

**UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
BACHILLERATO EN LA CARRERA DE  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**SISTEMA DE PREVENCIÓN DE SOBRELLENADO  
PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE  
DERIVADOS DEL PETROLEO EN PLANTEL DE  
RECOPE, MOÍN EN EL PRIMER SEMESTRE DEL  
AÑO 2022.**

**Sustentante:**

**César Andrés Lee Chavarría.**

**Tutor:**

**Ing. Mauricio armas Sandí.**

**Febrero, 2022.**

# DECLARACIÓN JURADA

## DECLARACIÓN JURADA

Yo César Andrés Lee Chavarría, mayor de edad, portador de la cédula de identidad número 701910740 egresado de la carrera de Bachillerato en Ingeniería Electrónica de la Universidad Hispanoamericana, hago constar por medio de éste acto y debidamente apercebido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de tesis para optar por el título de Bachillerato en Ingeniería electrónica, juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado: **SISTEMA DE PREVENCIÓN DE SOBRELLENADO PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE DERIVADOS DEL PETROLEO EN PLANTEL DE RECOPE, MOÍN EN EL PRIMER SEMESTRE DEL AÑO 2022**, es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derecho de Autor y Derecho Conexos número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte; artículo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que éstos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Asimismo, quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público.

En fe de lo anterior, firmo en la ciudad de Limón, a los nueve días del mes de julio del año dos mil veintidós.



Firma del estudiante.

Cédula: 70191 0740

# CARTA DE APROBACIÓN DE LA EMPRESA



Limón, 03 de agosto del 2022.

Señores.

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA.

Presente.

Estimados señores:

Yo Johel Godínez Benavides, documento de identificación 114060148 , por este medio hago constar que el proyecto titulado **SISTEMA DE PREVENCIÓN DE SOBRELLENADO PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE DERIVADOS DEL PETROLEO EN PLANTEL DE RECOPE, MOÍN EN EL PRIMER SEMESTRE DEL AÑO 2022**; fue desarrollado satisfactoriamente en la empresa por el estudiante César Andrés Lee Chavarría, documento de identificación 7-191-740 ya que cumplió ampliamente con los requerimientos planteados, lo cual nos facilita la solución ante un problema optimizando recursos, traduciendo esto en un impacto económico positivo.

JOHEL  
GODINEZ  
BENAVIDES

Firmado digitalmente por  
JOHEL GODINEZ  
BENAVIDES  
Fecha: 2022.08.03 12:32:13  
+0600

Atentamente

---

Johel Godínez Benavides.

Ingeniero Automatización y Control

Departamento de Instrumentación RECOPE

# CARTA DEL TUTOR



## CARTA DEL TUTOR

San José, 08 de JULIO del 2022

Señores  
Departamento de Registro  
Universidad Hispanoamericana

Estimado señor:

El estudiante César Andrés Lee Chavarría, cédula de identidad número 7-0191-0740, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado "SISTEMA DE PREVENCIÓN DE SOBRELLENADO PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE DERIVADOS DEL PETROLEO EN PLANTEL DE RECOPE, MOÍN EN EL PRIMER SEMESTRE DEL AÑO 2022", el cual ha elaborado para optar por el grado académico de Bachillerato.

En mi calidad de tutor, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de tutoría y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación; antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos; conclusiones y recomendaciones.

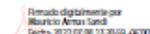
De los resultados obtenidos por el postulante, se obtiene la siguiente calificación:

**Tabla 1** Calificación del proyecto

#	Rubro	% Teórico	% Asignado
a	Original del tema.	10	10
b	Cumplimiento de entrega de avances de avances.	20	20
c	Coherencia entre los objetivos, los instrumentos aplicados y los resultados de la investigación.	30	25
d	Relevancia de las conclusiones y recomendaciones.	20	15
e	Calidad, detalle del marco teórico.	20	20
Total:		100	90

En virtud de la calificación obtenida, se avala el traslado al proceso de lectura.

Atentamente,

Mauricio Armas Sandí  
  
 Fecha: 2022.07.08 11:05:59 -0500

Mauricio D. Armas Sandí  
Cédula de identidad: 1-1361-0843  
Carné colegio profesional: IEL-22359

# CARTA DEL LECTOR



## CARTA DEL LECTOR

San José, 26 de julio del 2022

Señores  
Departamento de Registro  
Universidad Hispanoamericana

Estimados señores:

El estudiante César Andrés Lee Chavarría, cédula de identidad número 7-0191-0740, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado "*Sistema de prevención de sobrellenado para tanques de almacenamiento de derivados del petróleo en plantel de RECOPE, Moín, en el primer semestre del año 2022*", el cual ha elaborado para obtener su grado de Bachillerato.

He revisado y he hecho las observaciones relativas al contenido analizado, particularmente lo relativo a la coherencia entre el marco teórico y análisis de datos, la consistencia de los datos recopilados y la coherencia entre éstos y las conclusiones; asimismo, la aplicabilidad y originalidad de las recomendaciones, en términos de aporte de la investigación. He verificado que se han hecho las modificaciones correspondientes a las observaciones indicadas.

Por consiguiente, este trabajo cuenta con mi aval para ser presentado en la defensa pública.

