundamental encontrar la combinación adecuada de agregados minerales y cemento asfáltico, que permita brindarle a la mezcla asfáltica resultante una serie de características físicas y de resistencia que se establecen tanto en los requisitos contractuales de calidad, como en el diseño de la mezcla asfáltica.

DNS: (Domain Name System, Sistema de Nombres de Dominio) es un conjunto de protocolos y servicios que permite a los usuarios utilizar nombres en vez de tener que recordar direcciones IP numéricas.

ETHERNET: es un estándar de redes de computadoras de área local con acceso al medio por contienda CSMA/CD ("Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Detección de Colisiones").

FUEL OIL: el combustóleo, también conocido como fuel oíl No. 6, es un combustible elaborado a partir de productos residuales que se obtienen de los procesos de refinación del petróleo. Se utiliza típicamente en procesos de combustión para calentamiento.

GRANULOMETRÍA: describe la distribución de tamaños de las partículas de agregados.

HONEYWELL: empresa multinacional estadounidense que presta servicios de ingeniería y sistemas aeroespaciales.

IGNICIÓN: proceso que inicia o desencadena una combustión.

INSONORIZANTE: material pesado que tiene la finalidad de limitar las vibraciones, amortiguar el ruido.

INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA: El Interfaz Hombre-Máquina (HMI) es el enlace entre el proceso y los operarios; se trata básicamente de un panel de instrumentos del operario. Es la principal herramienta utilizada por operarios y supervisores de línea para coordinar y controlar procesos industriales y de fabricación. El HMI traduce variables de procesos complejos en información útil y procesable.

LIGANTE ASFÁLTICO: Cemento basado en asfalto producido a partir de residuos de petróleo, ya sea con o sin adición de modificadores orgánicos no particulados.

MEZCLA ASFÁLTICA: combinación de asfalto y agregados minerales pétreos en proporciones exactas que se utiliza para la construcción.

PLC: el controlador lógico programable es un dispositivo electrónico usado en automatización industrial para controlar máquinas o sistemas.

POTENCIA: es la relación entre la realización de un trabajo o transmisión de energía. La unidad mecánica de potencia es el Watt, que es definido como un Newton-metro por segundo. La potencia empleada en un periodo de tiempo produce trabajo, permitiendo su medición en KW-hora.

RELLENO MINERAL: materiales inertes de bajo costo incluidos en una composición industrial con el propósito de aumentar el volumen; es decir, no requieren proveer una característica especial para el producto final y sus propiedades no deben afectar las del producto final.

SCADA: Supervisión, Control Y Adquisición de Datos. Herramienta de automatización y control industrial utilizada en los procesos productivos que puede controlar, supervisar, recopilar datos, analizar datos y generar informes a distancia mediante una aplicación informática.

SDRAM: memoria de acceso aleatorio dinámico sincrónico que recupera datos alternativamente entre dos conjuntos de memoria.

SERPENTÍN: tubo hueco y enrollado en espiral que sirve para enfriar el fluido que pasa por él, en los alambiques y ciertas máquinas y aparatos.

SINTONIZAR: poner un aparato receptor de ondas en sintonía con uno emisor.

SOLENOIDE: bobina formada por un alambre enrollado en espiral sobre un armazón cilíndrico, que se emplea en diversos aparatos eléctricos, y que crea un campo magnético cuando circula una corriente continua por su interior.

TERMOCUPLA: también llamada termopar, es el sensor de temperatura más empleado a nivel industrial.

TERMOPOZO: es la pieza del sensor de temperatura que se halla en contacto con el producto del proceso. Básicamente, los termo pozos se dividen en tubos de protección contruidos a partir de tubos soldados o realizados a partir de barras taladradas.

TERMORESISTENCIA: RTD. Resistencia especialmente diseñada para trabajar según el principio de que en la medida que varía la temperatura, su resistencia se modifica, y la magnitud de esta modificación puede relacionarse con la variación de temperatura.

TOLVA: Caja abierta por abajo, en forma de tronco de pirámide o de cono invertido, dentro de la cual se echan granos u otros cuerpos para que caigan poco a poco entre las piezas del mecanismo destinado a triturarlos, molerlos, limpiarlos, clasificarlos o para facilitar su descarga.

TRANSMISOR DE TEMPERATURA: permiten conocer el valor de una temperatura medida como una señal analógica de 4–20 mA, se utilizan para evitar pérdidas de tensión o cuando un regulador o PLC no puede medir directamente la señal desde un sensor de resistencia.

VARIADOR DE FRECUENCIA: dispositivo utilizado para controlar la velocidad de un motor eléctrico a fin de: mejorar el control de procesos. reducir el consumo de energía y generarla de forma eficiente.

ABREVIATURAS

[**A**] – Amperios

[**V**] – Voltaje

[**Km**] – Kilometro

[**min**] – Minuto

[**mm**] – Milímetros

[**s**] – Segundo

[**VA**] – Voltio Amperes

[**VAR**] – Voltio Amperes Reactivos

[**VCC**] – Voltaje en corriente directa

[**W**] –Watt o Vatio

[**Ω**] - Ohmio

°**C** – Grados Celsius

°**F** – Grados Fahrenheit

A/D – Conversión Análogo / Digital

D/A – Conversión Digital / Análogo

AC – Corriente Alterna

DC – Corriente Directa

ACPC – Aceite térmico para calderas

ANSI – Instituto Nacional Estadounidense de Estándares

BIT – Dígito binario

CPU – Unidad central de proceso

dB – Decibel

DNS – Sistema de nombres de dominio

EI – Electrodo de Ignición

HMI – Interfaz Hombre Máquina

Hz – Hertz

I/O – Entradas / Salidas

ICS – Clasificación Internacional de Estándares ISO

IEEE – Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos

ASME – Sociedad americana de ingenieros mecánicos

ISO - Organización Internacional de Normalización

iP – Dirección del protocolo de internet

IP – Ingress Protection

IP20 – Protección contra la penetración de objetos sólidos de más de 12 [mm].

IP40 - Protección contra la penetración de objetos sólidos de 1 [mm]

IP65 – Protección total contra el polvo y chorros de agua.

IP67 – Protección total contra el polvo y efectos de inmersión.

ISA - Sociedad de automatización internacional

ISO – Organización nacional de normalización

M – Motor

M.Sc –Maestría en el campo de las ciencias

MODBUS – Modbus es un protocolo de comunicaciones situado en los niveles 1, 2 y 7 del Modelo OSI, basado en la arquitectura maestro/esclavo o cliente/servidor.

NEMA – Asociación nacional de manufactura eléctrica.

PI&D - Diagrama de instrumentación

PID – Control Proporcional Integral Derivativo

PLC – Controlador lógico programable

PT 100 – Sensor de temperatura 0° - 100 [ohm]

RAM – Memoria de acceso aleatorio.

RPM – Revoluciones por minuto

RS422 – TIA/EIA-422 estándar de comunicación hasta 10 receptores

RS485 – EIA/TIA-485 estándar de comunicación hasta 32 receptores

RTD – Detector resistivo de temperatura

RTU – Unidad Terminal Remota

S.A.S – Sociedad por acciones simplificada

TCP – Controlado desde tablero principal

TCP – Protocolo de control de transmisión

TFT – Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display

TI – Indicador de temperatura

TK – Tanque

TPH – Toneladas por hora

TT – Transmisor de temperatura

VDF – Variador de frecuencia

WI – Indicador de pesaje

WT – Transmisor de pesaje

INTRODUCCIÓN

La empresa RUMA INGENIERÍA SAS, antes Luis Guillermo Ruiz Machado, fue fundada en el año 2008, por el Ingeniero Luis Guillermo Ruiz Machado, buscando satisfacer las necesidades del mercado en el área de construcción de obras civiles. Se establece en Casanare a partir de Julio de 2010, prestando servicios al sector privado y público, logrando ampliar el personal de planta y disminuyendo el temporal, dando mayor participación y oportunidad de trabajo a las personas de la región.

Su planta de asfalto, de tipo móvil, llega a la capital Casanareña en 2012 gracias al auge de pavimentación de vías terciarias, con el fin de conectar a la población con los cascos rurales más apartados. Estas actividades, que a su vez son una muestra de los avances y afianzamiento de las técnicas de construcción y estructuración de vías, se ven reflejadas con su producto final o estrella; la carpeta asfáltica, que, para muchos, es la cara de un buen trabajo realizado, y desde luego, la calidad y compromiso del contratista.

Gracias a su buena administración, Ruma Ingeniería se ha ido consolidando como una empresa fuerte en el sector, licitando proyectos de alto impacto dentro del departamento de Casanare y el departamento de Boyacá. Razón por la cual adquirió su propia planta de producción de mezcla asfáltica, para convertirla en la única planta ubicada en el perímetro urbano de la capital casanareña, con una ubicación estratégica acorde a las bondades del Río Cravo Sur, y a los proyectos en carpeta de ejecución.

La planta de asfalto de RUMA INGENIERÍA S.A.S. tiene una capacidad nominal de producción de 80 toneladas por cada hora de trabajo, una cifra mediana con respecto a las capacidades de producción de las plantas circunvecinas. Para evitar alejarse plenamente de los tiempos de entrega y fabricación del cemento asfáltico, RUMA INGENIERÍA S.A.S. ha venido trabajando en la modernización y optimización de sus procesos.

El presente trabajo de grado es realizado en aras de solventar algunas fallas encontradas dentro de los subprocesos de fabricación, con un enfoque moderno hacia la automatización y control de los mismos, mediante la implementación de una interfaz hombre máquina para

la operación remota de la planta, y un cambio en el sistema de combustión en la caldera de calentamiento del asfalto líquido.

Para la ejecución de este trabajo, se inicia con el estudio preliminar de la planta, por medio de visitas técnicas y registros fotográficos, afirmando los objetivos que constituyen el trabajo y los alcances que se pueden obtener de este.

En el primer capítulo, se hace referencia a las generalidades del proyecto, que permiten una mayor conceptualización de los procesos internos dentro de una planta de asfalto. Dentro de este capítulo, se halla el marco teórico y descripción del funcionamiento de la planta. También se realiza el estado de arte, que permite plantear soluciones próximas a las falencias dentro del normal funcionamiento.

El segundo capítulo, encierra la metodología de ingeniería básica y de detalle implementada en el proyecto, en dos etapas consecuentes; por un lado, se seleccionan los dispositivos, sensores y/o actuadores que se requieren para la obtención de resultados. Posterior a ello, se realizará la implementación de la lógica de programación sobre los dispositivos, sensores y/o actuadores elegidos, para fraguar los objetivos.

En el tercer capítulo, se ilustra el proceso de diseño y programación de la HMI a conveniencia con los resultados esperados y las exigencias del gerente.

Finalmente se evidenciarán las conclusiones, análisis u observaciones obtenidas a partir del desarrollo de este trabajo de grado.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema para el monitoreo de la temperatura en las etapas de la línea de producción de la planta de mezcla asfáltica de la empresa RUMA INGENIERÍA S.A.S e implementación de un quemador controlado que mejore la combustión de la caldera, y el tiempo de calentamiento de la mezcla asfáltica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el estado actual de la planta de producción de mezcla asfáltica.
- Seleccionar los sensores de temperatura que permitan la respectiva medición en las etapas de la línea de producción de mezcla asfáltica.
- Diseñar una Interfaz Hombre Máquina (HMI) que permita la visualización de los registros de temperatura y el estado actual encendido/apagado de los actuadores.
- Seleccionar el quemador que mejor se adapte a las especificaciones operativas de la planta y que permita el control de la llama.
- Validar el proceso de automatización mediante la integración de la HMI para el registro de temperatura y control del quemador.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1. MARCO TEÓRICO

1.1.1. ASFALTO

La American Society for Testig and Materials (ASTM) define al asfalto como un material ligante de color marrón oscuro a negro, constituido, principalmente, por betunes que pueden ser naturales u obtenidos por refinación del petróleo. El asfalto se presenta en proporciones variables en la mayoría de los petróleos crudos. El betún según ASTM es una sustancia ligante (sólida, semisólida o viscosa) oscura o negra, natural o artificial, compuesta principalmente por hidrocarburos de alto peso molecular, como los asfaltos, alquitranes, breas y asfálticas.

El asfalto mostrado en la figura 1, es un material negro, cementante, que varía ampliamente en consistencia, entre sólido y semisólido (sólido blando), a temperaturas ambientes normales. Cuando se calienta lo suficiente, el asfalto se ablanda y se vuelve líquido, lo cual le permite cubrir las partículas de agregado durante la producción de mezcla en caliente.

Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros. Sin olvidar que se utilizan en las capas inferiores de los firmes para tráfico pesados intensos. Estas mezclas asfálticas pueden ser en caliente, lo más común, o en frío. Estas mezclas pueden ser confeccionadas en plantas y con los equipos apropiados para esta labor. (NIÑO, 2014)

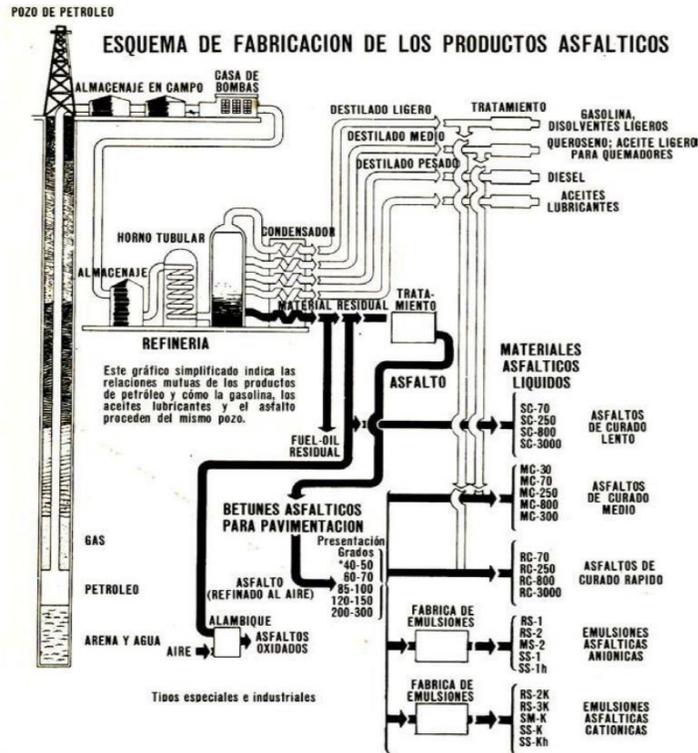
1.1.2. TÉCNICAS DE PRODUCCIÓN DE ASFALTOS

El petróleo crudo está compuesto por distintos productos, incluyendo el asfalto. La refinación permite separar estos productos y recuperar el asfalto.

Durante el proceso de refinación, el petróleo crudo es conducido a un calentador tubular donde se eleva rápidamente su temperatura para la destilación inicial. Luego entra a una torre de destilación donde se vaporizan los componentes o fracciones más livianas (más volátiles) y se separa para su posterior refinamiento en nafta, gasolina, kerosene, y otros productos derivados del petróleo. El residuo de este proceso de destilación es la fracción pesada del

petróleo crudo, comúnmente llamado crudo reducido, el cual puede ser usado como fuel oil residual, o procesado en distintos productos, entre ellos el asfalto. En la figura 1 se muestra el proceso llevado a cabo en la fabricación de los productos asfálticos.

Figura 1. Diagrama de producción de productos asfálticos



Fuente: Universidad Técnica de Machala

Para separar la fracción de asfalto del crudo reducido se puede utilizar un proceso de extracción mediante solventes. Luego, se refina la mayor parte de esta fracción para obtener el cemento asfáltico. Según el proceso de refinación usado se obtiene cementos asfálticos de muy alta o de baja consistencia. Estos productos se mezclan después, en cantidades adecuadas para obtener cementos asfálticos de la consistencia deseada. Los asfaltos soplados se producen insuflando aire a altas temperaturas al asfalto de consistencia adecuada (RAUL, 2015)

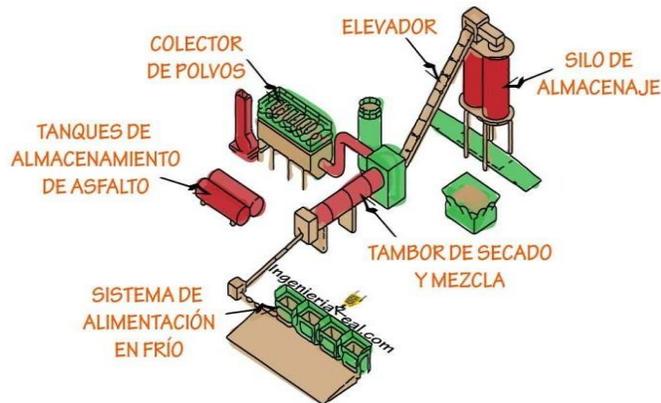
1.1.3. PLANTA DE ASFALTO

El principio básico de las plantas para mezcla asfáltica en caliente es la dosificación exacta de los agregados, regularmente por peso, al igual que la dosificación del cemento asfáltico.

Las plantas de asfalto pueden clasificarse de acuerdo a la forma de producción, su capacidad de producción y de acuerdo a su movilidad. Por su forma de producción, se dividen en continuas (convencionales y de tambor secador-mezclador) e intermitentes (de bachada). Según su capacidad de producción, ésta se da en Toneladas por hora y de acuerdo a su movilidad en portátiles y estacionarias.

Las plantas continuas con la composición mostrada en la figura 3, como su nombre lo indica producen de manera continua, mientras que en las de tambor secador mezclador el proceso de secado y mezclado se realiza conjuntamente en el tambor, a diferencia de las convencionales, donde los materiales son previamente secados antes de ser mezclados. En las intermitentes con producción por bachada, los agregados son secados y posteriormente son mezclados con el cemento asfáltico en un recipiente (mezclador), después la mezcla es vertida al camión.

Figura 2. Partes de una planta de asfalto



Fuente: Ingeniería Real

1.1.4. CLASIFICACIÓN DE LAS PLANTAS DE ASFALTO

Las plantas para mezcla asfáltica en caliente pueden clasificarse de la siguiente manera:

1.1.4.1. De acuerdo con la forma de producción:

Se clasifican según su forma de producción en:

- Continuas: Convencionales Tambor mezclador
- Intermitentes: De bachada por peso de mazada

1.1.4.2. Según su capacidad de producción:

Se clasifican según su capacidad de producción en Ton / hora

1.1.4.3. De acuerdo con su movilidad:

Se clasifican según su movilidad en:

- Portátiles (móviles)
- Estacionarias

Las plantas continuas tanto convencionales como de tambor mezclador pueden ser portátiles o estacionarias. Las plantas intermitentes o de bachada son regularmente estacionarias. La capacidad es independiente de las otras clasificaciones.

1.1.5. CALDERAS DE VAPOR

Las calderas de vapor son calderas especialmente diseñadas para trabajar en instalaciones donde se necesite una gran transferencia de energía calorífica, como son procesos industriales (por ejemplo, la esterilización de las botellas antes del envasado), district-heating, lavanderías, hospitales, etc., así como para generar electricidad en centrales termoeléctricas.

Como su propio nombre indica, estas calderas tienen como fluido caloportador el agua que lo convierten en vapor y se pueden clasificar según la disposición de los fluidos en: calderas de tubos de agua o acuo-tubulares y calderas de tubos de humos o piro-tubulares.

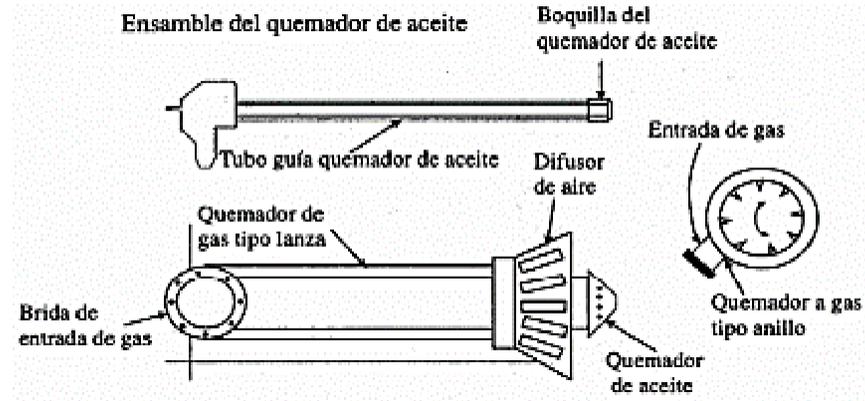
1.1.6. QUEMADORES

Las calderas industriales por lo general utilizan el gas y el combustóleo, un Diesel combustible o un crudo como insumo energético. La capacidad de generación de vapor de la caldera se mide por la potencia térmica que soporta el quemador, manejando un determinado combustible por el número de quemadores.