Atentamente,

JORGE  
VILLALOBOS  
CASCANTE (FIRMA)

Firmado digitalmente  
por JORGE VILLALOBOS  
CASCANTE (FIRMA)  
Fecha: 2022.07.26  
15:01:37 -06'00'

Ing. Jorge Villalobos Cascante, MSc.  
Cédula de identidad: 1-1185-0467  
Carné colegio profesional: IEL-22656

# AUTORIZACIÓN DEL CENIT

**UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA  
CENTRO DE INFORMACION TECNOLOGICO (CENIT)  
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA  
REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA  
DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACION**

Limón, agosto del año 2022.

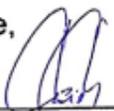
Señores:  
Universidad Hispanoamericana  
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito (a) César Andres Lee Chavarría con número de identificación 701910740 autor (a) del trabajo de graduación titulado **SISTEMA DE PREVENCIÓN DE SOBRELLENADO PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE DERIVADOS DEL PETROLEO EN PLANTEL DE RECOPE, MOÍN EN EL PRIMER SEMESTRE DEL AÑO 2022**, presentado y aprobado en el año 2022 como requisito para optar por el título de Bachillerato en Ingeniería Electrónica;  SI / NO) autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para que con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

De conformidad con lo establecido en la Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.

Cordialmente,

  
701910740  
Firma y Documento de Identidad

**ANEXO 1 (Versión en línea dentro del Repositorio)  
LICENCIA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA PUBLICAR Y  
PERMITIR LA CONSULTA Y USO**

**Parte 1. Términos de la licencia general para publicación de obras en el repositorio institucional**

Como titular del derecho de autor, confiero al Centro de Información Tecnológico (CENIT) una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

- a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, el autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito.
- b) Autoriza al Centro de Información Tecnológico (CENIT) a publicar la obra en digital, los usuarios puedan consultar el contenido de su Trabajo Final de Graduación en la página Web de la Biblioteca Digital de la Universidad Hispanoamericana
- c) Los autores aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.
- d) Los autores manifiestan que se trata de una obra original sobre la que tienen los derechos que autorizan y que son ellos quienes asumen total responsabilidad por el contenido de su obra ante el Centro de Información Tecnológico (CENIT) y ante terceros. En todo caso el Centro de Información Tecnológico (CENIT) se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.
- e) Autorizo al Centro de Información Tecnológica (CENIT) para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.
- f) Acepto que el Centro de Información Tecnológico (CENIT) pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.
- g) Autorizo que la obra sea puesta a disposición de la comunidad universitaria en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en las "Condiciones de uso de estricto cumplimiento" de los recursos publicados en Repositorio Institucional.

**SI EL DOCUMENTO SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA O UNA ORGANIZACIÓN, CON EXCEPCIÓN DEL CENTRO DE INFORMACIÓN TECNOLÓGICO (CENIT), EL AUTOR GARANTIZA QUE SE HA CUMPLIDO CON LOS DERECHOS Y OBLIGACIONES REQUERIDOS POR EL RESPECTIVO CONTRATO O ACUERDO.**

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN JURADA .....	II
CARTA DE APROBACIÓN DE LA EMPRESA .....	III
CARTA DEL TUTOR.....	IV
CARTA DEL LECTOR.....	V
AUTORIZACIÓN DEL CENIT .....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	VIII
Índice de Figuras .....	XII
Índice de Tablas.....	XV
DEDICATORIA.....	XVIII
AGRADECIMIENTO.....	XIX
RESUMEN .....	XX
CAPÍTULO I .....	1
PROBLEMA DEL PROYECTO.....	1
1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION DEL PROYECTO .....	2
1.1.1 Antecedentes del contexto de la empresa. ....	2
1.1.2 Justificación del problema .....	3
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.3 OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	6
1.3.1 Objetivo General.....	6
1.3.2 Objetivos Específicos.....	6
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES .....	7
1.4.1 Alcances.....	7
1.4.2 Limitaciones.....	8
CAPÍTULO II .....	10

MARCO TEORICO.....	10
2.1 TEORÍAS REFERENTES AL DISEÑO A ELABORAR .....	11
2.1.1 <b>Petróleo</b> .....	11
2.1.2 <b>Asfalto Ac-30</b> .....	11
2.1.3 <b>GLP</b> .....	12
2.1.4 <b>Etanol</b> .....	13
2.1.5 <b>Gasolina Plus 91</b> .....	13
2.1.6 <b>Gasolina Superior</b> .....	14
2.1.7 <b>Queroseno</b> .....	15
2.1.8 <b>Diesel</b> .....	15
2.1.9 <b>Búnker (Fuel Oil)</b> .....	16
2.1.10 <b>Gasóleo</b> .....	16
2.1.11 <b>Jet A-1</b> .....	16
2.1.12 <b>Almacenamiento de productos derivados del petróleo</b> .....	17
2.1.13 <b>Medición de tanque</b> .....	19
2.1.14 <b>Instrumentos de medición de nivel</b> .....	24
2.1.15 <b>Tipos de sensores</b> .....	25
2.1.16 <b>Medios de transmisión de datos</b> .....	27
2.1.17 <b>Gateway</b> .....	28
2.1.18 <b>Switch</b> .....	28
2.1.19 <b>Modelo OSI</b> .....	29
2.2 <b>CONTEXTO TEÓRICO</b> .....	30
2.2.1 <b>Transmisor discreto inalámbrico Rosemount 702DX32</b> .....	30
2.2.2 <b>Detector de nivel inalámbrico Rosemount 2160</b> .....	31
2.2.3 <b>Radiotransmisión</b> .....	32
2.2.4 <b>Cable coaxial</b> .....	34
2.2.5 <b>Par trenzado</b> .....	35
2.2.6 <b>Smart Wireless Gateway 1420</b> .....	37
2.2.7 <b>Moxa switch EDS</b> .....	37
2.2.8 <b>Plataforma Ignition</b> .....	38
2.2.9 <b>Adaptador Smart Wireless THUM</b> .....	39