Los quemadores mostrados en la figura 3, son los equipos encargados de suministrar y acondicionar el combustible para que, mezclando con el aire en presencia de llama, se obtenga una suficiente combustión. La llama de la combustión debe ser estable, uniforme y de apariencia oxidante, de manera que se realice una distribución adecuada de calor en el horno.

Normalmente una caldera viene diseñada para operar con dos tipos de combustibles: gas y combustible líquido o fuel oil, llamado también, combustóleo No. 6. A continuación la figura 3 muestra un diagrama con las partes de los quemadores de aceite combustóleo o fuel oil.

Figura 3. Quemadores de aceite combustóleo o fuel oil



Fuente: E & M Combustion

1.1.7. COMBUSTIÓN

Combustión es el conjunto de procesos fisicoquímicos en los que un elemento combustible se combina con otro elemento comburente (generalmente exige en forma de O₂ (gaseoso), desprendiendo luz, calor y productos químicos resultantes de la reacción (oxidación). Como consecuencia de la reacción de combustión se tiene la formación de una llama. Dicha llama es una masa gaseosa incandescente que emite luz y calor.

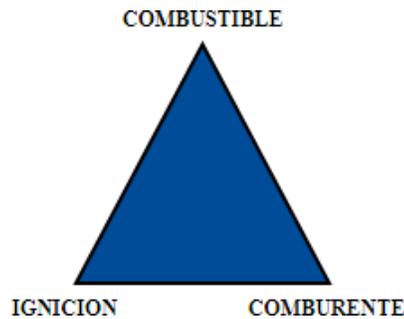
1.1.7.1. Triángulo de combustión

Para que se produzca la combustión, deben encontrarse en el espacio y en el tiempo tres elementos:

- Combustible
- Comburente
- Fuente de ignición

Los cuales se encuentran relacionados entre sí, según el triángulo de combustión mostrado en la figura 4.

Figura 4. Triángulo de combustión



Fuente: Energy Management Agency

El combustible y el comburente se deben encontrar en unas proporciones adecuadas, no produciéndose la combustión fuera de esas condiciones. Adicionalmente, es precisa una fuente de energía que produzca el inicio de la combustión, lo que se denomina fuente de ignición, y que después mantenga esta combustión. El conjunto de estos tres elementos es lo que se denomina triángulo de combustión, o triángulo del fuego, del cual se puede concluir que para mantener la combustión deben estar presentes todos los elementos.

Por otra parte, para que se inicie la combustión, es necesario que el combustible se encuentre en forma gaseosa. Por ello, los combustibles líquidos y sólidos precisan calentarse primero para que desprendan vapores que puedan inflamarse. En consecuencia, se debe tener en cuenta para cada material:

Temperatura de gasificación: Temperatura a la cual el combustible se gasifica.

Temperatura de ignición: Temperatura a la cual el combustible ya gasificado se inflama espontáneamente

1.2.FUNCIONAMIENTO Y ETAPAS DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA

La planta de asfalto de la empresa Ruma Ingeniería S.A.S, corresponde a una planta de asfalto de tipo móvil, ubicada en el kilómetro [km] 2 vía Sirivana, adentro de las instalaciones de la trituradora *Agregados Crasurca S.A.*

Actualmente se posiciona como la única planta ubicada en el casco urbano de la capital Casanareña, abasteciendo mezcla asfáltica para importantes proyectos a lo largo del departamento de Casanare y el departamento de Boyacá.

Como fruto final de la calidad de la mezcla asfáltica producida en la planta de asfalto de Ruma Ingeniería, se encuentran trece (13) kilómetros [km] en la vía que une la vereda Guanapalo con el municipio de San Luis de Palenque - Casanare, también la doble calzada de más de ocho (8) kilómetros lineales ubicada en el casco urbano del municipio de Yopal, que atraviesa la carrera primera entre la vía Marginal de la selva y la calle 50, o el más reciente, doble calzada que empalma la carrera séptima, vereda Guaduales y la vía que conduce hacía Maní, ubicada en el municipio de Aguazul – Casanare.

El proceso inicia con la disposición de los materiales pétreos: *Arena*, *triturado de ½'* y *triturado de ¾'*. Normalmente este material es extraído del *Río Cravo Sur*, y procesado por la trituradora *Agregados Crasurca S.A*, situada conjuntamente a la planta de asfalto de Ruma Ingeniería S.A.S.

El material, es transportado en volquetas o directamente en cargadores o minicargadores hasta los puntos de acopio cercanos a las tolvas. En la figura 5 se aprecian las tolvas donde es depositado el material, valiéndose de la ayuda de un retrocargador.

Figura 5. Tolvas para material pétreo



Fuente: El autor

En la parte inferior de cada tolva, se instala una banda transportadora encargada de recoger independientemente, cada uno de los tres materiales pétreos que se han dosificado de acuerdo con los criterios de diseño Marshall para mezcla asfáltica.

Para su dosificación, el laboratorista en suelos le indica al operador de la planta, qué proporción de cada material debe agregarse para la mezcla. Esta dosificación se realiza con ayuda de variadores de frecuencia que aumentan o disminuyen la velocidad, de forma independiente, en cada una de las bandas transportadoras.

La planta integra variadores de la marca Invertek, para el control de los motores que mueven las bandas transportadoras de las tolvas; este variador suaviza el arranque del motor permitiendo también, su programación por flancos de subida y/o bajada.

La principal ventaja es que se puede acoplar a cualquier bomba en funcionamiento, obteniendo los beneficios de las bombas de caudal variable, como lo son la bomba de combustible y de asfalto.

Para recoger el material pétreo dosificado de cada tolva, se enciende una cuarta banda transportadora o banda colectora sin variador de frecuencia, que recibe la caída de material y lo lleva hasta la zaranda, este material cae sobre la malla zaranda, encargada de filtrar el material que cumple el tamaño apropiado para la mezcla, e imposibilita el paso, del material con tamaño superior a 1/2" que no puede ser adicionado a la mezcla. tal como se observa en la *figura 6*.

Figura 6. Banda Colectora de material y Malla Zaranda



Fuente: El autor

El material que cumple con el tamaño de la zaranda cae a una quinta banda transportadora o banda lanzadora, como se observa en la figura 7, cuya función es la de llevar el material pétreo hasta la entrada del tambor mezclador.

Figura 7. Banda lanzadora.



Fuente: El autor

Una vez ingresa al tambor mezclador (figura 8), el operador puede encender los cuatro (4) motores encargados de hacerlo girar a gran velocidad con el objetivo de homogenizar los materiales pétreos en seco.

Figura 8. Motor de tambor mezclador



Fuente: El autor

Dentro del tambor mezclador, se lleva a cabo el proceso de quemado del material pétreo. Para ello se dispone de un quemador tipo industrial, encargado de elevar la temperatura del material a niveles entre 140°C y 160° Celsius. Para que se lleve a cabo la combustión, se requiere de tres elementos: comburente, electrodo de ignición y combustible.

Como comburente, se emplea el oxígeno producido por el ventilador de la *figura 9*. Por otro lado, para generar la chispa o ignición para dar paso a la flama, se emplea un cilindro de gas natural, que de manera ambigua es encendido para dar inicio la combustión.

Figura 9. Ventilador del quemador.



Fuente: El autor

Finalmente, se encuentra el combustible. El cual es alimentado por medio de un variador de frecuencia con la intención de controlar la llama del quemador; ya el oxígeno entra a un flujo constante, resta subir o bajar el caudal del combustible, para aumentar o disminuir la llama, y a su vez, obtener los valores deseados dentro del tambor mezclador. El combustible llega al quemador gracias a la bomba de combustible de la figura 10.

Figura 10. Bomba de combustible.



Fuente: El autor

Debido a las altas revoluciones por minuto que es llevado el material dentro del tambor mezclador y a la alta temperatura en con la que es quemado este, en la planta se aprecia una amplia nube de material particulado. Para ello, el ideal es encender el tanque colector de finos instalado de manera continua al tambor mezclador, únicamente separados por el quemador, tal como se observa en la *figura 11*.

El tanque colector de finos que se aprecia en la figura 11, funciona como un extractor, pues por medio de una basta tubería extrae el material particulado que se genera dentro del tambor mezclador, la cual lo conduce al interior del tanque colector de finos.

Figura 11. Tambor mezclador - Quemador - Colector de finos



Fuente: El autor

El interior del tanque colector de polvo o finos, por ser tipo húmedo, está conformado por un sistema de riego, un tubo Venturi, un sistema decantador y una chimenea, pues los gases del quemador y el material particulado del mezclador son extraídos por acción del ventilador, y luego atomizados por medio de aspersores, haciendo que el material sea llevado por una tubería (figura 12) hasta la piscina de lodos (figura 13), donde se almacena el material extraído.

Figura 12. Tubería del colector de finos.



Fuente: El autor

Figura 13. Piscina de lodos.



Fuente: El autor

Para llevar a cabo el proceso de mezclado entre el asfalto y el material pétreo homogenizado, el operario debe encender la bomba de asfalto mostrada en la figura 14, cual es controlada por un variador de frecuencia, con el objeto de dosificar el asfalto líquido acorde al diseño de mezcla Marshall.

Figura 14. Bomba de asfalto



Fuente: El autor

Antes de agregar el asfalto líquido al material pétreo, este debe encontrarse a una temperatura de 180° Celsius, para ello previamente se debe cumplir con el proceso de calentamiento del asfalto almacenado.

El proceso inicia con el arribo del asfalto líquido a la planta. Este residuo del petróleo es almacenado en los tanques de asfalto usando la motobomba que se aprecia en la parte baja de la *figura 15*. El asfalto líquido llega en carrotanques desde la planta de producción del proveedor *Humberto Quintero*.

Figura 15. Bomba de descarga.



Fuente: El autor

Para calentar el asfalto almacenado en los tanques, se debe encender la caldera de tipo piro-tubular que se observa en la *figura 16*. La caldera es la encargada de producir y transportar (por medio de tubería tipo pesada (ver *figura 17*) el vapor necesario para calentar el aceite térmico para calderas que contiene cada tanque de asfalto, y así, elevar la temperatura de cada uno a 160°C.

Figura 16. Caldera de la planta de Ruma Ingeniería S.A.S.



Fuente: El autor

Figura 17. Tubería Encendido de Caldera y Calentamiento de Asfalto



Fuente: El autor

Para encender la caldera de la *figura 16*, se emplea un ‘quemador improvisado’ que mantiene la llama el tiempo necesario hasta conseguir la temperatura deseada como se observa en la *figura 18*.

Figura 18. Quemador de la caldera de la planta.



Fuente: El autor

Para conseguir la combustión en este quemador, la planta se vale de un compresor (*ver figura 19*) que provee el oxígeno como comburente, y una motobomba (*ver figura 20*) encargada de suministrar el combustible a la boca del quemador.

Figura 19. Compresor de aire.



Fuente: El autor

Figura 20. Bomba de combustible.



Fuente: El autor

El control de la llama se realiza de manera manual, abriendo y cerrando el flujo de cada válvula, acorde a la necesidad de incrementar o disminuir la temperatura dentro de la caldera, que, a su vez, modificará proporcionalmente la temperatura dentro de los tanques de asfalto.

Como electrodo de ignición se emplea un cilindro de gas y un soplete (ver figura 21), que de manera improvisada inicia la combustión. Este proceso se debe repetir ocasionalmente, cada que falle la llama en el quemador de la caldera.

Figura 21. Electrodo de ignición improvisado.



Fuente: El autor

Cuando el asfalto líquido alcanza la temperatura adecuada, es vertido en la parte baja del tambor mezclador, pues es allí donde sale el material pétreo homogenizado, el cual, por medio de unas paletas motorizadas, ver figura 22, es combinado con el asfalto.

Figura 22. Paletas mezcladoras.



Fuente: El autor

Una vez el laboratorista apruebe el estado de la mezcla asfáltica, es decir, que cumpla con los criterios de homogeneidad y viscosidad del diseño Marshall, y se encuentre a una

temperatura superior a 140°C, es conducida por la banda elevadora de la *figura 23*, ubicada debajo del mezclador, hasta la tolva de descargue de material.

Figura 23. Banda elevadora.



Fuente: El autor

La banda transportadora de la *figura 23*, no es controlada por variador de frecuencia, es decir, que funciona a una velocidad constante, haciendo que la mezcla asfáltica llegue a la parte superior de la tolva donde se almacena hasta ser descargada en las volquetas.

La tolva de bachadas de la *figura 24*, está ubicada al final de la banda elevadora, debajo de ella, se deben ubicar las volquetas para que la mezcla asfáltica sea descargada en su volco.

Figura 24. Tolva de bachadas.



Fuente El autor

La compuerta de la tolva de bachadas es de accionamiento neumático, es decir, requiere del flujo constante de aire producido por el compresor de la *figura 25*, para ser abierta o cerrada según la necesidad del operario.

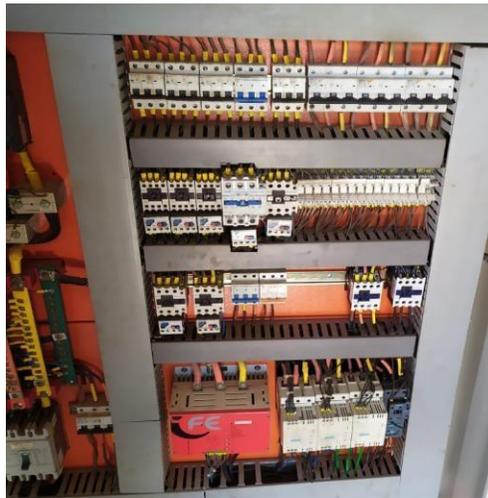
Figura 25. Compresor para la apertura de la compuerta de la tolva de bachadas.



Fuente: El autor

Desde la cabina de control de la *figura 26*, el operador controla los distintos procesos llevados a cabo en la línea de producción de la planta de asfalto de Ruma Ingeniería S.A.S.

Figura 26. Tablero de control de la planta de asfalto.



Fuente: El autor

Para la operación de la planta de asfalto, basta con abrir y cerrar el switch de cada actuador de manera independiente, tal como se ilustra en la *figura 27*. De igual manera, ingresar el valor de frecuencia deseado para cada variador.

Figura 27. Botonera para el funcionamiento de la planta de asfalto.



Fuente: El autor

La producción de mezcla asfáltica, anteriormente descrita, se resume en dos grandes actividades como lo son: el calentamiento previo del asfalto líquido, y la operación de los actuadores que intervienen en el mezclado del material pétreo.

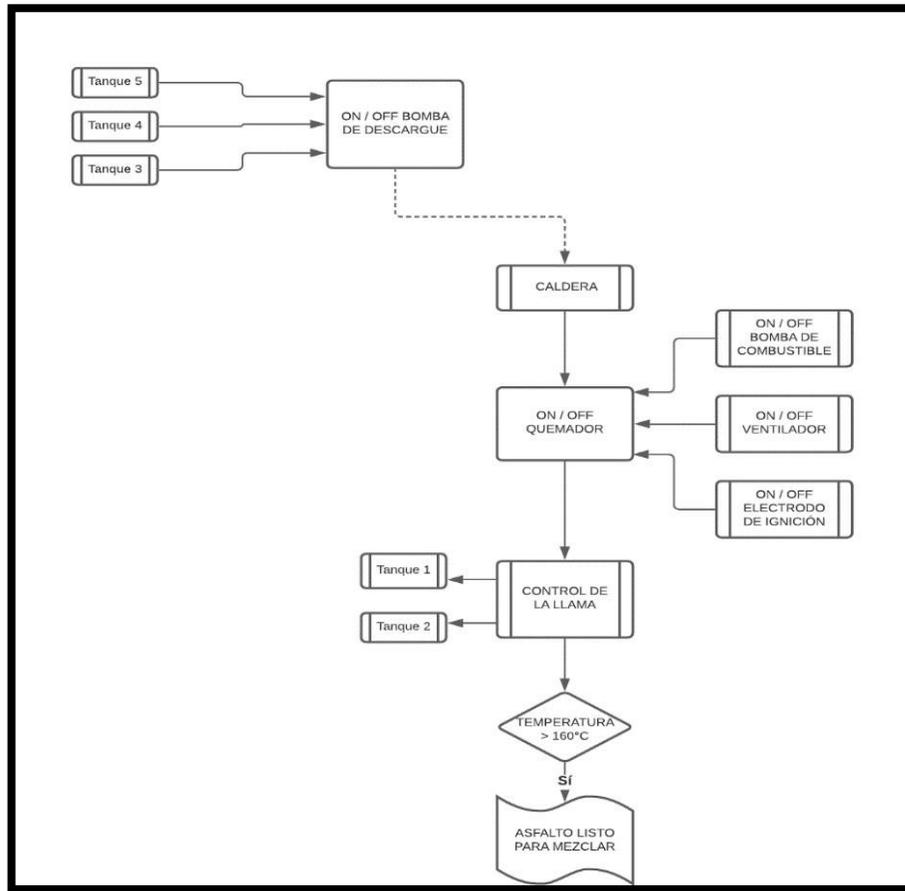
En los diagramas de flujo de la *figura 28* y *figura 29*, se contemplan los procesos anteriormente descritos, y conceptualiza las etapas y sub – etapas que se llevan a cabo en la planta de producción de mezcla asfáltica de la empresa Ruma Ingeniería S.A.S. Estos procesos no son netamente simultáneos, debido a que el calentamiento del asfalto líquido, es un proceso que debe iniciar con varias horas de antelación, para poder garantizar la temperatura de mezclado.

En primer lugar, en el diagrama de la *figura 28* se aprecian los subprocesos que finalmente obedecen al calentamiento previo del asfalto líquido. Este proceso inicia con el previo llenado de los tanques de almacenamiento de asfalto líquido, por medio de la bomba de descargue.

Una vez verificada la existencia de asfalto líquido en los tanques de almacenamiento, se procede a encender la caldera, encargada de elevar la temperatura dentro de los tanques. Para encender la caldera, se debe llevar a cabo la etapa de combustión. Recordando que la combustión se realiza con la existencia de combustible, comburente y una chispa que, de origen a la flama, de igual manera, se deben encender el compresor de oxígeno, la bomba de combustible, y la ignición, que se realiza de manera ambigua por medio de un cilindro de gas domiciliario.

Tras durar encendido por varias horas, se debe revisar frecuentemente la temperatura a la salida del asfalto líquido, pues este último sólo podrá pasar a ser mezclado con el material pétreo, cuando alcance una temperatura optima por encima de 160°C. Luego de alcanzar este valor de temperatura, el asfalto liquido hará parte del proceso de mezclado.

Figura 28. Diagrama de flujo - Planta de Asfalto 2.



Fuente: El autor

Para que el asfalto líquido a temperatura deseada, producto del proceso del diagrama de la figura 29, pueda mezclarse, debe llevarse a cabo las etapas ilustradas en la figura 28.

La primera etapa, consiste en la disposición de los tres materiales pétreos, que se encuentran dentro de las tolvas respectivamente.

Posterior a ello, el laboratorista en suelos define los porcentajes de cada material, acorde a los resultados de su diseño Marshall. Estos valores modifican la velocidad de dosificación de cada banda transportadora, por medio de los variadores de frecuencia que controlan las bandas.

De manera simultánea, deben encenderse los actuadores de la banda colectora, encargada de recibir los tres materiales dosificados y conducirlo a la zaranda. La zaranda, hace su papel de

tamiz o filtro para evitar el paso de material cuyo tamaño supere la media pulgada [$\frac{1}{2}$ "]. El material de tamaño menor es arrojado por la zaranda hacia la banda elevadora, encargada de llevar los tres materiales pétreos hasta la entrada del tambor mezclador / quemador.

A medida que el material es ingresado al tambor, es mezclado gracias al giro de altas revoluciones por minuto [rpm] que ofrecen sus cuatro motores. De igual manera, el material adentro del tambor es calentado al ser encendido el quemador. Para encender el quemador, previamente, se debe llevar a cabo la subetapa de ignición, que, recordando, es el resultado de unir combustible, comburente y una chispa.

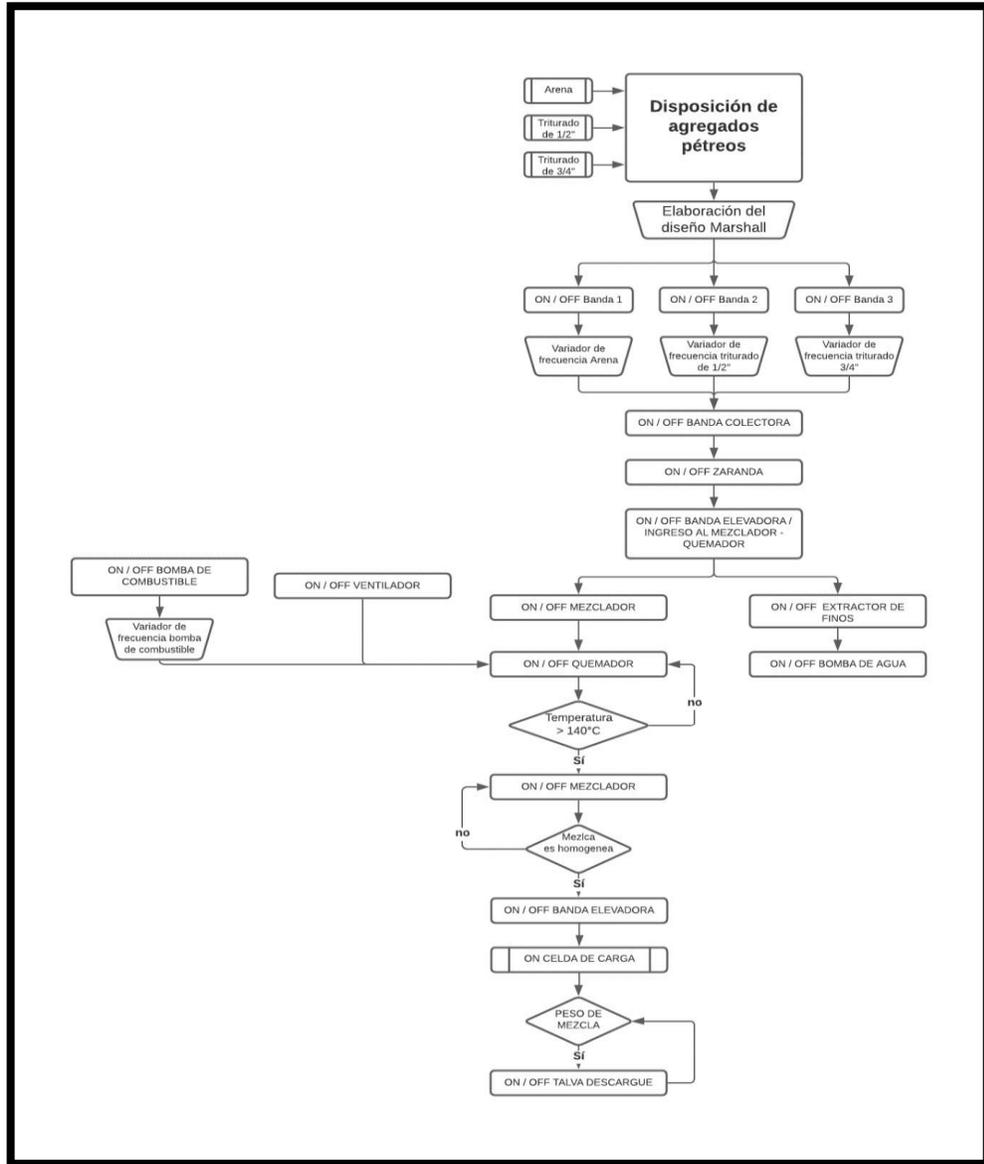
El comburente, es producido de manera constante por un ventilador situado al costado del tambor mezclador. La chispa, es agregada de manera arcaica, haciendo uso de un cilindro de gas natural. El combustible es alimentado por la bomba de combustible, esta última controlada por un variador de frecuencia. Puesto que el oxígeno ingresa de manera constante, resta con aumentar o disminuir el flujo de combustible, para así mismo, aumentar o disminuir la intensidad de la llama dentro del tambor.

Otra etapa simultánea, es la recolección de finos, esta es realizada por el tanque colector de finos, encargado de ‘absorber’ o atraer el material particulado producto de la alta velocidad del tambor mezclador, y llevarlo a su interior, donde por medio de aspersores de agua y efecto de la gravedad, serán conducidos por una tubería hacia la piscina de lodos.

Una vez el material adentro del tambor mezclador / quemador alcance una temperatura superior a 140°C , se da paso a agregar el asfalto caliente, proveniente del proceso descrito de la figura 28. El conjunto de material pétreo homogenizado a alta temperatura, y el asfalto líquido, es mezclado gracias a unas paletas mezcladoras, que posteriormente dejan caer el material sobre la banda elevadora.

Esta banda se encarga de llevar el material hasta la tolva de descargue. Donde el material es pesado y depositado en las volquetas de transporte. Este proceso se evidencia en la figura 29, que muestra el diagrama de flujo del proceso llevado a cabo.

Figura 29. Diagrama de flujo - Planta de Asfalto 1



Fuente: El autor

2. INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE

A continuación, se presenta la descripción de selección de los componentes de control e instrumentación y las especificaciones técnicas del sistema de instrumentación y control que tiene por objeto realizar la descripción funcional y definir los requisitos mínimos necesarios para el diseño detallado, suministro y montaje del proyecto de implementación del quemador a gas en la planta de asfalto.

2.1. SELECCIÓN DE SENSORES Y ACTUADORES

De igual manera, se esclarecen las especificaciones técnicas de los equipos de control e instrumentos requeridos en la implementación del quemador a gas en la planta de asfalto.

2.1.1. CONTEXTUALIZACIÓN DEL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

Previo a la ejecución de las mejoras contempladas por el presente documento, es preciso mencionar que la planta integra el controlador lógico programable Wecon LX3V 3624M, para el encendido y apagado manual de los actuadores, incluyendo el control de los variadores de frecuencia, y el pulsado de emergencia para detener el funcionamiento de la planta. Sobre el PLC Wecon LX3V 3624M, se pretende ejecutar las estrategias de automatización y mejora, anteriormente descritas.

En aras de conceptualizar, el funcionamiento del controlador lógico programable que integra RUMA Ingeniería S.A.S. dentro de su planta de asfalto se precisa a continuación, los criterios de selección que llevaron a la implementación de este mismo, pensando en la integración de módulos como estrategia de automatización a futuro.

El controlador permite modificaciones en línea de variables y secciones de programa. Adicionalmente, en caso de requerirse deberá tener la capacidad de soportar módulos Ethernet, soportar comunicaciones, soportar Web Server y contar con el protocolo DNS (Domain Name Server) para acceso vía internet.

El controlador suministrado es apto para realizar las funciones de adquisición de datos, control y supervisión especificados en este documento de especificaciones técnicas, dentro del suministro se deberán considerar como mínimo las siguientes características técnicas:

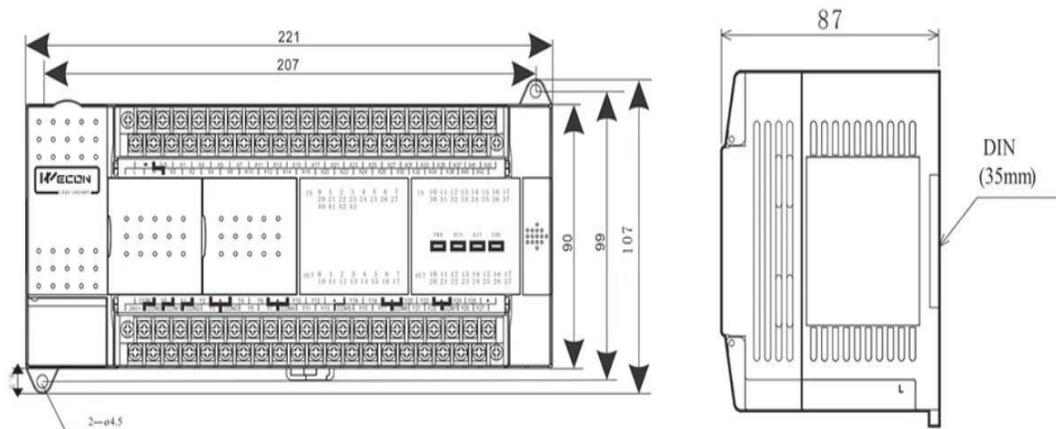
- El módulo de la CPU incluye las memorias de EPROM y RAM
- Módulos de entradas análogas, tipo RTD y digitales
- Módulos de salidas análogas y digitales
- Módulo de alimentación (fuente de alimentación interna)

El controlador cuenta con señalización a través de Leds o di0073play, de las siguientes señales:

- Puerto Ethernet en falla
- Actividad de RX/TX
- Falla de la batería de la RAM
- Alimentación O.K.
- Indicación de cada una las señales de I/O activas

Todos los módulos pueden ser instalados o retirados sin producir disturbios en las tarjetas adyacentes o en el cableado de campo. Los módulos deberán ser escogidos de manera tal que eviten daños o malas operaciones si son instalados en el sitio equivocado.

Figura 30. Dimensiones del PLC LX3V 3624 M



Fuente: Wecon Technology1

2.1.2. SELECCIÓN DE LA INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA

La interfaz hombre-máquina (HMI) para el tablero de supervisión y control, deberá consistir en un monitor industrial a color, de matriz activa de 9 pulgadas o superior y mínimo 256 colores, con “touch screen”, CPU independiente. La HMI debe desplegar toda la información del sistema y contar con todas las funciones requeridas de programación, supervisión, alarma y control.

La HMI deberá tener grado de protección IP65 como mínimo, capaz de soportar las condiciones ambientales del lugar, con alta resistencia a las vibraciones y deberá tener sistema operativo basado en Windows con memoria R/W no volátil de estado sólido.

El procesador, la memoria SDRAM, la tarjeta de video y los demás accesorios que componen la interfaz hombre-máquina, deberán ser los de más avanzada tecnología y con las mejores características técnicas disponibles en el mercado.

Se deberá mantener una organización estándar en los despliegues en pantalla, siendo evidente la localización de las diversas funciones que se puedan llevar a cabo, de manera que una organización consistente en la pantalla ayude a establecer y preservar la orientación del usuario. Esta organización deberá aplicar para todos los despliegues de la HMI.

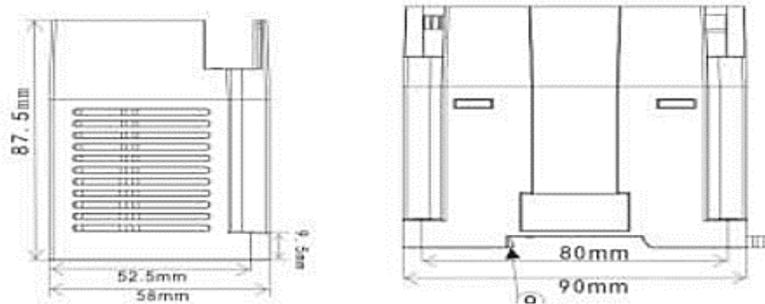
De acuerdo con lo especificado anteriormente, se selecciona para la supervisión de la planta la HMI Wecon PI8102H, la cual complementa de manera integral la selección del controlador de la planta, la HMI cuenta con las siguientes características que se muestran a continuación, razón por la cual fue seleccionada:

2.1.3. SELECCIÓN DE MÓDULO DE PESAJE

Para la lectura de la medición del pesaje realizada por la celda de carga en la tolva de descarga de asfalto, se contempla la implementación del Módulo PLC de pesaje Wecon LX3V-1WT, el cual cuenta con las siguientes características técnicas necesarias para la supervisión de las mediciones de peso:

- Convertidor A/D: 24 bits
- Resolución: 24 bits (firmado)
- Velocidad: 7.5/10/25/50/60/150/300 Hz
- Fuente de alimentación: 24 V \pm 20% 2 VAC
- Temperatura de funcionamiento: 0 ~ 60 °C
- Temperatura de almacenamiento: -20 ~ 80 °C
- No. de canales para señal de entrada de peso: 1
- Configuración ajustable para medición de peso neto

Figura 31. Dimensiones del módulo de pesaje Wecon LX3V - 1WT



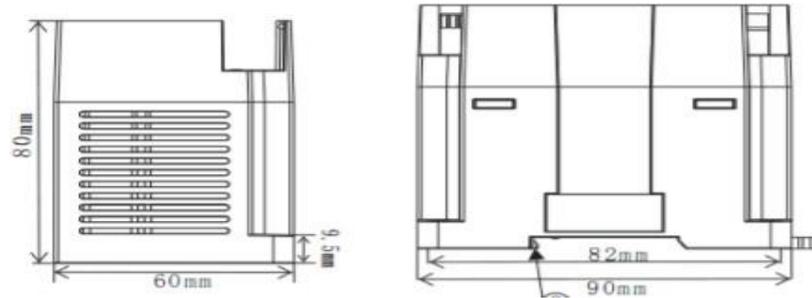
Fuente: Wecon Technology

2.1.4. SELECCIÓN DE MÓDULO DE ENTRADAS ANALÓGICAS

Para la lectura de las mediciones realizadas por las termocuplas se contempla la utilización del Módulo PLC Wecon LX3V-4AD para realizar la conversión analógica a digital. Estos módulos de entrada cuentan con las siguientes características técnicas necesarias para la supervisión de las mediciones de temperatura:

- Tipo: Conversor análogo - digital
- Voltaje de resistencia dieléctrica: 500 VAC, 1 min (entre todos los terminales y tierra)
- Alimentación circuitos analógicos: 24 V CC \pm 10%, 55 mA (fuente de alimentación externa de la unidad principal)
- Alimentación circuitos digitales: 5 V CC, 90 mA (fuente de alimentación interna de la unidad principal)
- Salida digital: Conversión de 12 bits almacenada en forma de complemento a 2 de 16 bits Valor máximo: +2047 Valor mínimo: -2048
- Resolución: 5 mV (rango predeterminado de 10 V 1/2000) 20 μ A (rango predeterminado de 20mA 1/1000)
- Precisión general: \pm 1% (para el rango de -10 V a + 10 V) \pm 1% (para el rango de -20 mA a + 20 mA)
- Velocidad de conversión: 15 ms / canal (velocidad normal), 6 ms / canal (alta velocidad)

Figura 32. Módulo de conversión LX3V-4AD



Fuente: Wecon Technology

2.1.5. SELECCIÓN DE LOS SENSORES DE TEMPERATURA

Para instrumentos de temperatura, el suministro de cada medidor debe incluir el conector para la instalación en el termo pozo, según sea cada caso. Se contempla el uso de termómetros de resistencia (RTDs) con bulbo liso y con conector o unión tipo “racor” que permita ajustar la profundidad del sensor en el termo pozo y la correcta fijación en el punto de conexión del termo pozo. Se contempla el suministro de instrumentos para la medición de temperatura, los cuales deberán contener como mínimo las características que se listan a continuación:

SENSOR DE TEMPERATURA CON CABEZOTE:

- Tipo de sensor: RTD PT 100
- Número de hilos: 3
- Resistencia de 100 Ω a 0 °C
- Material del bulbo: acero inoxidable.
- Longitud del bulbo: 10 cm
- Rango de medida: De 0 a 500 grados Celsius (°C)
- Precisión: $\pm 0,3\%$ del total de la escala
- Resolución: $\pm 0,5$ °C
- Estabilidad: $\pm 0,125$ % por 5 años
- Grado de protección: IP67
- El suministro de los medidores RTD consiste en el cabezal con su bloque cerámico para la conexión de la señal, sonda o bulbo y sensor.

- Los medidores deberán ser libres de errores debido a variaciones normales de voltaje, frecuencia, forma de onda, factor de potencia, y deben ser libres de cualquier efecto causado por las condiciones ambientales establecidas para los sitios de instalación.
- Los instrumentos deben poseer el terminal apropiado para la conexión a tierra.
- El medidor deberá permitir el reemplazo de su parte activa sin necesidad de desmontarlo completamente del sistema.

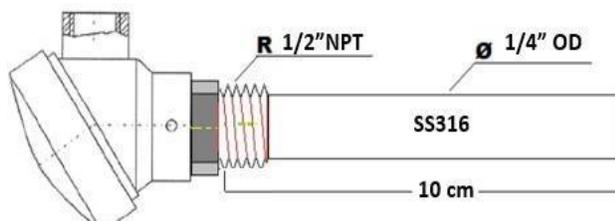
Dentro de la ingeniería de detalle, se escogen las RTD, debido a las ventajas que presentan, las cuales son adecuadas para la aplicación del proyecto.

- Alta Precisión
- Mejor Linealidad
- Mejor Estabilidad
- No requiere compensación por junta fría
- Los hilos no requieren especial extensión

Dentro de las características para escoger el sensor de temperatura, se encuentra la fiabilidad o respaldo de la marca, así como el precio competitivo o austero del mismo. Por ello se eligió una termocupla Tipo J, de la marca Electro sensores.

Las dimensiones de la RTD obedecen a que ilustra la *figura 33*. Las dimensiones son acordes a las propias de los termo-pozos de los tanques de asfalto, y la distribución dentro de la planta de producción de mezcla asfáltica.

Figura 33. Termocupla Tipo J – Electro-sensores



Fuente: Electro Industrial

2.1.6. SELECCIÓN DEL TERMOPOZO PARA TANQUE DE ASFALTO

Un termo pozo para sensor de temperatura es el elemento que entra en contacto con el producto en proceso, actuando como protección mecánica y química contra las condiciones extremas del ambiente al cual serían expuestos los sensores de temperatura, pues aíslan la

RTD de abrasiones, altas presiones, fluidos viscosos con altas impurezas, así como a altas temperaturas fuera de su rango de medición.

Se clasifican según su intención de uso, como conexión roscada, racor de compresión, brida, para soldar o termo pozo en barra sólida. Dadas las condiciones de la planta, se eligen los termo pozos roscados recto, que, de antemano, son los más frecuentes en la industria

2.1.7. SELECCIÓN DEL TRANSMISOR DE TEMPERATURA

Los transmisores de temperatura nacieron con la intención de transformar las variaciones de tensión o resistencia, derivadas del sensado de temperatura, en otras señales en rangos predefinidos de tensión o corriente, 0 [V] a 10 [V] o 4.0[mA] a 20[mA] respectivamente. Esta señal de salida para el transmisor es recibida por otro dispositivo electrónico capaz de escalar la señal con el objetivo ya sea visualizarla o de controlarla, según sea su intención dentro del proceso.

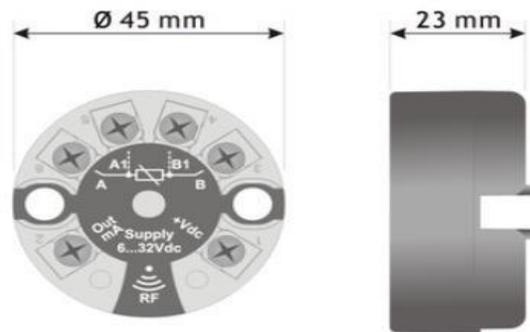
Para el registro de temperatura, no se torna indispensable la implementación de un transmisor de temperatura, claro está que su uso genera ciertas ventajas dentro del tratamiento de la señal, dentro de estas ventajas se encuentran:

- Mediciones más rápidas
- Mediciones con menor margen de error
- Mayor estabilidad en la señal
- Capacidad de lectura con mayor recorrido o distancia
- Recubrimiento galvánico para proteger de la corrosión y abrasión.