2.2.10	<b>Rosemount 5900S Medidor de nivel por radar</b> .....	39
2.2.11	<b>Concentrador 2410</b> .....	40
2.2.12	<b>Conmutador ioLogic 1240</b> .....	42
2.2.13	<b>Patch Panel</b> .....	42
2.2.15	<b>Protocolo HART</b> .....	44
2.2.16	<b>Protocolo WirelessHart</b> .....	51
2.2.17	<b>OPC UA</b> .....	56
2.2.18	<b>Estación de alarmas</b> .....	57
CAPÍTULO III .....		58
MARCO METODOLÓGICO .....		58
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	59
3.1.1	Finalidad de la Investigación.....	59
3.1.2	Dimensión Temporal .....	61
3.1.3	Marco.....	62
3.1.4	Naturaleza de la Investigación.....	63
3.1.5	Método de análisis.....	64
3.2	FUENTES DE INFORMACIÓN .....	66
3.2.1	Fuentes Primarias.....	66
3.2.2	Fuentes Secundarias .....	67
3.2.3	Sujetos de Información .....	67
3.3	TÉCNICAS Y HERRAMINETAS.....	68
3.3.1	Observación.....	68
3.3.2	Entrevista .....	69
3.4	VARIABLES Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	70
3.4.1	Definición de variables.....	70
3.4.2	Diseño de investigación.....	72
CAPÍTULO IV .....		73
DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....		73
4.1	DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	74
4.2	RECOLECCIÓN DE DATOS .....	75

<b>4.2.1 Observación</b> .....	75
4.2.2 Entrevista.....	84
4.2.3 Análisis de datos.....	85
4.3 VALIDACIÓN DE LOS DATOS.....	87
4.4 PROPUESTA DEL PROYECTO.....	88
CAPÍTULO V.....	90
DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO.....	90
5.1 ASPECTOS DE DISEÑO.....	91
5.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.....	92
<b>5.2.1 Etapa de sensores</b> .....	93
<b>5.2.2 Comunicación</b> .....	101
<b>5.2.3 Procesamiento</b> .....	108
<b>5.2.4 Visualización</b> .....	122
5.3 IMPLEMENTACIÓN DEL DISPOSITIVO.....	129
5.4 CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO.....	134
5.5 ANÁLISIS DE COSTOS.....	139
CAPÍTULO VI.....	143
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	143
6.1 CONCLUSIONES.....	144
6.2 RECOMENDACIONES.....	147
6.3 Bibliografía.....	149
6.4 GLOSARIO.....	152
6.5 ANEXO.....	153
Lista de anexos.....	153

## Índice de Figuras

<i>Ilustración 1- Diagrama de ishikawa</i> .....	4
<i>Ilustración 2-transmisor discreto Rosemount 702</i> .....	31
<i>Ilustración 3- Detector de nivel inalámbrico Rosemount 2160</i> .....	32
<i>Ilustración 4- Cable coaxial.</i> .....	34
<i>Ilustración 5-Cable de par trenzado</i> .....	35
<i>Ilustración 6 - Fibra óptica</i> .....	36
<i>Ilustración 7 - Smart Wireless Gateway 1420</i> .....	37
<i>Ilustración 8 - Switch EDS-405.</i> .....	38
<i>Ilustración 9- Adaptador Thum</i> .....	39
<i>Ilustración 10- Medidor Rosemount 5900S</i> .....	40
<i>Ilustración 11- Concentrador de tanques 2410</i> .....	41
<i>Ilustración 12- Conexión del Concentrador 2410</i> .....	41
<i>Ilustración 13- Conmutador ioLogic 1240</i> .....	42
<i>Ilustración 14- Patch Panel de fibra óptica</i> .....	43
<i>Ilustración 15- Transmisor de temperatura Rosemount 2240S</i> .....	44
<i>Ilustración 16- Capas del protocolo Hart</i> .....	45
<i>Ilustración 17- Señal FSK.</i> .....	46
<i>Ilustración 18- Señal C8PSK.</i> .....	48
<i>Ilustración 19-Capas del protocolo WirelessHart.</i> .....	52
<i>Ilustración 20- Estación de alarmas</i> .....	57
<i>Ilustración 21- HMI del sistema actual, zona Espuma</i> .....	83
<i>Ilustración 22-Prototipo del sistema</i> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<i>Ilustración 23- Esquema de la zona de Espuma</i> .....	89
<i>Ilustración 24- Sensor de horquilla 2160.</i> .....	94