El transmisor RTD es generalmente alimentado por una fuente de alimentación no regulada y es compatible con RTD's de 2 o 3 hilos. Al recibir la entrada, el transmisor envía la corriente de salida que es directamente proporcional al sensor de RTD. El transmisor puede montar en la superficie o dentro de una cabeza de protección. Dos cables de cobre utilizados para transmitir la señal de temperatura y suministrar la tensión de corriente directa al transmisor. (Omega, 2003)

El Pixsys 2000.35.015 es un transmisor de temperatura para cabezal DIN/B que transforma la señal adquirida por la PT100 de 3 hilos, en una señal normalizada en corriente 4.0 [mA] a 20 [mA] de sólo 2 hilos. Esta conversión prevé una elevada precisión sobre la escalada de lectura con conversión de la medida a 16 bit. En la figura 34 se identifican las dimensiones del transmisor de temperatura Pixsys 2000.35.015

Figura 34. Dimensiones del transmisor de temperatura Pixsys 2000.35.015



Fuente: Pixsys Electronics2

La programación se basa en la comunicación NFC: es posible elegir entre un programador que le permite realizar todos los ajustes y calibraciones rápidamente y sin necesidad de encender el convertidor o incluso de programar los convertidores mediante los smartphones vía MyPixsys App. **SELECCIÓN DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA**

Como lo indica su nombre, un controlador de temperatura es un dispositivo electrónico empleado para regular el estado térmico dentro de algún proceso industrial, en el cual, la temperatura sea una variable de sumo interés para el éxito de este. En principio, insta de una entrada proveniente de un sensor (RTD), y a su vez, de una salida conectada al instrumento de control, el cual, procesa la señal y ejecuta la acción según el interés del proceso.

Los controladores de temperatura se clasifican de acuerdo con su estrategia de control: encendido y apagado, PID, y proporcional. El controlador de temperatura EBCHQ 58008, usado para leer la temperatura en dos etapas de la producción de mezcla asfáltica, permite el control ON / OFF y Fuzzy PID, compatible su entrada con la señal emitida por el transmisor Pixsys 2000.35.015, a su vez, proveniente del sensor RTD PT100 tipo J instalado.

La señal de salida o de control, es de tipo relé SPDT (NA + NC), y permite funciones auto sintonizada, manual / automático. En este caso, el EBCHQ no es programado como controlador de temperatura, es decir, no hay ninguna acción de control en su salida. Únicamente funciona como un display de la temperatura sensada, con la capacidad de activar su alarma.

2.2.8. SELECCIÓN DEL QUEMADOR PARA CALDERA

Se requiere la implementación de un nuevo quemador a gas, de acuerdo con las opciones que ofrece la industria, y en general, el mercado de quemadores a gas, se selecciona el quemador Riello Serie RS 34 MZ. La serie de quemadores RS cubre un rango de combustión de 70 a 550 [kW], y han sido diseñados para su uso en calderas de agua caliente de baja o media temperatura, calderas de aire caliente o vapor, calderas de aceite diatérmico. La operación es "dos etapas"; Los quemadores están equipados con una caja de control de seguridad del quemador basada en microprocesador que proporciona indicación de funcionamiento y diagnóstico de la causa del fallo. La optimización de las emisiones sonoras está garantizada por el diseño especial del circuito de aspiración de aire y por el material insonorizante incorporado.

El elevado rendimiento de los ventiladores y el cabezal de combustión garantizan flexibilidad de uso y excelente trabajo en todos los regímenes de combustión. La optimización de las emisiones sonoras está garantizada por el diseño especial del circuito de aspiración de aire. Para la selección del quemador se tuvieron en cuenta las siguientes características técnicas que ofrece el producto, el cual deberá ser suministrado con las mismas:

Descripción: quemador de gas monobloque de tiro forzado con funcionamiento en dos etapas, totalmente automático, compuesto por:

- Circuito de aspiración de aire con material insonorizado
- Ventilador de alto rendimiento con palas rectas
- Amortiguador de aire para ajuste del flujo de aire
- Motor de arranque a 2800 rpm, monofásico / 220-230V / 50-60Hz
- Cabezal de combustión, regulable en función de la potencia requerida, provisto de:
- Cono final de acero inoxidable, resistente a la corrosión y altas temperaturas
- Electrodo de ignición

- Sonda de ionización
- Distribuidor de gas
- Disco de estabilidad de llama
- El presostato de aire mínimo deberá detener el quemador en caso de cantidad de aire insuficiente en el cabezal de combustión
- Caja de control de seguridad del quemador basada en microprocesador, con funciones de diagnóstico
- Enchufe y zócalo para conexiones eléctricas accesibles desde el exterior de la tapa
- Ventana de inspección de llama
- Barras deslizantes para facilitar la instalación y el mantenimiento.
- Filtro de protección contra interferencias de radio
- Nivel de protección eléctrica (IP 40).

Equipamiento estándar:

- 1 brida de rampa de gas
- 1 junta de brida
- 4 tornillos para fijar la brida
- 1 pantalla térmica
- 4 tornillos para fijar la brida del quemador a la caldera
- 3 enchufes para conexión eléctrica
- Manual de instrucciones de instalación, uso y mantenimiento.
- Catálogo de repuestos.

El quemador Riello RS 34 MZ, funciona con dos flamas progresivas de 45 a 125 / 390 [kW (153.684 – 426.900 / 1.331.928 BTU /h)]. Está equipado de un panel de control con microprocesador que brinda información sobre su funcionamiento, y realiza diagnóstico ante alguna falla en la flama.

Para dar cumplimiento, implementa el gestor de combustión Siemens LVM27.100A2RL para el control y monitorización de quemadores de gas de tiro forzado modulante. Dentro de sus características principales, se encuentra:

- capacidad de controlar hasta dos servos
- control de estanqueidad de la válvula de gas
- interfaz de comunicación ModBus.
- Conector de salida para LCD.

El LMV27 mostrado en la figura 35 es un sistema de gestión de quemadores basado en microprocesador con componentes de sistema a juego para el control y supervisión de quemadores de tiro forzado de capacidad media a alta.

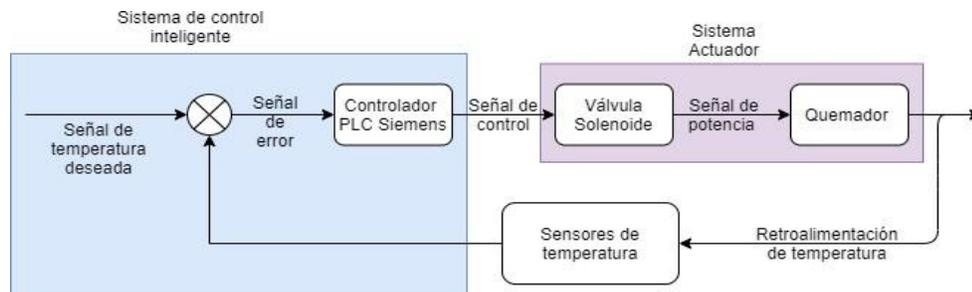
Como salidas del controlador, se encuentra:

- Motor de ventilador
- Alarma Sonora
- Electrodo de ignición
- Válvula de combustible
- Pantalla de operación
- Válvula de seguridad

2.2.9. PROPUESTA DE CONTROL DE QUEMADOR

A continuación, se presenta el diagrama de control del quemador en lazo cerrado, junto con la descripción del modelo de control y su función de transferencia:

Figura 35. Diagrama de control de lazo cerrado para la implementación del quemador



Fuente Daniel Rivera:

Se propone un lazo cerrado de control el cual estará basado en el promedio de la medición de los dos sensores de temperatura que se encuentran al interior de los tanques de asfalto (TK4 y TK5), el actuador del lazo de control consiste en un quemador al cual se le regulará el flujo del combustible por medio de una válvula solenoide proporcional, con el fin de controlar la temperatura en la caldera, la cual a su vez está relacionada directamente con la temperatura al interior de los tanques de asfalto.

Para la obtención de la función de transferencia del sistema se propone utilizar el método de lazo abierto con la curva de reacción de Ziegler y Nichols dado que es el método más usado

en la industria para la sintonización de controladores; y, teniendo en cuenta que para los controles de temperatura dicha curva tiene un comportamiento sigmoideal el cual obedecerá a características de un sistema de primer orden.

2.3. INGENIERÍA DE DETALLE.

Estas proposiciones son debidamente ajustables a la intención y limitaciones del gerente de la empresa. La prioridad para la empresa radica en optimizar la planta de producción de mezcla asfáltica, mediante el diseño, programación e implementación de una interfaz Hombre Máquina.

- En vista de que el despacho de material se realiza en unidades de metros cúbicos [m^3], y con el objetivo de controlar este proceso, se idealiza la implementación de una celda de carga que permita identificar el peso de cada metro cubico, y así, generar una apertura automática de la compuerta cada vez que la celda de carga identifique un metro cúbico (1m3) de mezcla asfáltica.
- En vista de que no es una falla recurrente, o un sistema que deba estar permanente para el buen funcionamiento de la producción, se busca la implementación de un mecanismo que alerte el momento en el cual no se esté cumpliendo con la dosificación del material. Para ello, se considera viable integrar un mecanismo final de carrera, que al indicar el no paso de la arena, active una alerta sonora, y a su vez, encienda un motor vibrador acoplado en la cara externa de la tolva, capaz de hacer bajar el material grumoso, valiéndose de la ayuda de la gravedad.
- Al ser una de las variables de mayor interés en el funcionamiento de la planta de asfalto, se busca la selección, programación e instalación de sensores de temperatura, cuyo registro se pueda visualizar dentro de la HMI.
Para ello, se precisa escoger el sensor que mejor se adapte a las necesidades y condiciones existentes por parte de la empresa.
- Para controlar la temperatura dentro de los tanques de almacenamiento de asfalto, se prevé la modificación del sistema de combustión que se lleva a cabo en la caldera,

implementando un quemador de tipo industrial, que garantice el control de la llama por medio del flujo del combustible y comburente como entradas del sistema de control.

- Programar el PLC de la planta para satisfacer las propuestas anteriormente mencionadas.

2.3.1. COMUNICACIÓN DEL PLC CON LOS V.D.F.

Un variador de frecuencia es un sistema que sirve para regular la velocidad de giro de los motores de corriente alterna (AC). Se encuentran entre la fuente de alimentación eléctrica y los motores. Para la comunicación de los variadores de frecuencia Invertek ODE-3, se implementa el protocolo de comunicación Modbus basado en arquitectura maestro / esclavo. En este caso particular, implementa el modo de transmisión MODBUS RTU a través del estándar RS-485.

En el capítulo octavo del manual del variador, se resume y explica el paradigma de la comunicación Modbus RTU para este último, diferenciando si se integra como un ‘maestro’ o como un ‘esclavo’.

En este caso particular, el PLC Wecon se configura como ‘maestro’, es decir, que los cinco variadores de planta trabajan como ‘esclavo’ en la comunicación.

Tabla 1. Comando Leer

Comando 03 – Read Holding Registers				
Trama de maestro	Longitud		Respuesta esclavo	Longitud
Dirección esclavo	1	Byte	Dirección esclavo	1 Byte
Código función (03)	1	Byte	Dirección de inicio	1 Byte
Dirección 1r reg.	2	Bytes	Valor 1r registro	2 Bytes
No. de registros	2	Bytes	Valor 2n registro	2 Bytes
CRC Checksum	2	Bytes	Etc...	
			CRC Checksum	2 Bytes

Fuente: Invertek Drives

Tabla 2. Comando Escribir

Comando 06 – Write Single Holding Register				
Trama maestro	Longitud		Respuesta esclavo	Longitud
Dirección esclavo	1	Byte	Dirección esclavo	1 Byte
Código función (06)	1	Byte	Código función (06)	1 Byte
Dirección registro.	2	Bytes	Dirección registro.	2 Bytes
Valor	2	Bytes	Valor	2 Bytes
CRC Checksum	2	Bytes	CRC Checksum	2 Bytes

Fuente: Invertek Drives

Tabla 3. Mapa de registro Modbus.

Número registro	Par.	Tipo	Comandos soportados	Función		Rango	Explicación
				Low Byte	High Byte		
1	-	R/W	03,06	Comando de control del convertidor		0..3	Palabra de 16 Bit. Bit 0 : off =PARO; on = MARCHA Bit 1 : off = Desaceleración Rampa 1 (P-04); on = Desaceleración Rampa 2 (P-24) Bit 2 : off = Sin función, on = Reset fallo Bit 3 : off = Sin función, on = Paro libre
2	-	R/W	03,06	Velocidad de referencia Modbus		0..5000	Frecuencia setpoint x10, Ej. 100 = 10.0Hz
4	-	R/W	03,06	Rampa de aceleración y desaceleración		0..60000	Tiempo de rampa en segundos x 100, Ej. 250 = 2.5seg
6	-	R	03	Código de error	Estado del convertidor		1r Byte (bajo) = Código de error convertidor, sección 10.1 2º Byte(alto) = Estado del convertidor:- 0: Convertidor parado 1: Convertidor en marcha 2: Convertidor en alarma
7		R	03	Frecuencia de salida a motor		0..20000	Frecuencia de salida en Hz x10, Ej. 100 = 10.0Hz
8		R	03	Corriente de salida a motor		0..480	Corriente de salida en Amps x10, Ej. 10 = 1.0 A
11	-	R	03	Estado de las entradas digitales		0..15	Indica el estado de las 4 entradas digitales Bit menor peso = 1 entrada 1
20	P00-01	R	03	Valor entrada analógica 1		0..1000	Entrada analóg. % del fondo de escala x10, Ej. 1000 = 100%
21	P00-02	R	03	Valor entrada analógica 2		0..1000	Entrada analóg. % del fondo de escala x10, Ej. 1000 = 100%
22	P00-03	R	03	Valor de la velocidad de referencia		0..1000	Muestra Setpoint de frecuencia x10, Ej. 100 = 10.0Hz
23	P00-08	R	03	Voltaje del bus DC		0..1000	Voltaje del bus DC en V
24	P00-09	R	03	Temperatura del convertidor		0..100	Temperatura del radiador del convertidor en ºC

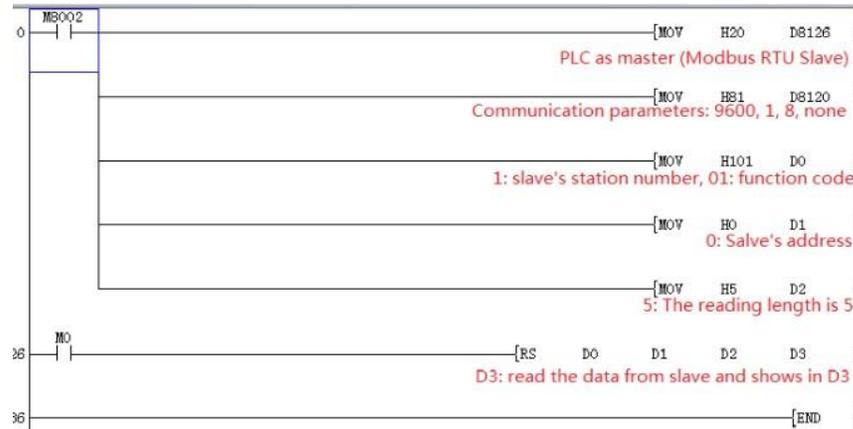
Fuente: Invertek Drives

El software PLC editor, dentro de su ventana de asistente de configuración permite conceptualizar las instrucciones de comunicación, mediante un asistente de programa el cual contiene todas las opciones necesarias para definir las instrucciones de programación.

Por ejemplo, dentro de su ventana principal es posible configurar las instrucciones de comunicación, predefiniendo si incluye protocolo de comunicación o no (ver figura 37). Posterior a ello, se establece el puesto COM por medio del cual se comunicará el PLC. Se aprecia un ejemplo de programación de un variador, utilizando la comunicación MODBUS con el PLC. Predefinido en la primera sentencia, que el papel de Maestro del PLC.

De igual manera, la lectura de dato deseado dependiente del registro de la tabla 5, y la manera de mostrarlo como dirección que ingresa a la HMI.

Figura 36. Ejemplo programación variador / plc comunicación modbus



Fuente: Wecon Technology

A continuación, se presenta la programación de los cinco variadores, comunicados vía modbus con el PLC maestro Wecon.

Figura 37. Lectura de registros



Fuente: El autor

Por ejemplo, el registro ocho (8), representado como *H8* dentro del Ladder del PLC Editor, lee la corriente de salida del motor conectado a su variador respectivamente; este registro de corriente se guarda en la dirección deseada por el programador para su próximo uso.

Figura 38. Lectura de registros comunicación Modbus.



Fuente: El autor

Figura 39. Lectura de registros comunicación Modbus.



Fuente: El autor

Posteriormente, se programa la conversión de la señal analógica de los registros anteriores, a registros digitales que puede interpretar el PLC para su libre uso, como, por ejemplo, escalar señales, mostrar en pantalla, etc. Ver anexos 5.3.

2.3.2. PROGRAMACIÓN DE LOS SENSORES DE TEMPERATURA

Para el registro de temperatura en las etapas de la planta de producción de mezcla asfáltica, al ser esta una señal analógica se requiere la implementación de un módulo de conversión de señal analógica a digital.

Una de las grandes bondades que presenta el PLC que se emplea en la planta al ser de tipo modular, es el permitir instalar diferentes módulos desarrollados por Wecon Technology, para facilitar la programación y control de procesos.

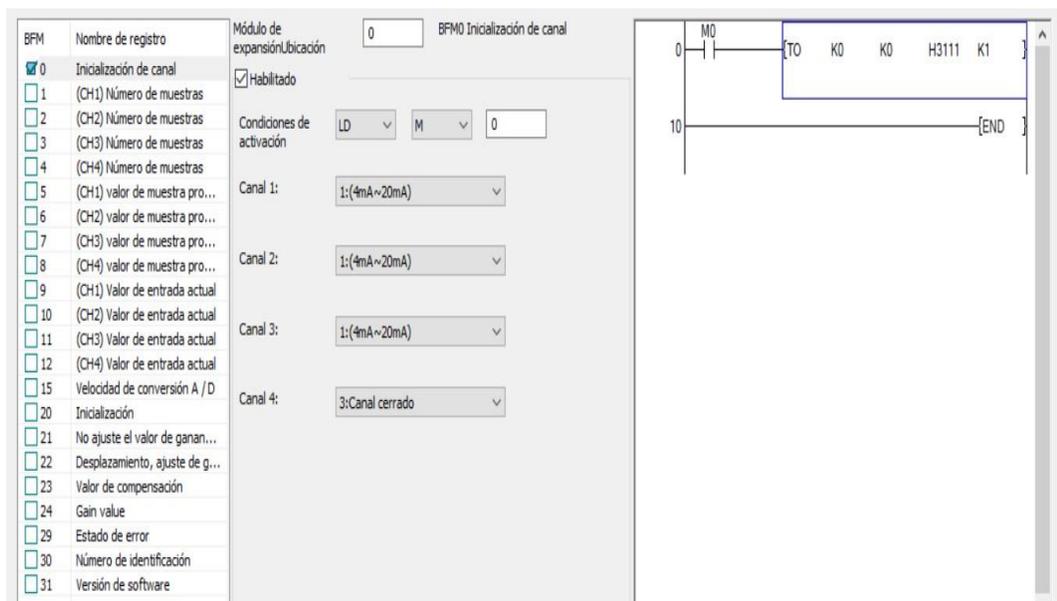
El módulo que se implementa es el LX3V -4AD de la marca Wecon, con capacidad de entrada para cuatro (4) señales analógicas.

A diferencia de lo propuesto inicialmente, no son necesarios ocho (8) sensores de temperatura para su monitoreo en las etapas de producción. Para el desarrollo de este trabajo, se dispuso de tres (3) sensores ---RTD tipo J, anteriormente descritos, instalados en puntos estratégicos para el monitoreo del ciclo de producción de mezcla asfáltica.

Al ser un módulo de la misma marca, y misma serie del PLC implementado, resta por realizar la comunicación entre el PLC y el módulo.

Como se observa en la figura 41, Wecon permite dentro del editor de programación del PLC, abrir librería de ‘ayudas’ que resumen el paso a paso de la lógica de programación, indicando al programador las sentencias que debe tener en cuenta para el normal y correcto funcionamiento del módulo.