<i>Ilustración 25- Variables del sensor 2160.</i> .....	96
<i>Ilustración 26- Conexión del transmisor discreto 702.</i> .....	97
<i>Ilustración 27- Conexiones del interruptor magnético Morbey.</i> .....	98
<i>Ilustración 28- Variables del transmisor discreto 702.</i> .....	100
<i>Ilustración 29- Gabinete de comunicación Zona Espuma.</i> .....	102
<i>Ilustración 30- Smart Gateway 1420.</i> .....	103
<i>Ilustración 31- Configuración Modbus del Smart Gateway.</i> .....	104
<i>Ilustración 32- Mapeo de registros Modbus del Smart Gateway.</i> .....	105
<i>Ilustración 33- Switch Moxa EDS.</i> .....	106
<i>Ilustración 34- Planeamiento de la red WirelessHart.</i> .....	107
<i>Ilustración 35- Estabilidad de caminos de comunicación.</i> .....	108
<i>Ilustración 36- Conexiones OPC UA con dispositivos.</i> .....	109
<i>Ilustración 37- Configuración de conexión OPC UA.</i> .....	110
<i>Ilustración 38- Configuración de dirección y puerto de la conexión OPC UA.</i> .....	110
<i>Ilustración 39- Base de datos SQL.</i> .....	112
<i>Ilustración 40- Configuración de conexión de la base de datos.</i> .....	113
<i>Ilustración 41- Configuración MOXA ioLogic caseta de OFF SITE.</i> .....	114
<i>Ilustración 42. Configuración MOXA ioLogic caseta de Espuma.</i> .....	114
<i>Ilustración 43- Circuito interno de salidas a Relay.</i> .....	115
<i>Ilustración 44- Direcciones Modbus del ioLogic.</i> .....	116
<i>Ilustración 45- Creación de las UDT del sistema.</i> .....	117
<i>Ilustración 46- Creación de instancias del sistema.</i> .....	118
<i>Ilustración 47- Creación y configuración del grupo de transacción.</i> .....	119
<i>Ilustración 48- Configuración del Trigger.</i> .....	119
<i>Ilustración 49- Configuración de alarma.</i> .....	120
<i>Ilustración 50- Tags de las alarmas audiovisuales.</i> .....	121

<i>Ilustración 51- Script del tag Activador. ....</i>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<i>Ilustración 52- Configuración para alarma visual del HMI. ....</i>	124
<i>Ilustración 53- Nivel 1, Pantalla principal de planta.....</i>	125
<i>Ilustración 54- Pantalla nivel 2.....</i>	127
<i>Ilustración 55- Alarmas del sistema, pantalla nivel 3. ....</i>	127
<i>Ilustración 56- Reporte de variables, pantalla nivel 3.....</i>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<i>Ilustración 57- Ventanas emergentes- pantallas nivel 4.....</i>	128
<i>Ilustración 58- Cambio de configuración, transmisor discreto 702. ....</i>	130
<i>Ilustración 59- Proceso de pruebas, Pantalla Principal de planta. ....</i>	131
<i>Ilustración 60- Proceso de pruebas, activación de estación de alarmas. ....</i>	132
<i>Ilustración 61- Proceso de pruebas, pantalla Zona de Espuma. ....</i>	133
<i>Ilustración 62- Proceso de pruebas, pantalla de Alarmas. ....</i>	133
<i>Ilustración 63- Topología de red del sistema .....</i>	135
<i>Ilustración 64- Condición de fallo, pantalla principal. ....</i>	136
<i>Ilustración 65- Condición de fallo, pantalla Zona Espuma. ....</i>	137
<i>Ilustración 66- Condición de fallo, pantalla emergente.....</i>	138

## Índice de Tablas

<i>Tabla 1- Variables de la investigación. ....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 2- Características del transmisor discreto 702. ....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 3- Características de interruptor tipo horquilla. ....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 4- Características del Tank Hub 2410.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 5- Configuración avanzada de Smart Gateway.....</i>	<i>111</i>
<i>Tabla 6- Precio del módulo Perspective. ....</i>	<i>139</i>
<i>Tabla 7- Costos de implementación. ....</i>	<i>140</i>
<i>Tabla 8- Costo total del proyecto.....</i>	<i>141</i>

## ABREVIATURAS

ADN: Ácido Desoxirribonucleico.

API: Instituto Americano del Petróleo (American Petroleum Institute)

ATG: Medición Automática de Tanque (Automatic Tank Gauge)

ATT: Termómetro Automático de Tanques (Automatic Tank Thermometer)

C8PSK: Modulación por Cambio de Fase Coherente de 8 Vías (Coherent 8- Way Phase Shift Keying)

HTMS: Sistema Híbrido de Medición de Tanques (Hybrid Tank Measurement System)

HART: Transductor Remoto Direccional de Alta Velocidad (Highway Addressable Remote Transducer)

HMI: Interfaz Humano Máquina (Human Machine Interface)

FSK: Modulación por Desplazamiento de Frecuencia (Frequency Shift Keying)

FTTH: Fibra para el hogar (Fiber To The Home)

LAN: Red de Área Local (Local Area Network)

LPG: Gas Licuado de Petróleo (Liquefied Petrol Gas)

MAC: Control de Acceso a Medios (Media Access Control)

NAT: Traductor de Direcciones de Red (Network Address Translator)

O-QPSK: Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura con Corrimiento

OPC: OLE Para Procesos de Control (OLE for Process Control)

OPC UA: Arquitectura Unificada OPC (OPC Unified Architecture)

OSI: Interconexión de Sistemas Abiertos (Open Systems Interconnection)

PLC: Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Controller)

RECOPE: Refinadora Costarricense de Petróleo.

RF: Radiofrecuencia.

SCADA: Supervisión, Control y Adquisición de Datos (Supervisory Control And Data Acquisition)

SQL: Lenguaje de Consulta Estructurada. (Structured Query Language)

SMAT: Sistema Automático de Medición de Tanques

UTP: Par trenzado no blindado (Unshielded Twisted Pair)

## **DEDICATORIA**

Dedicado a mis padres Edwin Lee Araya y Ana Chavarría Vargas, quienes con toda su motivación y trabajo duro me han apoyado siempre para hacerme lograr mis metas propuestas.

## **AGRADECIMIENTO**

A todas las personas, amigos y profesores que me impulsaron para llegar hasta este momento.

## RESUMEN

En la industria, se puede encontrar gran variedad de dispositivos que permiten la recolección de datos tales como medición de temperatura, presiones, densidades y niveles de productos, tal es el caso de RECOPE, institución que se encarga de comercializar productos derivados del petróleo dentro de Costa Rica.

Este tipo de instrumentación de precisión es muy utilizado en las industrias por su fiabilidad y aunque su costo es elevado, su funcionamiento compensa las posibles pérdidas en producción por fallo de otro dispositivo menos confiable.

Algunos dispositivos de medición que se encuentran en el mercado tienen limitantes con respecto a la comunicación, y es que en plantas de producción de gran tamaño se torna complicado y caro la implementación de dispositivos que necesitan medios de comunicación guiados.

Por esta razón las tecnologías que utilizan la comunicación inalámbrica como una opción han tomado fuerza en el mercado, brindando a los consumidores la posibilidad de una mejora económica y gran fiabilidad en la recolección de datos por medio de acceso a ellos durante intervalos de tiempo.

Una de las tecnologías que cumple con estos beneficios para el consumidor y que es la que se va a abordar en el presente proyecto, es la conocida como WirelessHart, la cual se presenta como una opción de comunicación inalámbrica, esto para cubrir la necesidad de la institución de optimizar adecuadamente un sistema de prevención de sobrellenado de tanques que sea fiable y preciso.

# **CAPÍTULO I**

## **PROBLEMA DEL PROYECTO**

## 1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION DEL PROYECTO

### 1.1.1 Antecedentes del contexto de la empresa.

En 1961 un grupo privado funda ROCOPE e inicia gestiones para obtener los permisos del Ministerio de Economía, Industria y Comercio con el fin de construir una refinería al amparo de la ley 2426 de Protección y Desarrollo Industrial.

Durante la administración de Francisco J Orlich, (1963). RECOPE se inscribió como sociedad anónima de capital mixto, cuyo propósito era establecer una refinería que llegara a ser propiedad estatal, por considerarla una actividad estratégica para nuestra economía. El 28 de junio del mismo año la Asamblea Legislativa aprueba el contrato de Protección y Desarrollo Industrial a Favor de RECOPE S.A. que se establece entonces como la primera industria nacional dedicada a la refinación y producción de combustibles derivados del petróleo. En 1967 finaliza la construcción de la refinería en Moín, Limón.

En 1981 se Aprueba la Ley N° 6588, que regula a la Refinadora Costarricense de Petróleo (Recope), la cual define como actividades sustantivas de la empresa la importación, refinación y distribución a granel de los combustibles, asfaltos y naftas

En el 2009 se planteó un cambio de visión a lo interno y a lo externo de la empresa, que coadyuvaría a alcanzar una mejora de la reputación pública de RECOPE, donde el primer paso fue trabajar en un nuevo plan estratégico que alineara los objetivos empresariales con el Plan Nacional de Desarrollo. Se logró así consolidar procesos que aseguran la competitividad y eficiencia de RECOPE, donde los objetivos al igual que la Visión y la Misión definidas, marcaron un derrotero sobre

el cual partir, para definir una estructura orgánica más acorde al tipo de empresa que se debe forjar y que el país necesita.

### **Misión**

Somos la empresa que garantiza la seguridad energética del país mediante el abastecimiento de combustibles, asfaltos y naftas, con calidad y responsabilidad ambiental.

### **Visión**

Ser la empresa que contribuye con la transformación de la matriz energética del país hacia una baja huella ecológica, mediante procesos eficientes, personal innovador y orientado al cliente.

#### **1.1.2 Justificación del problema**

En el plantel de Recope ubicado en Moín, Limón se encuentra un sistema de medición denominado SMAT (Sistema Automático de Medición de Tanques) el cual está en funcionamiento para monitoreo de niveles de producto de los tanques, dicho sistema es el único que se encarga del aviso de los niveles de cada tanque de almacenamiento.

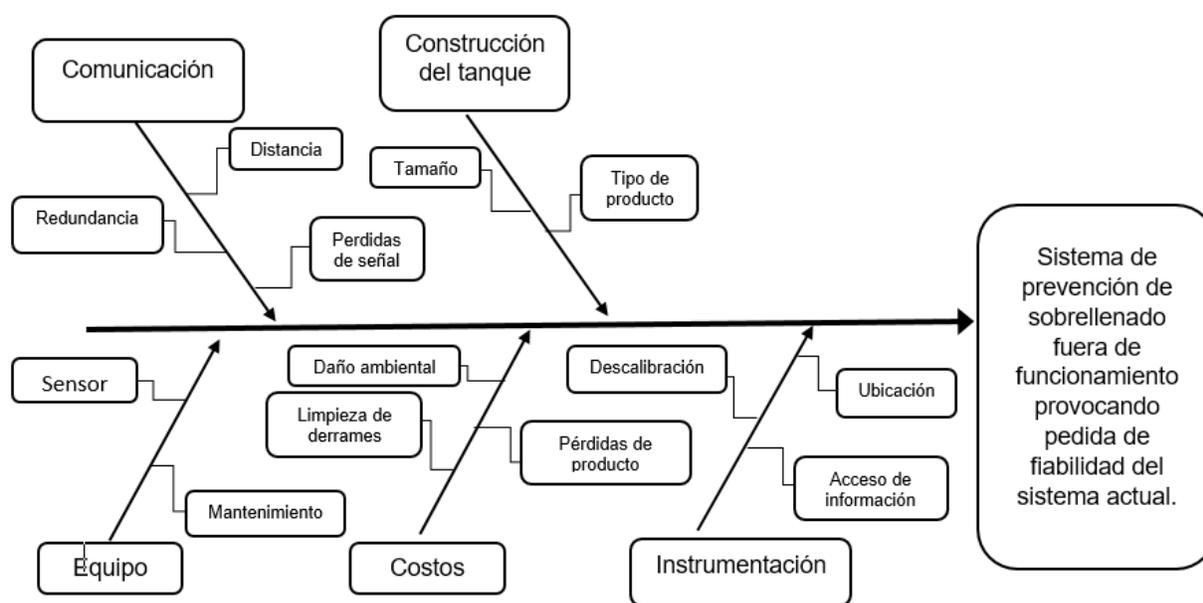
El sistema SMAT se encuentra alimentado por medio de corriente eléctrica brindada por el tendido eléctrico nacional, con respaldo de plantas generadoras de corriente. Dicho sistema al ser el único en su función dentro del plantel, abre la brecha para que se presenten problemas como derrames de producto.