Figura 40. Inicialización de canal



Fuente: El autor

En este caso particular, las entradas analógicas que se desean convertir con este módulo corresponden a la señal de temperatura registrada por las RTD, esta a su vez, implementa el transmisor de temperatura Pixsys 2000.35.015 encargado de llevar la señal del sensor, a una señal del orden de los 4 a 20 [mA].

De la figura 41, también se aprecia que el primer paso corresponde a seleccionar el tipo de señal que se va a recibir en cada uno de los canales del módulo.

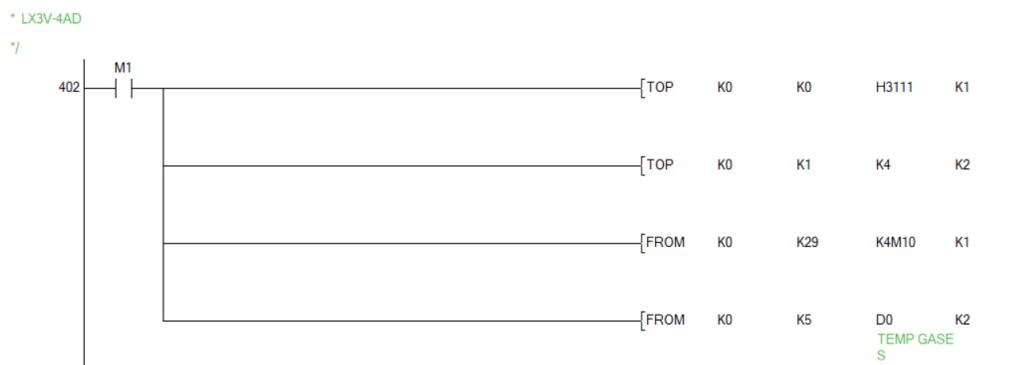
Tabla 4. Asignación de memoria intermedia

BFM	Description	
*#0	Channel initialization,default=H0000	
*#1	Channel 1	Contains the number of samples (1 to 4096) to be used for an averaged result. The default setting is 8-normal speed. High speed operation can be selected with a value of 1.
*#2	Channel 2	
*#3	Channel 3	
*#4	Channel 4	
#5	Channel 1	These buffer memories contain the averaged input values for the number of samples entered for the channel in buffer memories #1 to #4 respectively.
#6	Channel 2	
#7	Channel 3	
#8	Channel 4	
#9	Channel 1	These buffer memories contain the present value currently being read by each input channel.
#10	Channel 2	
#11	Channel 3	
#12	Channel 4	
#13-14	Reserved	
#15	Selection of A/D conversion speed see note 2	When set to 0, a normal speed is selected of 15ms/ch (default)
		When set to 1, a high speed is selected of 6ms/ch

Fuente: Invertek Drives

Para configurar el Módulo, se debe considerar las asignaciones de memoria intermedia que se muestran en la tabla 5.

Figura 41. Comunicación módulo de conversión A/D



Fuente: El autor

Posterior a ello, se realiza el escalamiento del registro de temperatura tomado por la RTD, para ser mostrado en la HMI. El módulo LX3V - 4AD es el encargado de realizar este

escalamiento, necesitando únicamente los valores de temperatura del sensor, ajustados a la parametrización de lectura del módulo.

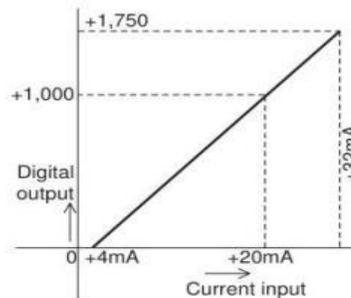
Dentro de las características del sensor tipo 'J' instalado en la planta, está su rango de temperatura entre cero grados Celsius (0°C) a seiscientos grados Celsius (600°C). Dadas las características del módulo, para un sensor de este rango de operación, la señal de salida obedece a un valor entre mil (1000) y seis mil. (6000)

Tabla 5. Especificaciones de funcionamiento para entradas analógica de temperatura

Item	Centigrade	Fahrenheit
	Both °C and °F readings are available by reading the appropriate buffer memory area.	
Analog input signal	Platinum temperature PT 100 sensors (100 Ω), 3-wire, 4-channel (CH1, CH2, CH3, CH4), 3850 PPM/°C	
Current to sensor	1 mA. sensor : 100 Ω PT 100	
Compensated range	100°C to 600°C	-148°F to +1112°F
Digital output	-1000 to 6000	-1480 to 11120
	12-bit conversion 11 data bits +1 sign bit	
Minimum resolvable temp.	0.2°C to 0.3°C	0.36°F to 0.54°F
Overall accuracy	±1% full scale (compensated range) -see section 7.0 for special EMC considerations	
Conversion speed	4Channel 15ms	

Fuente: Wecon Technology

Figura 42. Especificaciones de funcionamiento para entrada analógica de temperatura - linealización



Fuente: Wecon Technology

El proceso de escalamiento que se realiza desde la lectura por parte del sensor, hasta su visualización en la pantalla de la HMI, consiste en tres etapas de linealización que

internamente se ejecutan dentro de cada dispositivo electrónico, tal como se representa en las figuras 43 y 44.

Figura 43. Tratamiento de señal análoga



Fuente: El autor

Figura 44. Tratamiento de señal análoga - 2.



Fuente: El autor

Los dispositivos electrónicos y su respectiva etapa son:

- Transmisor de temperatura → Convierte la señal física análoga en una medida eléctrica
- Módulo de conversión → Convierte la señal eléctrica (análoga) en señal de continua.
- PLC → Procesa la señal digital y toma decisiones

En cada etapa, se realiza un tratamiento similar de la señal, pero un escalamiento que difiere acorde a los rangos en que oscile su operación.

Para el escalamiento de una señal, se emplea la ecuación de la recta. Para determinar el valor de la pendiente 'm', se divide el "rise" entre el "run", es decir, los rangos o parámetros enfrentados.

2.3.2.1. PRIMERA ETAPA

La señal de temperatura medida por el sensor, entra al transmisor de temperatura Pixsys 2000.35.015 encargado de estabilizar y acondicionar esta señal, como una entrada de corriente de 4 – 20 [mA].

En este caso, se linealiza acorde al rango de lectura del sensor implementado, con respecto a la señal de 4 – 20 [mA] que entrega el transmisor de temperatura.

Tabla 6. Linealización de señal RTD vs Transmisor de temperatura

Señal Análoga / Rango RTD	Señal de salida del transmisor
0	4
37.5	5
75	6
112.5	7
150	8
187.5	9
225	10
262.5	11
300	12
337.5	13
375	14
412.5	15
450	16
487.5	17
525	18
562.5	19
600	20

Fuente: El autor

2.3.2.2. SEGUNDA ETAPA

La señal de corriente 4 – 20 [mA], ingresa el módulo de conversión Wecon LX3V – 4AD, el cual linealiza la señal de corriente en una señal digital capaz de ser tratada por el PLC.

En este caso, se linealiza acorde a la señal entregada por el transmisor de temperatura, es decir, la señal de 4 – 20 [mA], con respecto al valor digital del módulo de conversión de analógica a digital.

Para hallar el valor analógico, es necesario saber la máxima resolución del conversor A/D. Particularmente, el conversor Wecon LX3V – 4AD presenta una máxima resolución de 12 bits.

Tabla 7. Linealización de señal del transmisor de temperatura vs Conversión Digital

Señal digital	Señal de salida del transmisor
0	4
256	5
512	6
768	7
1024	8
1280	9
1536	10
1792	11
2048	12
2304	13
2560	14
2816	15
3072	16
3328	17
3584	18
3840	19
4095	20

Fuente: El autor

2.3.2.3. TERCERA ETAPA

Finalmente, se procede a linealizar la señal digital con el rango de operación y lectura propios de la RTD, para así, mostrarlos en la pantalla de la HMI.,

Este último rango, depende de la salida digital por defecto, que suministra el módulo para la RTD tipo J.

Revisando el manual de wecon, se tiene un rango de 1000 a 6000 para RTD.

De la ecuación 1;

$$y = m * x + b$$

Ecuación 1. Despeje ecuación de la recta

$$m = \frac{6000 - 1000}{4095 - 0}$$

Ecuación 2. Ecuación de la recta en tercera etapa.

$$y = \frac{6000-1000}{4095-0} * (1474,2 - 0) + 0$$

Ecuación 3. valor escalado en la segunda etapa

Donde:

1474,2 → valor escalado en la segunda etapa

0 → Límite inferior de la señal digital

Tabla 8. Linealización de señal Digital vs Temperatura en display

Señal digital	Señal Mostrada en pantalla
0	1000
256	1312
512	1624
768	1936
1024	2248
1280	2560
1536	2872
1792	3184
2048	3496
2304	3808
2560	4120
2816	4432
3072	4744
3328	5056
3584	5368
3840	5680
4095	6000

Fuente: El autor

La linealización anteriormente descrita, en conjunto de las tres etapas, se realizan dentro de la comunicación entre cada dispositivo, es decir, en el PLC solo se ingresan los valores correspondientes al mínimo y máximo de temperatura que es capaz de leer el sensor.

Figura 45. Escalamiento de la señal de temperatura



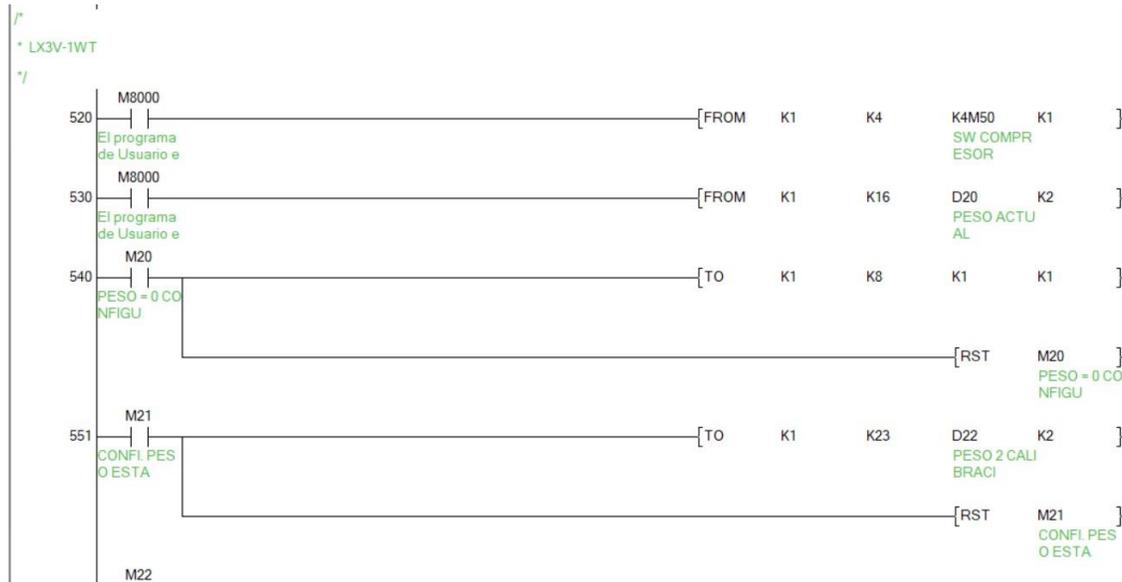
Fuente: El autor

2.3.3. PROGRAMACIÓN DEL MÓDULO DE PESAJE

En aras de precisar el volumen de mezcla asfáltico despachado en las volquetas de transporte, se integra un sistema de dosificación y pesaje de la mezcla asfáltica.

Para ello, se integran cuatro celdas de carga que soporten el peso muerto de la tolva contenedora de la mezcla asfáltica. Este juego de celdas se conecta a la entrada del módulo de pesaje Wecon LV3V 1WT, el cual, dentro de sus parámetros predefinidos, linealiza el peso de cada celda, como un peso producto de la tolva en vacío.

Figura 46. Comunicación módulo de pesaje



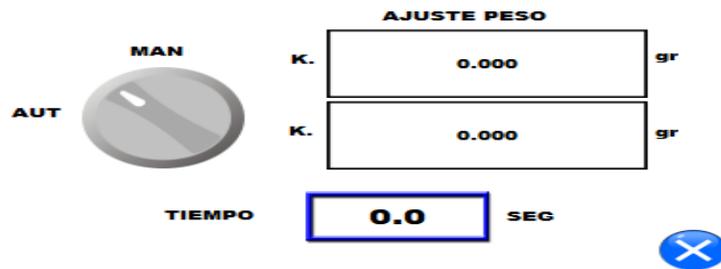
Fuente: El autor

Dentro de las configuraciones predefinidas del fabricante, y especificadas en su manual de uso, se permite la calibración del módulo, realizando ajustes de tara, zero absoluto, y valores de referencia.

Para la dosificación del material, se integra un control el cual consiste en fijar un valor de set point de peso, equivalente a un metro cubico de material, y el tiempo que se desee dure abierta la compuerta, descargando ese mismo.

Cabe aclarar, que el valor varía dependiendo el tipo de mezcla.

Figura 47. Control de peso



Fuente: El autor

2.3.4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MECANISMO PARA DOSIFICACIÓN DE MATERIAL EN LA TOLVA 1

Dadas las condiciones climatológicas, donde se aumenta severamente la humedad del material dispuesto en la tolva número 1, se ve estropeada la producción de mezcla asfáltica, al no cumplir con los porcentajes exactos de cada material, suministrado por los criterios de diseño Marshall.

En épocas de invierno, donde el material pétreo no alcanza a secarse completamente antes de ingresar a producción, surge un gran inconveniente con la tolva de arena, pues este material tiende a “pegarse” dentro de la tolva, ocasionando taponamiento que se reflejan en la no caída de material para la producción de la mezcla.

Para contra restar este inconveniente, y no requerir de un trabajador exclusivamente vigilando la caída de arena hacia la banda transportadora de la tolva 1, que, a su vez, con una maceta golpeará el contorno metálico de la misma, para que con efecto de gravedad el material soltara y cayera sobre la banda, se propone e implementa, un mecanismo autónomo para la dosificación del material. La figura 48 muestra el mecanismo Final de carrera

Figura 48. Mecanismo Final de carrera.



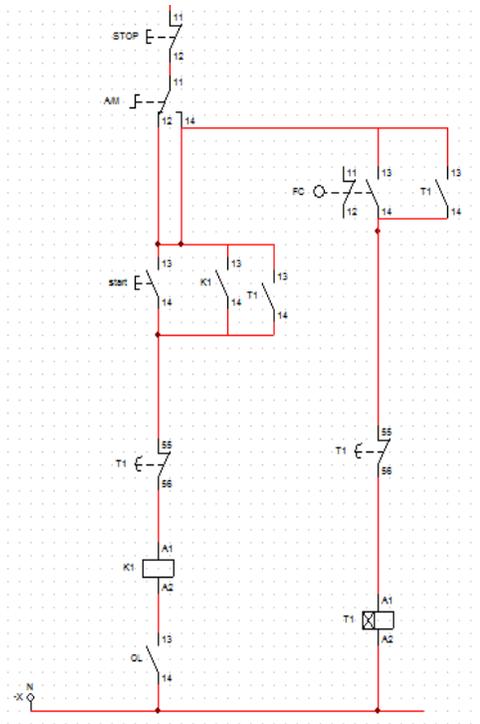
Fuente: El autor

Para ello se implementó una lámina metálica, bastante liviana, que pudiese ser levantada por el mismo flujo del material. Esto último, para poder generar contacto con el mecanismo final de carrera, que, al tener contacto con la lámina, es decir, que no está fluyendo material cayendo de la tolva, envíe un pulso para activar el motor vibrador, instalado en el contorno de la tolva.

Su funcionamiento, puede ser seleccionado de manera manual o automática. De manera manual, se puede encender el motor cada vez que se desee. Es decir, presenta alimentación directa entre el pulsador y el motor. Por otro lado, en el modo automático, se enciende el motor, sólo cuando el final de carrera tiene contacto con la lámina puesta sobre la tolva, lo cual se traduce en escases del material. En esta instancia, el final de carrera envía un pulso que enciende el motor vibrador, y de manera simultánea, inicia un temporizador ajustado (por decisión libre) en trece (13) segundos; este sería el tiempo en el cual dura encendido el motor.

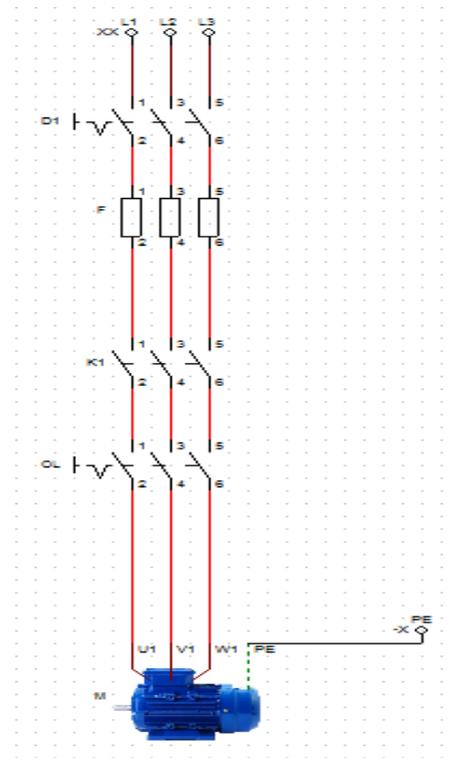
Al término del temporizador, su señal apaga el motor vibrador. La figura 49 y figura 50, consisten en una simulación de la operación del mecanismo final de carrera para la activación del motor vibrador. En ellos, se pueden apreciar los componentes que integran el funcionamiento del mecanismo, así como el enclavamiento en modo automático o manual, y la activación del temporizador de encendido.

Figura 49. Circuito de control



Fuente: El autor

Figura 50. Circuito de potencia



Fuente: El autor

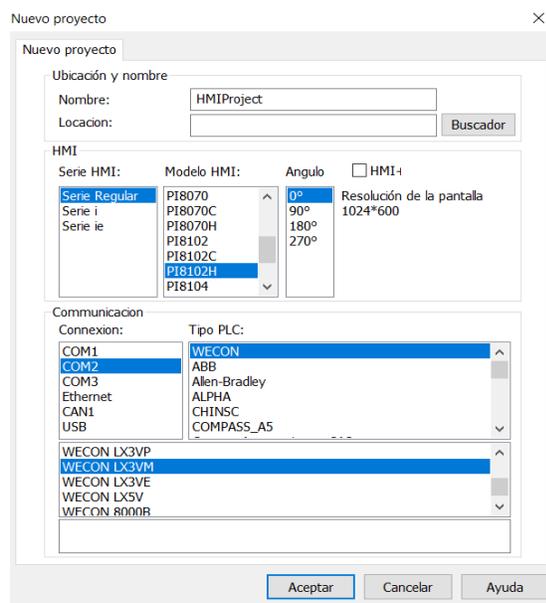
3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA

3.1. PROGRAMACIÓN DE LA HMI

La interfaz Hombre Máquina implementada en la planta de producción de mezcla asfáltica de la empresa RUMA INGENIERÍA S.A.S. es de propiedad del fabricante chino Wecon Technology; su desarrollo se realiza por medio del Software libre *PI STUDIO* del mismo fabricante.

En su ventana de inicio se debe especificar la referencia de la pantalla en la cual se va a trabajar, así como el puerto de comunicación, y la opción de escoger la marca del PLC dentro de una amplia cantidad de opciones.