Esta situación revela la necesidad de implementar un sistema secundario que sea independiente al SMAT para que brinde la información del nivel máximo permitido

de los tanques de almacenamiento de productos derivados del petróleo, para así poner en acción las labores del personal de la empresa.

Recope, en el plantel de Moín ubicado en Limón, al ser instalaciones tan amplias, se hace necesario un sistema confiable y de largo alcance que permita el monitoreo del nivel máximo permitido de los tanques en uso.

## 1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA



*Ilustración 1- Diagrama de ishikawa*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

Según lo mostrado en la Figura 1, se puede apreciar a grandes rasgos la necesidad que presenta la institución de poner en funcionamiento un sistema automático e independiente de prevención de sobrellenado de tanques. A continuación, se detallan más a fondo dichos criterios.

¿Cuál es la manera más eficiente de optimizar e implementar un sistema de prevención de sobrellenado de tanques que permita la reutilización de los actuales equipos en el plantel de RECOPE logrando con esto la fiabilidad esperada de un sistema independiente y con el cumplimiento de las normativas que rigen dicho sistema?

- a) Comunicación: Al ser el plantel un lugar muy amplio, la distancia entre los instrumentos de medición pueden afectar la comunicación entre los mismos lo cual llevaría a posibles pérdidas de información.
- b) Construcción del tanque: Como bien se conoce, Recope importa diversos productos para la comercialización dentro del país y los instrumentos encargados de la medición del nivel de los tanques debe ser el adecuado para una alta precisión del nivel de los productos almacenados.
- c) Costos: El derrame de producto en alguno de los tanques implica un alto costo de operación por parte del personal de la institución para llevar a cabo tanto la recolección como la limpieza del producto derramado.  
  
Cabe mencionar que, para la institución el daño ambiental que ocasiona un derrame es de suma importancia.
- d) Equipo: El sistema actual no se encuentra en funcionamiento y no se brindó un adecuado mantenimiento a los instrumentos de medición, tampoco se presenta la redundancia mínima para la comunicación por tecnología Wireless Hart y debido a estos problemas se presentan deficiencias en el funcionamiento de los sensores.
- e) Instrumentación: Se desconoce la calibración de los sensores instalados en los tanques lo cual hace inseguro el instrumento debido a la ubicación específica del

transmisor, lo anterior puede hacer que presente problemas para acceder a la información de lo que capta el instrumento de medición.

## 1.3 OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECIFICOS

### 1.3.1 Objetivo General

- Diseñar e implementar un sistema de medición de tanques de almacenamiento de productos derivados del petróleo en Recope por medio de tecnología Wireless Hart para mejorar el desempeño y fiabilidad de un sistema previamente instalado en la zona de espuma del plantel de Limón.

### 1.3.2 Objetivos Específicos.

- **Definir** los tipos de instrumentación de medición y comunicación necesarios utilizando el criterio técnico pertinente en base a los productos derivados del petróleo que se almacenan en los tanques.
- **Analizar** el funcionamiento del sistema actualmente instalado mediante el uso de la plataforma WirelessHart de acuerdo con las guías y normativas vigentes proporcionadas por la empresa.
- **Establecer** los niveles de sobrellenado para cada tanque de almacenamiento de productos derivados del petróleo, mediante el uso de tablas de calibración de tanques, con respecto a las normativas que rigen la empresa.
- **Diseñar** una nueva interfaz humano-máquina (HMI) para el nuevo sistema de sobrellenado de tanques, utilizando tanto el equipo nuevo como el que se instaló

anteriormente, de acuerdo con las normativas de alto rendimiento establecidas por la empresa.

- **Evaluar** el funcionamiento del nuevo sistema de prevención de sobrellenado propuesto, por medio del uso de la plataforma Ignition y mapeo de variables con respecto a las variables estipuladas en pruebas de campo y mapeos anteriores.

## **1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES**

### **1.4.1 Alcances**

- Con el presente proyecto se espera una implementación física real de todos los tanques de almacenamiento (Aprox 80) de los productos derivados del petróleo que se encuentran en el plantel de Moín en Limón. Esto implica un diseño que abarque los 80 tanques.
- No obstante, si bien, el presente proyecto es aplicable para todos los tanques en el plantel de Moín, este proyecto se aplicará únicamente en tres tanques en la zona de espuma debido a requerimientos de la empresa.
- El diseño final debe cumplir con los requerimientos de alto rendimiento solicitados por la empresa.

### 1.4.2 Limitaciones.

- Ya que el diseño se implementará en la zona de Espuma del plantel, en la misma se encuentran la mayor diversidad de instrumentos de medición; no se tiene un amplio inventario de repuestos.
- El presente proyecto se realizará con el equipo instalado en campo por decisión de la empresa; dentro de los cuales se pueden destacar: la plataforma Ignition con sus respectivas herramientas, los transmisores discretos marca Rosemount 702, sensor Rosemount 2160 y Gateway 1420 de la marca Rosemount.
- En áreas de gran capacidad se debe considerar la distancia entre equipos, ya que la distancia o área de cobertura de los instrumentos de medición se debe verificar de acuerdo con la hoja de datos del fabricante.
- Los productos almacenados en el plantel de Recope cumplen con especificaciones y características propias de cada uno que son avaladas por el laboratorio químico, por lo tanto, el tipo de instrumento a utilizar para su óptimo funcionamiento dentro del sistema propuesto deberá ser acorde a las especificaciones mismas.
- El sistema propuesto debe cumplir con la normativa API 2350-2012 (ver anexo 1).
- Las condiciones climatológicas de la zona afectarían directamente el ciclo de trabajo necesario para realizar las investigaciones del presente proyecto, ya no se pueden realizar trabajos de altura o que involucren tensiones en circunstancias de lluvia.
- A partir la séptima visita se indica que todos los ajustes en las medidas de los sensores deben tramitarse con un debido proceso ante el departamento de Procesos.
- A partir de la semana 9 se encuentra que la instrumentación instalada para la detección de sobrellenado del tanque YT-7312, debe programarse siguiendo las

indicaciones de fábrica, por las modificaciones realizadas anteriormente al equipo, no obstante, se queda a la espera del envío de la información del procedimiento por parte de fábrica para realizar dicho procedimiento.

- En la etapa de pruebas del presente proyecto se omite la prueba del sensor de horquilla 2160 debido a que, para probar su función establecida adecuadamente, este deberá ser desinstalado de su brida de sujeción e introducido en un material líquido, lo que involucra asignación de personal.
- Algunos documentos expendidos por la empresa para la realización del presente proyecto son de uso restringido, por esta razón no pueden ser mostrados ante terceros y se limita la muestra de planos eléctricos en el presente documento.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEORICO**

## **2.1 TEORÍAS REFERENTES AL DISEÑO A ELABORAR**

Como bien se mencionó en el capítulo anterior, el presente proyecto tiene como uno de sus bases indagar en los diferentes productos que se almacenan en el plantel, es de importancia conocer de donde parten cada uno de ellos y por esta razón se menciona a continuación algunos conceptos de carácter importante.

### **2.1.1 Petróleo.**

El petróleo bruto es un líquido negro o parduzco, ligeramente verde, raras veces amarillento y muy raramente límpido. El aspecto y el olor del petróleo bruto son variables. El color puede tener toda una escala de tintes más o menos pardos, con reflejos verdosos, de modo que, visto por transparencia, el petróleo es pardo, y verde oscuro si se mira por reflexión. El olor varía ligeramente; ciertos petróleos de colores subidos tienen un olor desagradable mientras otros de colores más acentuados, tienen más bien un olor agradable y hasta aromático. (Newbery, E. Solanas, Herrero, & C. Thierry, 2007, pág. 59)

### **2.1.2 Asfalto Ac-30.**

El asfalto es un compuesto orgánico, que ha sido clasificado como un material complejo compuesto por hidrocarburos, con pequeñas cantidades de sulfuro, nitrógeno y oxígeno. Su constitución molecular, es muy variada; sin embargo, tradicionalmente se caracteriza por dos de sus componentes principales: los asfaltenos y los maltenos (saturados, resinas y aromáticos). (Aguilar Moya, Leiva Padilla, Villegas Vilegas, Loría Salazar, & Zuñiga Araya, 2018, pág. 36)

De acuerdo con las investigaciones realizadas por Leiva y otros en 2014 [4], los asfaltenos constituyen cerca del 14.1% de un asfalto típico costarricense AC-30, por lo tanto, los maltenos los predominan altamente en la constitución del asfalto. (Aguilar Moya, Leiva Padilla, Villegas Vilegas, Loría Salazar, & Zuñiga Araya, 2018, pág. 36)

### **2.1.3 GLP**

Según RECOPE, “El Gas Licuado de Petróleo (GLP) es la mezcla de gases condensables provenientes del proceso de refinación del petróleo, también se origina de la producción y procesamiento del gas natural, este último energético se está convirtiendo en la principal fuente del GLP en los países productores de hidrocarburos. El mismo es inodoro e incoloro, pero se le adiciona un odorizante (un metil mercaptano) que le otorga un olor pestilente para posibilitar su identificación en caso de fugas. Los tipos de GLP dependen de los componentes, puede ser solo propano, solo butano o una mezcla de ambos y en menor proporción también están presentes etileno, propileno, butileno y pentano.” (RECOPE S.A, 2019)

En la misma línea RECOPE publica que “La composición del gas, determina la presión de vapor y el poder calórico. A nivel internacional se comercializan butano o propano y mezclas de ambos. Sin embargo, en Costa Rica se comercializa una mezcla de propano y butano, la cual contiene un máximo de 40% butano, según el Decreto COMEX-MINAE-MEIC No. 32921. El resultado promedio para el porcentaje de butano en 2018 es de 24,2%.” (RECOPE, 2019)

Se entiende entonces por lo anterior citado que, el GLP es un tipo de gas que comprende de una mezcla de dos gases diferentes en el caso del proceso de refinación así también

como del procesamiento del gas natural, a este producto se le añade un producto odorizante para la detección de la mezcla en caso de fugas.