Figura 51. Pantalla de Inicio de programación



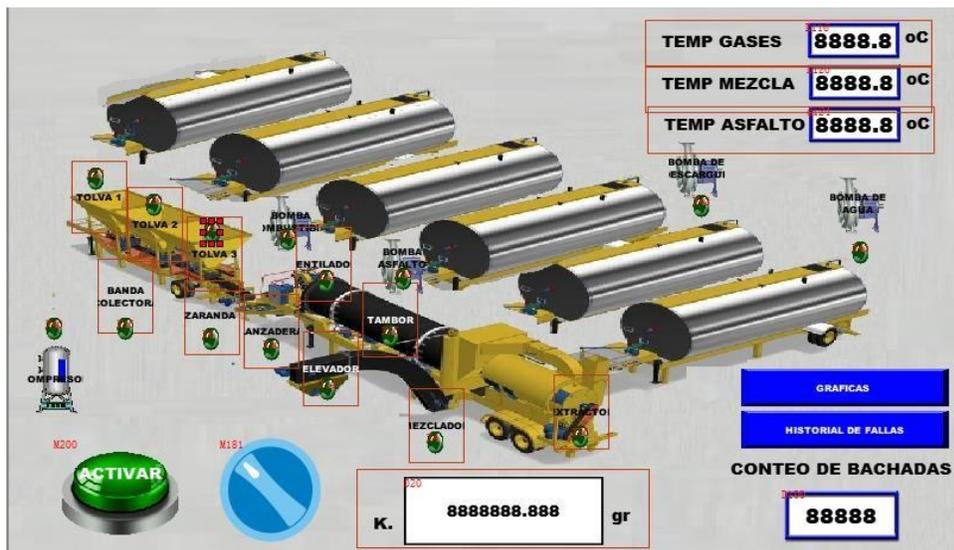
Fuente: El autor

Una vez dentro de la pantalla de trabajo, se importan las imágenes de fondo en cada una de las pantallas que se programarán en la HMI. De igual manera, hay que diferenciar cuáles serán pantallas y/o sub-pantallas dentro del manejo de la HMI. Pues a lo largo del funcionamiento, podemos ingresar a layouts que permitan ingreso de datos por teclado, o simplemente, hacer la veces de un display.

Dentro de la pantalla Inicial y tal como se muestra en la figura 52, se encuentra una imagen de fondo que idealiza gráficamente las etapas de la línea de producción. De igual manera, se encuentran los testigos de encendido y/o apagado de cada actuador.

En la pantalla inicial, se encuentran indicadores leds que muestran el estado encendido o apagado de cada actuador, mediante el cambio de tonalidad (verde oscuro – verde brillante). También se encuentran situados en la parte superior derecha, tres displays encargados de visualizar los registros de temperatura sensados. En la parte inferior, costado izquierdo de la pantalla, se localiza un selector azul, encargado de abrir y cerrar la tolva de descargue de manera manual. Junto al selector, se sitúa un recuadro blanco, en el cual, al seleccionar, se ingresa por pantalla (teclado digital) los valores de set point deseado para la tolva de descargue de mezcla asfáltica. De igual manera, el display del contador de bachadas, y el acceso al historial de fallas y gráficas.

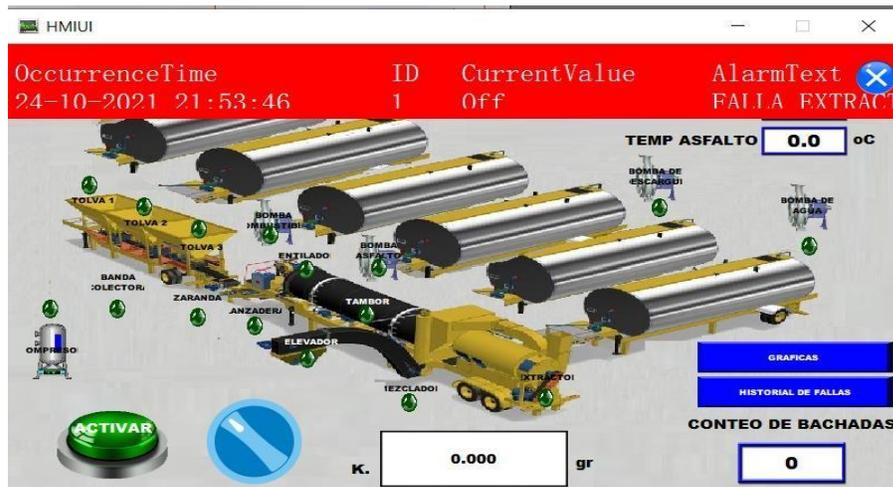
Figura 52. Pantalla principal de la HMI Funcional



Fuente: El autor

Una vez se haya seleccionado encender algún actuador, su testigo alumbrará de color verde brillante mientras que, en caso de producir un fallo, su testigo se pondrá de color rojo; de igual manera, y como se observa en la figura 56, se produce un mensaje flotante indicando el nombre (previamente programado) de la falla.

Figura 53. Alerta de falla en HMI



Fuente: El autor

Como se mencionó en el anexo, diseño de la HMI, desde esta última se puede encender y apagar los diferentes actuadores que participan en el funcionamiento de la planta. Para ello, al oprimir sobre cada testigo o nombre del actuador, se despliega una sub-pantalla donde aparte de corroborar el nombre del actuador, se puede encender o apagar el mismo, esto último mediante un switch flotante. Esta lógica está presente en los siguientes actuadores o elementos de la línea de producción. Ver anexos 5.9.

Por otra parte, se realiza la comunicación vía Modbus con los variadores de frecuencia encargados del funcionamiento de las tres bandas transportadoras / dosificadores, y de dos bombas.

En el caso de las tres tolvas de material pétreo, la frecuencia varía según las condiciones establecidas en el diseño marshall para la elaboración de la mezcla asfáltica, pues dependiente de valores como temperatura, humedad, tipo de carpeta, se varía la dosificación de cada material.

Para las dos bombas restantes, su dosificación con variador de frecuencia se ajusta a la necesidad técnica en el momento de la producción; con la bomba de combustible se controla la llama del quemador del tambor mezclador, pues al tener una entrada de comburente

constante (ventilador), resta por subir y/o bajar el volúmen de combustible para intensificar o disminuir la llama.

Por otro lado, con el último variador de frecuencia se controla la dosificación de asfalto líquido que entrará a mezclarse con el material pétreo homogéneo. Su valor se deriva del criterio marshall para la elaboración de la mezcla asfáltica, y del tipo de mezcla a entregar.

Desde la pantalla principal de la HMI, al pulsar en el testigo o nombre del actuador, se despliega una sub-pantalla en la cuál se debe ingresar la frecuencia deseada en cada variador.

Para los cinco (5) variadores de frecuencia, la interfaz es exactamente la misma, descrita de la siguiente manera: la variable manipulada es la frecuencia del variador; este valor a ingresar es arrojado por el diseño Marshall elaborado por el laboratorista. Para ingresar el valor, basta con pulsar el recuadro *Frecuencia* ubicado en la parte superior de la figura 54. Una vez pulsado, se abre la sub-pantalla de la figura 55, precisamente, un teclado digital, en el cual se ingresa el valor deseado de frecuencia, un valor entre [0 – 60 Hz]. De igual manera, la pantalla de la figura 54, cuenta con dos displays adicionales, el primero muestra la corriente en amperios, y el segundo, ubicado en la imagen del variador inverttek, la respuesta del variador.

La variable manipulada es la frecuencia del variador, es decir, que dependiendo del valor ingresado por teclado, los valores de velocidad de la banda transportadora y corriente del variador, se verán alterados, y pueden ser monitoreados desde la misma sub-pantalla. Presenta el mismo funcionamiento, en los variadores de frecuencia de las tolvas 2 y tolva 3, así como en el variador de la bomba de asfalto. (ver anexos 5.)

- **Tolva 1:** Al ser pulsado, abre la sub-pantalla de la figura 54. En ella se encuentra el selector de encendido o apagado del variador. Una vez encendido, su testigo led alumbrará de verde.

Figura 54. Variador de frecuencia 1



Fuente: El autor

Figura 55. Teclado virtual - Variador de frecuencia



Fuente: El autor

Bomba de combustible: Al igual que en las bandas transportadoras, la variable manipulada es la frecuencia del variador, es decir, que dependiendo del valor ingresado por teclado, los valores de velocidad de caudal y corriente del variador, se verán alterado, y pueden ser monitoreados desde la misma sub-pantalla

Debido a que la entrada de comburente es invariante, es decir, que el ventilador se mantiene encendido a una velocidad constante, la intensidad de la llama corresponde a la relación combustible / comburente que se logre con el aumento o disminución de la frecuencia en el variador, pues a mayor combustible, mayor será la llama.

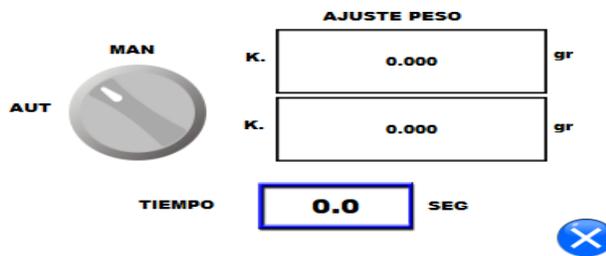
Pero, una vez se alcancen los valores de temperatura deseados, se deberá disminuir la llama de manera que mantenga la temperatura dentro de los rangos ideales.

- **Abir y cerrar la tolva de bachadas:** De manera manual, el operador podrá abrir y cerrar la compuerta de la tolva, según su criterio. Normalmente se usa para “emparejar” el nivel de la mezcla sobre el volco de la volqueta.

De manera automática, se ingresa por teclado el valor de 1850 [kg] que equivale a un metro cúbico (1 [m³]) de mezcla asfáltica, de igual manera, se configura el tiempo que se desea que esté abierta la compuerta.

Dado el ejercicio de prueba, se determinó que la compuerta dura abierta trece (13) segundos para descargar la totalidad del metro cúbico [m³]. Es decir, cuando la celda de carga arroje el valor de 1850 [kg], se abre la compuerta por un total de trece (13) segundos.

Figura 56. Configuración tolva de bachadas



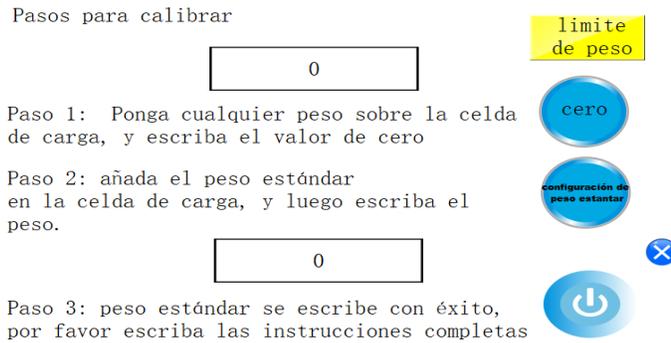
Fuente: El autor

De la figura 56, se aprecia un selector de modo de funcionamiento, bien sea manual o automático. De igual manera de cuenta con un primer display en el cual se ingresa por teclado el valor que se pretende fijar como set-point para el descargue del material. El segundo display corresponde al valor en tiempo real que registran las celdas de carga ubicadas bajo la tolva. Por ultimo, el tercer display permite ingresar (en el modo automático) el tiempo que se establece para que la compuerta dure abierta.

- **Configuración celda de carga:** La opción de calibración de la celda de carga, cuando ocurre algún desfase en la misma.

Se cambia el valor del cero a absoluto, para que su valor inicial corresponda a lo sensado de manera periódica.

Figura 57. Calibración de la celda de carga.



Fuente: El autor

- **Historial de fallas:** En la figura 58 se observa un mensaje flotante sobre la HMI, el cual inhabilita el manejo de la misma hasta que no se cierre el mensaje, para así, garantizar que el operador se percate y de solución al mismo.

Figura 58. Cuadro de alarmas en HMI

AlarmText	ResetTime	Condition	Variable
FALLA EXTRACTOR		Off	
PARADA EMERGENCIA		Off	

Fuente: El autor

4. CONCLUSIONES

- Las RTD's instaladas en las etapas de la planta de asfalto, presentaron problema en cuanto a su comunicación. De las tres (3) RTD's enviadas como entradas al PLC solo una temperatura se logró leer con este, las otras dos se realizaron a través de un controlador de temperatura EBCHQ 58008, como displays para la visualización y alarma de la temperatura. Para dar solución al fallo en la toma de registro de temperatura, y no ser por programación o estado físico de los sensores, se adquirió un módulo de lectura de termocuplas WECON de referencia LX3V – 4TC, para su próxima adecuación.

- La implementación del motor vibrador junto a su sistema final de carrera reduce significativamente los porcentajes de mezcla no apta para pavimentar, pues se garantiza que la mezcla cumpla con los porcentajes arrojados tras la realización del diseño Marshall.
- Para un mayor control del volumen descargado en las volquetas, se sugiere la implementación de celdas de carga en las bandas dosificadoras, para saber exactamente la cantidad de material que ha salido de las tolvas iniciales, con respecto al material almacenado en la tolva de descargue. Otra alternativa, consiste la implementación de un sistema de báscula justo donde se sitúa el vehículo de carga.
- Como alternativa, para el conteo de bachadas, y a su vez de volumen descargado, se sugiere la implementación de un sensor capacitivo entre la compuerta de descarga y la estructura de elevación, de tal manera que exista contacto al momento de abrir completamente la compuerta. Este pulso, se lee por medio de un contador digital, el cual debe comunicarse con el PLC.
- Otra propuesta a considerar para garantizar el calentamiento del asfalto líquido, reduciendo los tiempos que esto conlleva, radica en la implementación un intercambiador de calor situado en la intermediación de la tubería derivada de salida de los tanques, y justo antes de ingresar a la bomba de asfalto. Esto garantizaría subir la temperatura del asfalto independiente del proceso de combustión realizado en la caldera.
- Pensando en actualizar la tecnología dentro de la planta, se estima adquirir el módulo V-Box de Wecon, que permite la conexión remota al PLC por medio de un servidor, esto es, que se pueda manipular desde cualquier locación (afuera de la planta). Previamente se debe definir la conexión y comunicación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Axel Gabriel Rodríguez Chinchilla. (2008). MONTAJE, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PLANTAS PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE. Enero 2021, de Biblioteca Universidad de San Carlos de Guatemala Sitio web: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0572_M.pdf
- [2] Alberto Pinto. (.). Planta de asfalto; tipos y funcionamiento. Enero de 2021, de Ingeniería Real Sitio web: <https://ingenieriareal.com/plantas-mezcladoras-de-asfalto/>
- [3] VISE. (2016). ¿Qué es una planta de asfalto? Enero de 2021, de VISE Sitio web: <https://blog.vise.com.mx/que-es-una-planta-de-asfalto-en-vise-te-explicamos>
- [4] INCOASFALTOS. Ficha técnica Asfaltos para pavimentos. Enero 2021, de INCOASFALTOS Sitio Web: http://www.incoasfaltos.com/links/Ficha_Tecnica_Asfalto.pdf
- [5] INCOASFALTOS, Ficha técnica Emulsiones Asfálticas. Enero 2021, de INCOASFALTOS Sitio Web: http://www.incoasfaltos.com/links/Ficha_Tecnica_Emulsion.pdf
- [6] Asfaltos y Emulsiones de Colombia. Asfaltos. Enero de 2021, de Asfaltos y Emulsiones de Colombia S.A.S. Sitio Web: <https://www.asfaltosyemulsiones.com/service/asfaltos/>
- [7] Reyes Fredy, Daza Carlos, Pérez Alejandro (2017). Nanotubos de carbono para el mejoramiento de la mezcla asfáltica mdc-2 y del asfalto 60/70 enero de 2021, de Pontificia Universidad Javeriana de Colombia, Sitio Web: <https://www.javeriana.edu.co/pesquisa/tag/mezcla-asfaltica/>
- [8] Morán, William; Veliz Esteban (2013). Sistema de control y monitoreo de quemadores y sopladores en la planta de NOVACERO S.A. marzo de 2021, de Universidad Politécnica Salesiana Ecuador.
- [9] Flórez Iván (2019). Construcción de un quemador automatizado para chimeneas basado en Bioetanol con manejo a control remoto. Marzo de 2021. De Universidad Técnica de Israel.

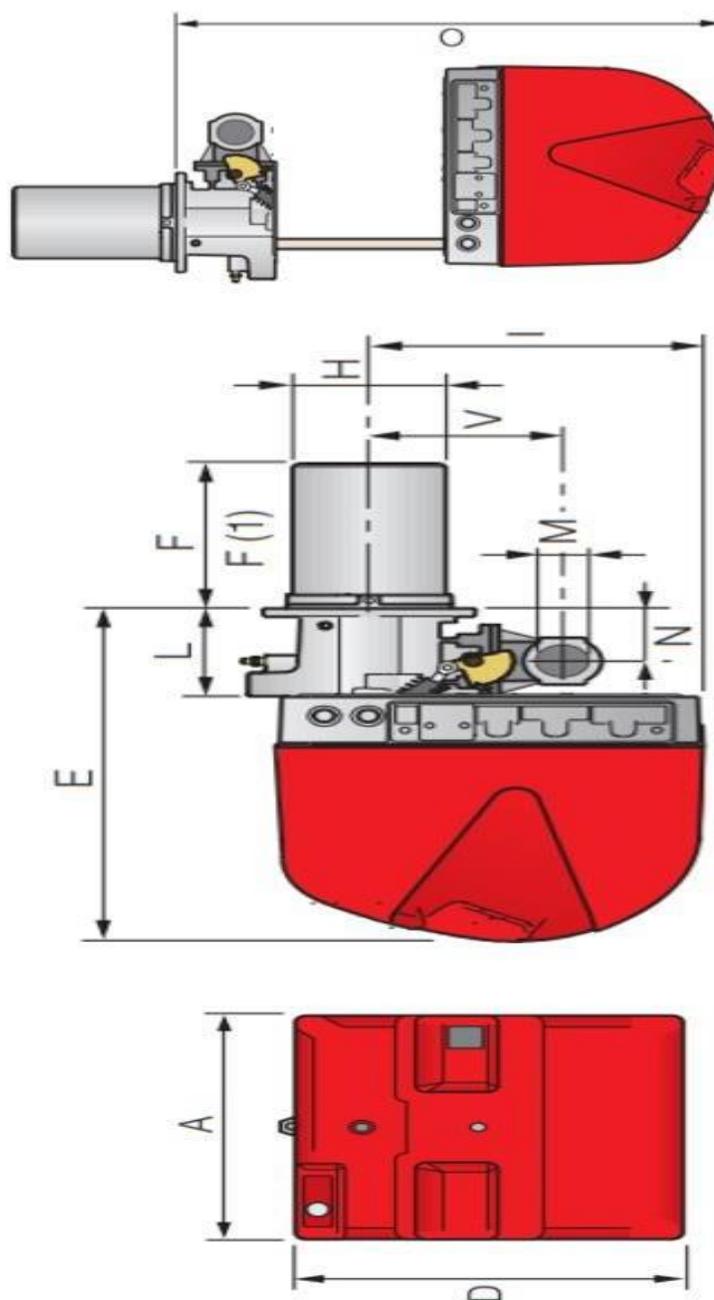
- [10] Herrera Gómez, Miguel Steven (2017). Planta didáctica para instrumentación y control. Marzo de 2021, de Universidad Distrital Francisco José de Caldas
- [11] Martínez T. Diana Carolina - Romero G. Daisy Paola (2007). Diseño de una metodología de control para el proceso de secado de los materiales pétreos en una planta de asfalto. Marzo de 2021. De Universidad de la Salle
- [12] Dután Sarango, Jorfe Eduardo, (2016). Modernización del sistema de control de quemadores y protecciones de caldera de la unidad TV2 de la central térmica ELECTROGUAYAS. Marzo de 2021. De Escuela Superior Politécnica del Litoral
- [13] Paredes T. Rosa - Montenegro Fernando - Mariño Oswaldo, (2009). Ingeniería básica y de detalle de una caldera piro-tubular para calentamiento de 5 galones de agua por minuto con quemador para combustible a Diesel, para la empresa: Servicios Industriales Integrales. Abril de 2021, de Escuela Politécnica del Ejército
- [14] Quiñones N - Adum V - Pinto J. (2014). Desarrollo de un software para el análisis y diseño térmico de calderas piro-tubulares con quemadores a Diesel y Bunker, marzo de 2021. De Escuela Superior Politécnica del Litoral – ESPOL
- [15] Pacco Apaza, Néstor Raúl, (2015). Plan de calidad en la producción de Mezcla Asfáltica en caliente, en la planta de asfalto de la ciudad de Juliaca, marzo de 2021, de Universidad Nacional del Altiplano
- [16] Vega Martínez, Christiam Armando (2014). Propuesta de ingeniería conceptual para el proyecto de automatización de la planta de Agremezclas S.A.A siguiendo estándares internacionales ara la gestión de proyectos, marzo de 2021, de Pontificia Universidad Javeriana
- [17] Comunidad de Madrid. Guía básica de calderas industriales eficientes., marzo de 2021, de Comunidad de Madrid
- [18] Rodríguez Chinchilla, Axel Gabriel (2008). Montaje, operación y mantenimiento de plantas para mezcla asfáltica en caliente., marzo de 2021

- [19] Hernández, Gustavo J. (2015), Control difuso basado en PC, aplicado a una planta de asfalto., abril de 2021, de Weisz Instrumentos S.A.
- [20] Martínez, P. R. (2011). incidencia de la granulometría y de la cantidad del cemento asfáltico.
- [21] Meza Requena, Y. (2019). Mantenimiento de la planta TEREX E150P para la producción de asfalto en el proyecto del Corredor Vial Interoceánico Sur Perú - Brasil.
- [22] NIÑO, M. A. (2014). diagnostico técnico al proceso de producción de la planta de asfalto de la empresa nacional de pavimentos sede Villavicencio.
- [23] RAUL, P. A. (2015). plan de calidad en la producción de mezcla asfáltica en caliente, en la planta de asfalto de la ciudad de juliaca.
- [24] Emerson (2016), Rosemount™ 114C Termo-pozos, 1 – 80.
- [25] Omega Engineering inc. (2003), Metodologías de escalamiento de transmisor de temperatura. de Omega Engineering Inc., sitio web: <https://cl.omega.com/technical-learning/metodologias-escalamiento-transmisor-temperatura.html>
- [26] hidráulica y neumática S.A. (05 de febrero de 2019). Instrumentación, nuestros productos, temperatura. de HNSA, sitio web: <http://www.hnsa.com.co/transmisores-de-temperatura/>
- [27] Ávila Martínez Pedro (febrero de 2011). incidencia de la granulometría y de la cantidad del cemento asfáltico en las propiedades físico – mecánicas principalmente en la durabilidad de las mezclas asfálticas en caliente diseñadas según la división 400, sección 401, tablas 401-1, 401-2 y 401-16 del libro de especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes, dirección general de caminos, edición septiembre 2001. de: Universidad de San Carlos de Guatemala
- [28] Martínez Tunarroza Diana & Romero Carranza Daisy (enero de 2007). Diseño de una metodología de control para el proceso de secado de los materiales pétreos en una planta de asfalto. de: Universidad de la Salle.

5. ANEXOS

5.1. QUEMADOR RIELLO RS 34 MZ

Figura 59. Dimensiones del quemador Riello RS 34 MZ

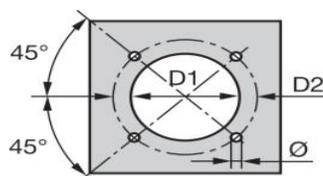


Fuente: Riello Burners

Tabla 9. Dimensiones del quemador Riello RS 34 MZ [mm]

Fuente: El autor

Figura 60. Dimensiones de la boca de flama del quemador.



Fuente: Riello Burners

Tabla 10. Dimensiones de la boca de flama del quemador

MODEL	D1	D2	Ø
RS 34 MZ	160	224	M8

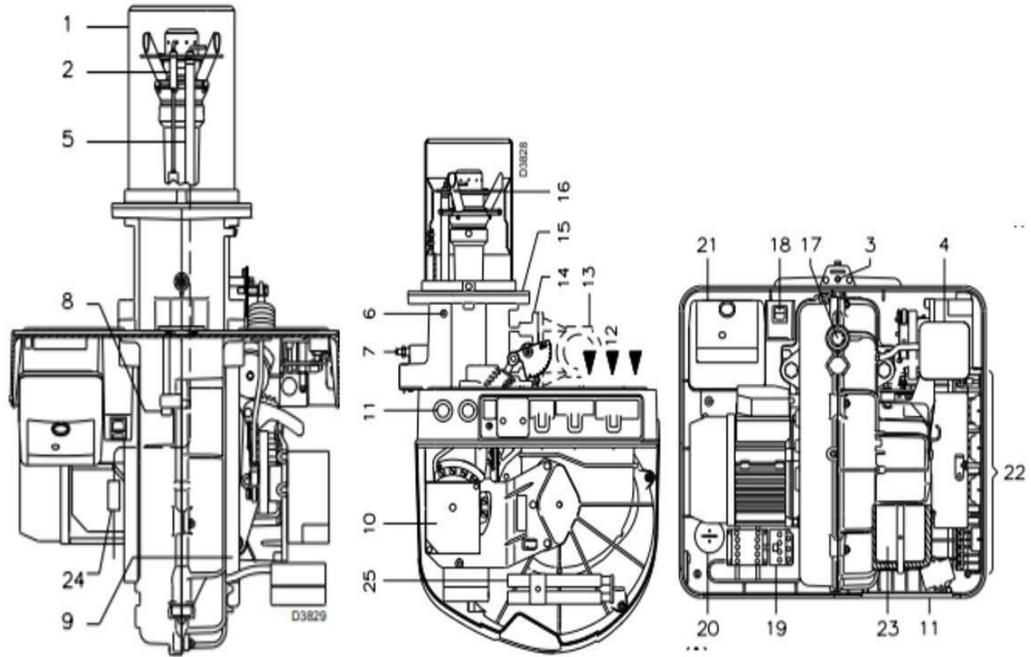
Fuente: El autor

Tabla 11. Componentes del quemador Riello RZ 34 MZ

No.	DESCRIPCIÓN
1	Cabezal de combustión
2	Electrodo de encendido
3	Tornillo regulación cabezal de combustión
4	Presostato de aire (tipo diferencial)
5	Sonda para controlar la presencia de llama
6	Toma de presión de aire
7	Toma de presión de gas y tornillo fijación cabezal
8	Tornillo fijación del ventilador al soporte quemador
9	Guías para abertura del quemador e inspección del cabezal de combustión
10	Servomotor, para el control de la válvula de mariposa del gas y, mediante una leva de perfil variable, el registro del aire. Cuando el quemador está parado, el registro del aire está completamente cerrado para reducir al mínimo la dispersión térmica de la caldera debido al tipo del conducto de humos que toma aire de la boca de aspiración del ventilador.
11	Zonas de paso de los cables eléctricos
12	Entrada aire del ventilador
13	Conducto entrada gas
14	Válvula mariposa gas
15	Brida para fijación a la caldera
16	Disco estabilizador de llama
17	Visor llama
18	Dos interruptores eléctricos: - uno de "marcha-paro" - uno para "1a llama - 2a llama"
19	Contador motor y relé térmico con botón de desbloqueo (RS 44 MZ trifásico)
20	Condensador motor (RS 34-44 MZ monofásico)
21	Caja de control con piloto luminoso de bloqueo y pulsador de desbloqueo
22	Tomas para la conexión eléctrica
23	Registro de aire
24	Conector macho-hembra sonda de ionización
25	Alargadores guías (versión cabezal largo)

Fuente: El autor

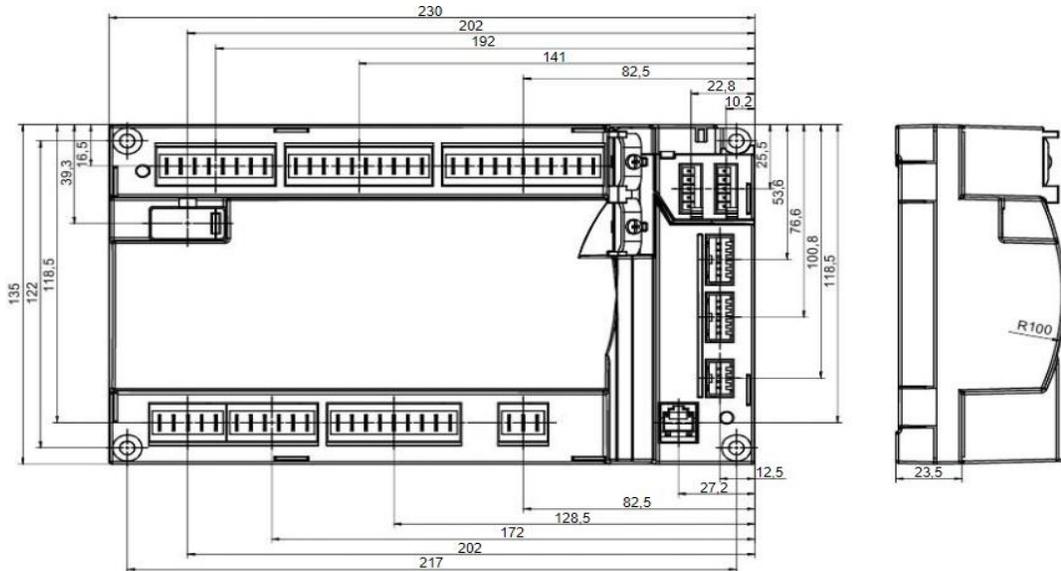
Figura 61. Componentes del quemador Riello RS 34 MZ



Fuente: Riello Burners

5.1.2. DIMENSIONES DEL CONTROLADOR DEL SIEMENS LMV 27

Figura 62. Dimensiones LMV27



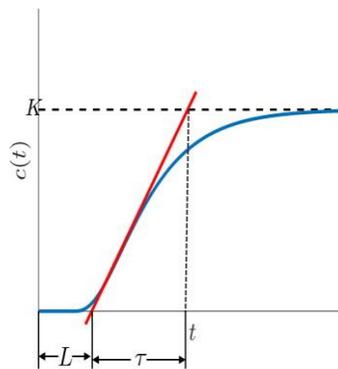
Fuente: Riello Burners

5.2. PROPUESTA DE CONTROL DE QUEMADOR

Para la obtención de la curva de reacción se realizará en lazo abierto al cual se le introduce al sistema una entrada de tipo escalón, es decir, que en este caso se excitará la válvula solenoide con un voltaje desde el PLC, y se observará el comportamiento de la temperatura con respecto a ese voltaje.

La siguiente gráfica (Figura 69) nos muestra los parámetros que debemos obtener una vez se le haya aplicado el escalón de voltaje a nuestra planta:

Figura 63. Parámetros para obtener en el controlador



Fuente: Daniel Rivera

En donde:

K : es la ganancia del sistema, en este caso será en unidades de temperatura $^{\circ}\text{C}$.

L : es el tiempo de retraso del sistema en horas dado que la variable de temperatura es de una respuesta lenta.

r : es el tiempo donde la variable de temperatura presenta su mayor razón de cambio.

La función de transferencia que describe la curva anterior se presenta a continuación:

$$G(s) = \frac{Ke^{-Ls}}{rs + 1}$$

Ecuación 4. Función de transferencia Control de temperatura

Una vez obtenidos estos parámetros, podremos implementar un controlador proporcional (P), proporcional integral (PI) o proporcional integral derivativo (PID).

Para la obtención del controlador utilizando el método de sintonización de Ziegler y Nichols, se podrán calcular las constantes K_p , T_d o T_i del controlador PID que se desea implementar.

La siguiente tabla muestra las recomendaciones según Ziegler y Nichols de dichas constantes

Tabla 12. Recomendaciones para constantes de controladores PID

Tipo de Controlador	K_p	T_i	T_d
PID	$1.2 \frac{\tau}{KL}$	$2L$	$0.5L$

Fuente: El autor

En este caso y en aras de poder realizar la simulación del controlador con los precedentes que se conocen de la planta podríamos decir tentativamente que los parámetros de nuestra función de transferencia serían los siguientes:

$$K = 0.8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$L = 3.6 \text{ h}$$

$$r = 14.4 \text{ h}$$

Estos parámetros deberán ser nuevamente ajustados una vez se haya hecho la implementación del sistema.

Con los datos anteriormente enunciados nuestra función de transferencia de la planta del sistema sería:

$$G(s) = \frac{0.8e^{-3.6s}}{14.4s + 1}$$

Ecuación 5. Función de transferencia reemplazada

Con lo cual las constantes para el controlador PID serán:

$$K_p = 13.824$$

$$K_i = 7.2$$

$$K_d = 1.8$$

5.3. ACEPTACIÓN DE PROYECTO – EMPRESA RUMA INGENIERÍA S.A.S.

5.4.COMPRA DE QUEMADOR – EMPRESA RUMA INGENIERÍA S.A.S.

5.5. MANUAL DE USUARIO DE LA HMI

En cuanto al diseño de la HMI, y ante los requisitos de la empresa en un obtener diseño lo mayormente intuitivo gráficamente, donde se ilustre la secuencia de operación que se lleva a cabo dentro de la planta de asfalto.

Figura 64. Manual de usuario de la HMI.

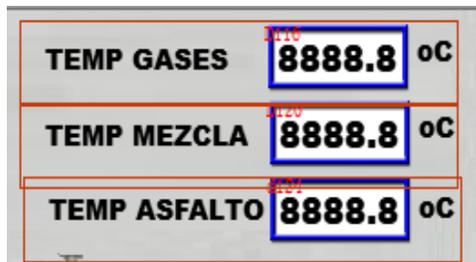


Fuente: El autor

Una vez establecido el diseño de fondo de la pantalla, se idealiza qué otros componentes visuales acompañarían, esto último, de acuerdo con los objetivos del presente proyecto.

Principalmente se requiere monitorear en tiempo real la temperatura en las etapas de la línea de producción, para ello, se dispuso de tres displays para mostrar la temperatura sensada por las RTD.

Figura 65. Displays de temperatura



Fuente: El autor

Por otro lado, desde la HMI se debe prender y apagar los actuadores de la planta. Para ello, sobre cada etapa del layout principal, existe un recuadro rojo junto a un testigo (lámpara) que permite evidenciar el estado encendido/apagado de cada actuador.

De esta manera, se puede manipular:

- **Bomba de descargue:** Usada para almacenar asfalto en los tanques de la planta, proveniente de los tanques del proveedor.

Figura 66. Bomba de descargue



Fuente: El autor

- **Bomba de agua:** Alimenta los aspersores del tanque colector de finos o extractor.

Figura 67. Bomba de agua



Fuente: El autor

- **Compresor:** Encargado del accionamiento neumático de la tolva de descargue de mezcla asfáltica sobre las volquetas.

Figura 68. Compresor



Fuente: El autor

- **Bomba de asfalto:** Encargada de dosificar el asfalto líquido, de acuerdo con la temperatura y frecuencia determinadas en el diseño Marshall.

Figura 69. Bomba de asfalto



Fuente: El autor

- **Bomba de Combustible:** Por medio de su variador de frecuencia, se aumenta o disminuye la intensidad de la llama del quemador, para calentar y homogenizar los materiales pétreos.

Figura 70. Bomba de combustible



Fuente: El autor

- **Tolvas de material pétreo:** Cada tolva trabaja de manera diferente. Como se mencionó anteriormente, cada Tolva de material Pétreo tiene una banda transportadora controlada por un variador de frecuencia independiente. Desde la HMI, se puede ingresar al variador de cada tolva.

Figura 71. Tolvas de material Pétreo



Fuente: El autor

- **Banda colectora:** Ubicada en la parte inferior de las tres tolvas dosificadoras. Desde la HMI, se enciende o apaga su motor, para poder recoger los tres materiales pétreos y lanzarlos a la zaranda.

Figura 72. Banda Colectora



Fuente: El autor

- **Zaranda y Banda lanzadera:** Se pueden encender o apagar sus motores de manera independiente. En la zaranda, se activa un motor vibrador que se encarga de mover el material que cae a la zaranda, para que el material que no cumple, no se acumule en el tamiz.

La lanzadera, es la banda transportadora encargada de llevar el material aprobado por la zaranda, hasta la entrada del tanque mezclador – quemador.

Figura 73. Zaranda y Lanzadera.



Fuente: El autor

- **Tambor Mezclador:** Una vez ingrese el material de la banda lanzadera, se encienden sus motores para homogenizar los tres materiales pétreos.

Figura 74. Tambor mezclador



Fuente: El autor

- **Ventilador:** Actúa como comburente dentro del control de la llama del quemador ubicado al otro extremo del tambor mezclador. Es de velocidad constante, a diferencia de la bomba de combustible, que es controlada por un variador de frecuencia.

Figura 75. Ventilador



Fuente: El autor

- **Extractor:** Debe funcionar de manera simultánea al tambor mezclador, puesto que su función es absorber el material particulado que se produce por las altas revoluciones del tambor, y los gases emitidos por el quemador, dentro del tambor mezclador. En su interior cuenta con aspersores, para decantar el agua, que es llevada hasta la piscina de lodos.

Figura 76. Extractor de Finos



Fuente: El autor

- **Mezclador:** Su activación depende de los registros de temperatura tomados al interior del tambor, y la temperatura propia del asfalto líquido.

Una vez se alcancen los valores deseados de temperatura, y la homogenización de los materiales pétreos, se procede a encender el motor de las paletas mezcladoras, ubicadas en la parte inferior del tambor y quemador.

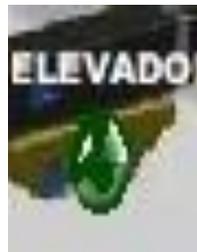
Figura 77. Mezclador.



Fuente: El autor

- **Banda Elevadora:** La banda elevadora es la última banda de la línea de producción. Su accionamiento permite conducir la mezcla asfáltica, hasta la tolva de descargue.

Figura 78. Banda Elevadora



Fuente: El autor

- **Tolva de bachadas:** Tolva en la cual se almacena la mezcla asfáltica justo antes de ser descargada en las volquetas que la transportarán a su destino final.

Figura 79. Apertura de la tolva de bachadas



Fuente: El autor

- **Conteo de Bachadas:** Visualiza el conteo de apertura de la compuerta de la tolva de bachada, según su programación en tiempo o peso.

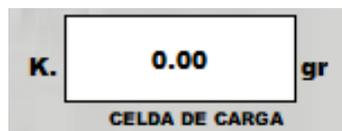
Figura 80. Contador de bachadas



Fuente: El autor

- **Display de carga:** Justo al inferior de la tolva, se cuenta con dos celdas de carga de 1 tonelada [t] cada una, que calculan el peso en bruto de la mezcla asfáltica antes de ser descargada en las volquetas.

Figura 81. Peso de la mezcla



Fuente: El autor

- **Bloquear la HMI:** Este selector inhabilita la interfaz hombre máquina, mientras se cumple el ciclo previamente seleccionado.

Figura 82. Bloquear la HMI



Fuente: El autor

- **Indicador de alarmas:** Despliega un mensaje de alerta ante una posible falla. En su mensaje, muestra el actuador que está fallando.

Figura 83. Indicador flotante de alarmas

OccurrenceTime	ID	CurrentValue	AlarmText	
31-10-2021 16:14	1	Off	FALTA EXTRACTOR	

Fuente.: El autor

5.6.

LISTA DE ICONOS HMI

- TOLVA 2:

Figura 84. Variador de frecuencia 2



Fuente: El autor

Figura 85. Teclado virtual - Variador de frecuencia



Fuente: El autor

- TOLVA 3:

Figura 86. Variador de frecuencia 3



Fuente: El autor

Figura 87. Teclado virtual - Variador de frecuencia



Fuente: El autor

- **Bomba de asfalto:** Con su ejercicio, se supervisa la homeginización entre mezcla y material petreo. A continuación, y dependiendo de los criterios de diseño Marshall, se aumenta o disminuye

Figura 88. Variador de frecuencia de la bomba de asfalto



Fuente: El autor

Figura 89. Teclado virtual - Variador de frecuencia



Fuente: El autor

- **Bomba de descargue:**

Figura 90. Selector de bomba de descargue



Fuente: El autor

- **Bomba de agua**

Figura 91. Selector bomba de agua



Fuente: El autor

- **Compresor**

Figura 92. Selector del compresor



Fuente: El autor

- **Banda colectora:**

Figura 93. Selector banda Colectora



Fuente: El autor

- **Zaranda:**

Figura 94. Selector del motor de zaranda



Fuente: El autor

- **Banda lanzadora:**

Figura 95. Selector de la banda lanzadora



Fuente: El autor

- **Ventilador:**

Figura 96. Selector del ventilador



Fuente: El autor

- **Tambor mezclador:**

Figura 97. Selector del tambor mezclador



Fuente: El autor

- **Extractor de finos**

Figura 98. Selector extractor de finos



Fuente: El autor

- **Mezclador:**

Figura 99. Selector mezclador



Fuente: El autor

- **Banda elevadora:**

Figura 100. Selector de la banda elevadora



Fuente: El autor

- **Motor vibrador:**

Figura 101. Selector para el motor vibrador



Fuente: El autor

- **Quemador para la caldera:**

Figura 102. Selector Quemador para la caldera



Fuente: El autor

- **Configuración de alarmas**

Para ello, dentro de la ventana *Proyecto* del Software PI Studio, se selecciona la Herramienta 'Alarma de Bit', ubicada en la librería de 'Herramientas de datos'.

Figura 103. Configuración de alarmas - 1



Fuente: El autor

Una vez seleccionada esta opción, se despliega un menú como el de la *figura 149* en el cual se configuran las alarmas de manera independiente; pues para cada alarma se elige un mensaje flotante libre, la dirección del actuador que se desea monitorear, y el estado por encendido o apagado por el cual se va a generar la alarma.

Puntualmente, el único contactor normalmente abierto corresponde al pulsador de emergencia, de resto, todos los contactores de los actuadores, son de tipo normalmente cerrado con la activación de la HMI.

Figura 104. Configuración de alarmas - 2

Alarma de bit X

Alarma de bit
 Palabra de alarma
 Registro de datos
 Receta
 Gráfico de tendencia
 Historia Grafica XY

<input type="checkbox"/> ID	Dirección	Condicio...	Mensaje de alarma	Pantalla de alarma	Zumbador
<input type="checkbox"/> 1	X37	On	FALLA EXTRACTOR	4: ALARMAS	Si
<input type="checkbox"/> 2	X13	On	FALLA ELEVADOR	4: ALARMAS	Si
<input type="checkbox"/> 3	X5	On	FALLA ZARANDA	4: ALARMAS	Si
<input type="checkbox"/> 4	X7	On	FALLA LANZADERA	4: ALARMAS	Si
<input type="checkbox"/> 5	X11	On	FALLA B COLECT	4: ALARMAS	Si
<input type="checkbox"/> 6	X17	On	FALLA B DE AGUA	4: ALARMAS	Si
<input type="checkbox"/> 7	X12	On	FALLA B DESCARG	4: ALARMAS	Si
<input type="checkbox"/> 8	X21	On	FALLA BLOWER	4: ALARMAS	Si
<input type="checkbox"/> 9	X23	On	FALLA MEZCLADOR	4: ALARMAS	Si
<input type="checkbox"/> 10	X15	On	FALLA COMPRE	4: ALARMAS	Si
<input type="checkbox"/> 11	X34	Off	PARADA EMERGENCIA	4: ALARMAS	Si
<input type="checkbox"/> 12	M56	On	ALARMA SOBRE T1	4: ALARMAS	Si
<input type="checkbox"/> 13	M57	On	ALARMA SOBRE T2	4: ALARMAS	Si
<input type="checkbox"/> 14	M58	On	ALARMA SOBRE T3	4: ALARMAS	Si

Copia continua Archivos

Fuente: El autor

En la *figura 150*, se evidencia el mensaje flotante que aparece en la HMI, interponiéndose dentro del espacio de trabajo y que permite identificar qué actuador presenta fallos, es decir, cual contactor cambió de estado, según se halla configurado en el menú de alarmas de la *figura 149*.

Figura 105. Mensaje flotante de alarmas.

OccurrenceTime	ID	CurrentValue	AlarmText
25-10-2016 12:30	Alarm1	20	Alarm1 Text

Fuente: El autor

Para configurar el mensaje flotante, se dispuso de la sub-pantalla No. 4 para configurar sus características, tal como se aprecia en la *figura 151*.

En ella, aparte del color del mensaje flotante (el cual es predeterminado por el fabricante), se permite cambiar el formato de fecha y hora, el tipo de imagen mostrado sobre la HMI, así como la ubicación el mismo.

Figura 106. Visualización de registro de alarma.

Visualización de registro de alarma

General

Imágenes

Color de Fondo

Color de Cabecera

Color de texto

Color de línea

Seleccione color de línea

Cordinar

Ajustes

Tipo de alarma

Nº de Grupo ~

Pantalla en orden inverso

Ajustes de consulta

Control de pagina

Usar Funcion de direccion

Avanzando

Color del texto principal

Transparencia

Tipo de celda

Color del texto de alarma

Formato de fecha

Formato de hora

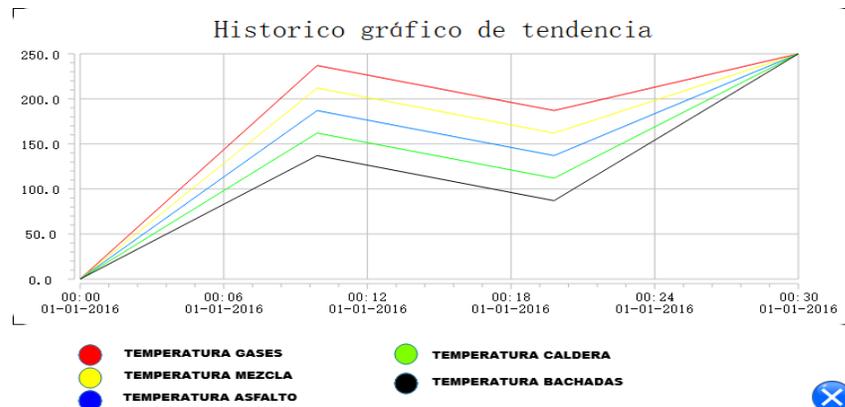
OccurrenceTime	ID	CurrentValue	AlarmText
25-10-2016 12:30	Alarm1	20	Alarm1 Text
25-10-2016 12:30	Alarm2	21	Alarm2 Text

Fuente: El autor

- **Gráfico de tendencia:** En este gráfico se observa el histórico de los registro de temperatura sensado por las PT100.

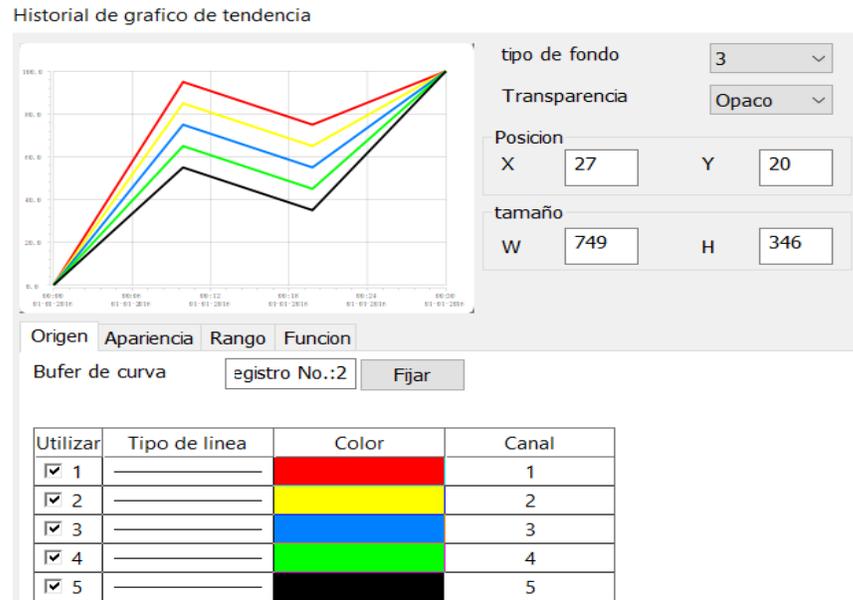
La figura 71, corresponden al gráfico mostrado en la HMI. En este están relacionados los registros de los cinco sensores de temperatura con su respectiva leyenda.

Figura 107. Gráfico de tendencia - temperaturas



Fuente: El autor

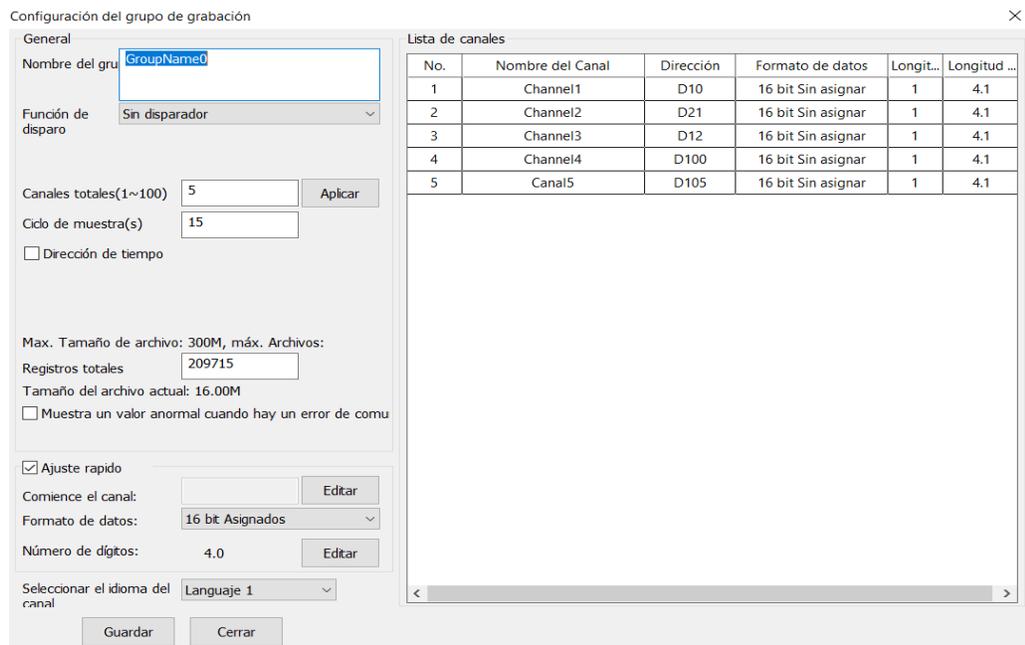
Figura 108. Configuración Visual – gráfico de tendencia de temperatura



Fuente: El autor

Dentro de sus opciones, se permite escoger el tipo de trazado y color que será mostrado en el gráfico de tendencia. Así como las dimensiones y posición del mismo.

Figura 109. Configuración de direcciones – grafico de tendencia de temperatura



Fuente: El autor

Finalmente, se debe configurar el menú de grupo de grabación; en el cual se establece cuantos canales de registro tendrá el gráfico, y qué dirección corresponde a cada canal, es decir, la dirección escalada de cada sensor de temperatura.

5.6. MANUAL DE USUARIO DE LA HMI 2.0.

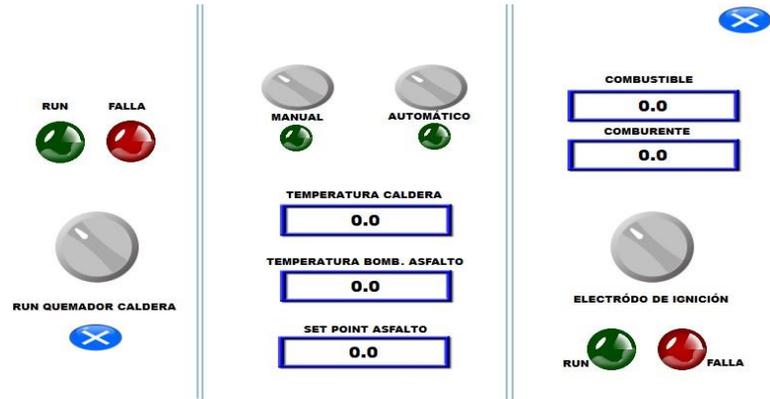
En caso de que se desee vincular el quemador al PLC central de la planta, para su encendido/apagado, o el control de temperatura, se requiere la compilación de la versión 2.0 de la HMI (ver anexo). En ella, se agregan los suiches para energizar tanto el motor vibrador, como el quemador de caldera. Para este último, se plasmó la técnica de control implementada en la pantalla propia del Riello RS 34 Mz, que permite el funcionamiento manual o automático, fijando el set-point de temperatura en la bomba de asfalto, o manipulando libremente las válvulas de combustible y comburente.

Figura 110. Manual de usuario de la HMI 2.0.



Fuente: 3 El autor

Figura. Control del quemador.



Fuente: El autor

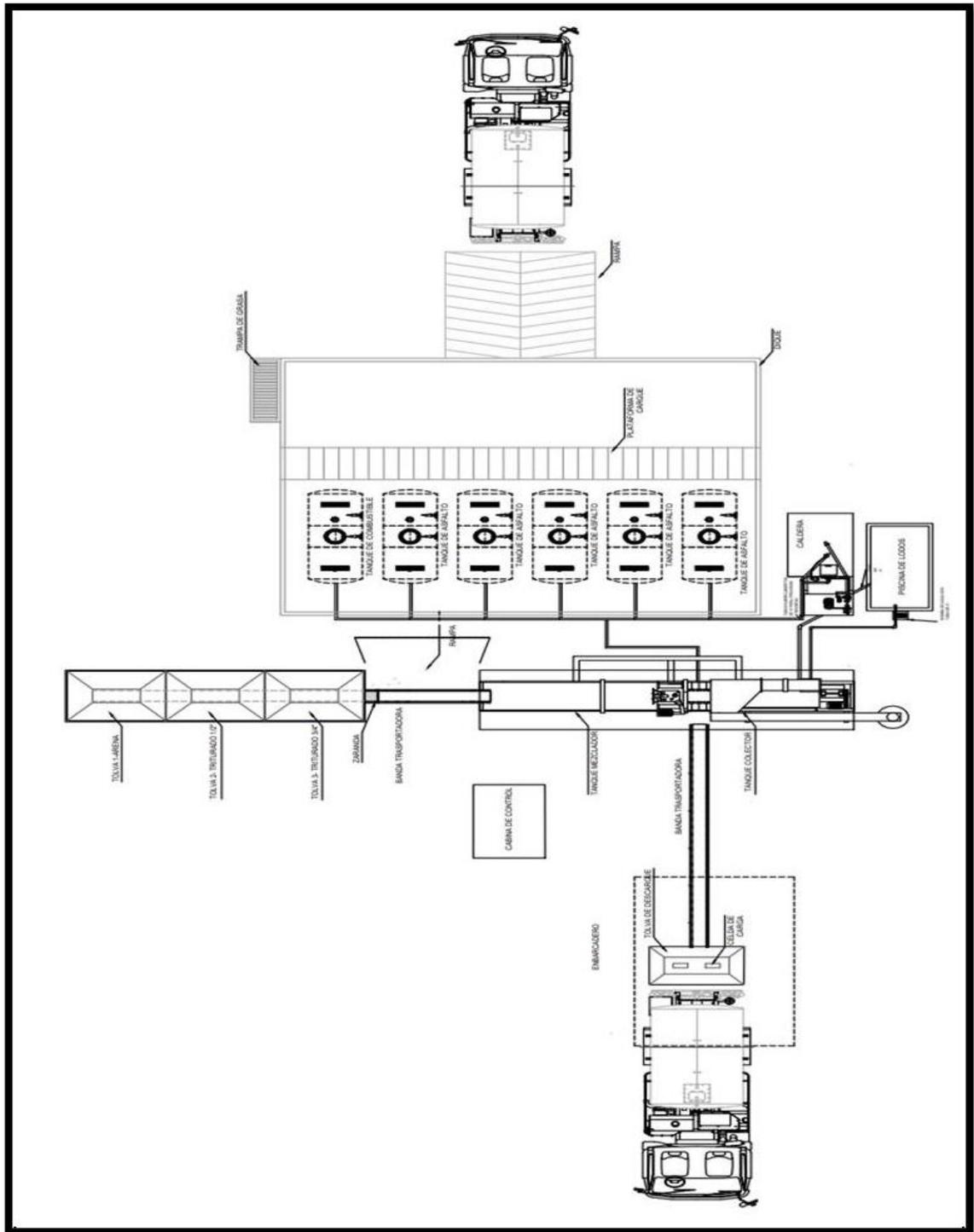
Figura 111. Run Motor Vibrador



Fuente: El autor

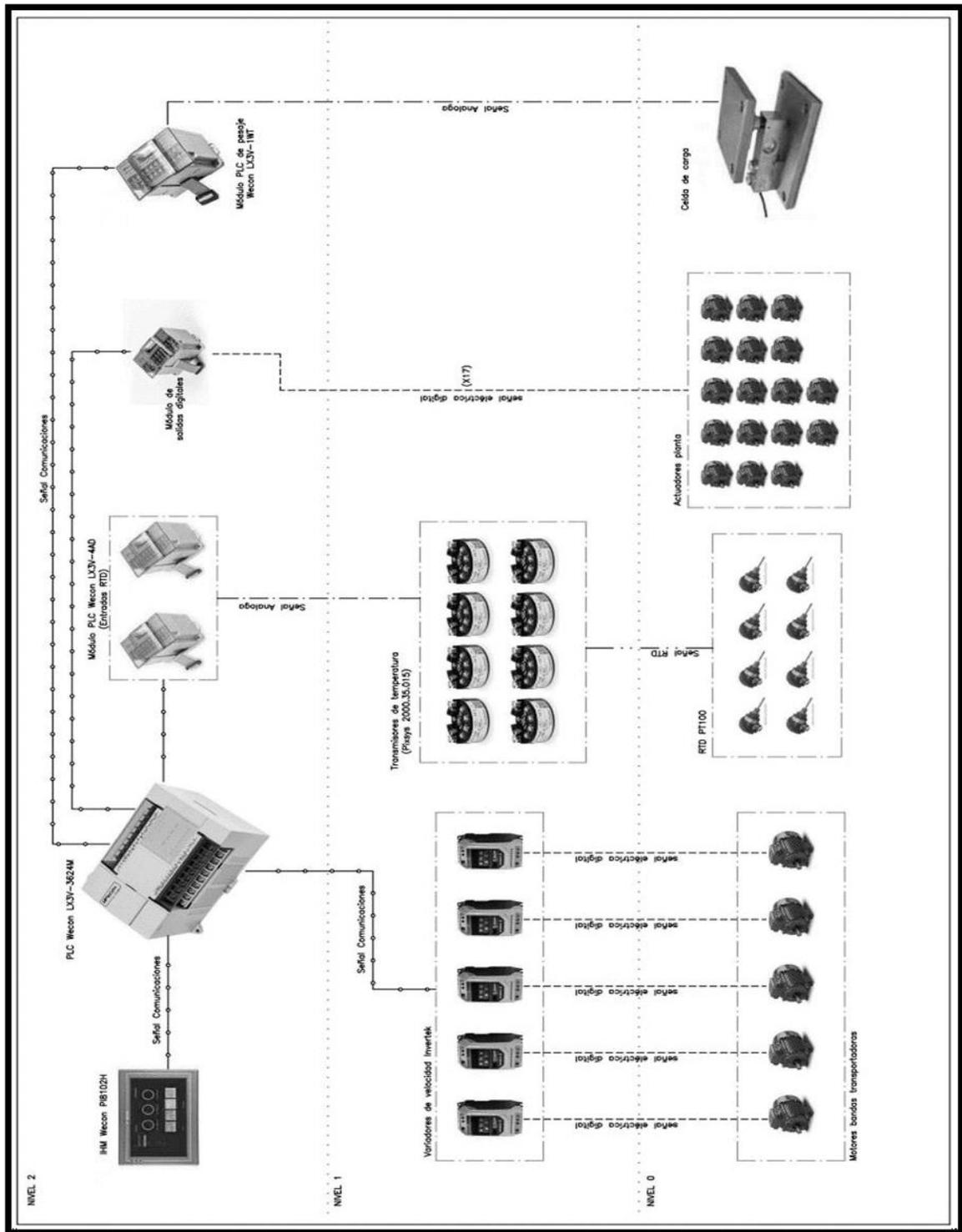
5.7. PLANOS DE LA PLANTA

5.7.1. PLANO DE DISTRIBUCIÓN FÍSICA DE LA PLANTA DE ASFALTO



Fuente: El autor

5.7.3. PLANO DE CONEXIONES DE CONTROL DE LA PLANTA DE ASFALTO



Fuente: El autor