#### **2.1.4 Etanol**

“Es un biocombustible derivado de recursos renovables, que se obtiene por la fermentación de los azúcares contenidos en distintos productos agrícolas (maíz, caña de azúcar, papa, sorgo, remolacha o biomasa). Por procesos de destilación, rectificación y desecado se logra obtener una alta pureza que permite que se pueda utilizar como combustible.

Como todos los alcoholes, se caracteriza por ser un compuesto líquido, incoloro volátil, inflamable, soluble en agua y de menor toxicidad.

Desde el punto de vista de su estructura, es un compuesto químico cuya fórmula química es  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{OH}$ . Posee dos átomos de carbono, en uno de los cuales se ha sustituido un átomo de hidrógeno por un grupo funcional hidroxilo (OH); en su forma pura se le conoce mundialmente como E-100.

El etanol carburante E100 se caracteriza por su bajo contenido de agua y un octanaje de hasta 115 ROM.” (RECOPE.S.A, 2020)

#### **2.1.5 Gasolina Plus 91**

Según RECOPE, “La mezcla de hidrocarburos que compone esta gasolina conocida popularmente como gasolina regular, le proporciona características de volatilidad y un índice mínimo de octano de 91 para obtener un adecuado desempeño en su utilización. Como se ha mencionado en años anteriores la disminución del plomo en esta gasolina

se realizó paulatinamente, pasando de 0.84 g Pb/l a 0.54 g Pb/l en 1994 y luego se fue reduciendo la cantidad hasta tener un promedio de 0.20 g Pb/l en 1995. Durante el año 1996 se continuó disminuyendo su adición hasta eliminarlo totalmente en el mes de abril, logrando Costa Rica formar parte de los primeros países a nivel Latinoamericano en eliminar el plomo de la gasolina.” (RECOPE S.A, 2019)

Se conoce que un octano es un tipo de hidrocarburo que se compone de ocho átomos de carbono y que un carburante es una mezcla en proporción de diferentes hidrocarburos para mejorar el rendimiento de un elemento consumidos, en este caso motores. Por tanto, el octanaje viene siendo una escala que mide la capacidad del carburante para tolerar la presión que se le ejerce en una cámara. La gasolina se clasifica en propiedades por un octanaje elevado de 91

### **2.1.6 Gasolina Superior**

RECOPE publica en su página que “La Gasolina Superior (Súper), se introdujo en el mercado nacional en el año de 1990, como un requerimiento para las nuevas tecnologías de motores, principalmente motores de combustión interna de alta relación de compresión. Así mismo como una contribución a la protección del ambiente, ya que no contiene tetra etilo de plomo como antidetonante, sustancia que produce severos daños a la salud. En el año 1994 se reformuló la Gasolina Súper, para producir la Gasolina con un octanaje de 95 y sin plomo adicionando lo que se le denomina un oxigenado. Para el caso de Costa Rica, el oxigenado utilizado es el Metil Terbutil Éter (MTBE).” (RECOPE, 2019)

De manera que al igual que la gasolina plus, la gasolina súper es una mezcla de carburantes, con la salvedad de que esta tiene un octanaje de 95.

### **2.1.7 Queroseno**

Es una mezcla de hidrocarburos proveniente de la refinación del petróleo con una volatilidad intermedia entre el Diesel y la Gasolina. Este producto se utiliza principalmente a nivel industrial en hornos de panaderías y empresas manufactureras, también en algunas zonas rurales para el alumbrado en linternas y fuentes de energía en la cocción de alimentos.

La normativa nacional para el Queroseno es el Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 75.01.14:04 el cual está en vigencia a partir de la publicación del Decreto Ejecutivo N°32812 COMEX-MINAE-MEIC, La Gaceta N°245 del 20 de diciembre de 2005. (RECOPE, 2019)

### **2.1.8 Diesel**

Es una mezcla de hidrocarburos que se obtiene de la destilación fraccionada del petróleo a una temperatura entre 250°C y 350°C a presión atmosférica. Es más sencillo de refinar que la Gasolina, tiene mayores cantidades de componentes minerales y de azufre. Además, tiene un 18% más de energía por unidad de volumen que la Gasolina, lo que, sumado a la mayor eficiencia de los motores Diesel contribuye a que su rendimiento sea mayor. Las propiedades del combustible, tales como temperatura de ignición, volatilidad, estabilidad a la oxidación; la potencia, el desgaste, la formación de depósitos y la emisión de gases, dependen directamente de la composición del mismo. (RECOPE, 2019)

### **2.1.9 Búnker (Fuel Oil)**

El Búnker es un combustible que normalmente proviene de la primera etapa del proceso de refinación (destilación atmosférica), viscoso y con alto contenido energético, lo cual lo hace apto para ser usado en calderas, hornos y para las plantas de generación eléctrica. En los procesos de refinación del Búnker se obtienen subproductos como aceites, lubricantes y asfaltos. También es utilizado como combustible en motores marinos.

El Búnker se clasifica con números del 1 al 6, para tal clasificación se considera su punto de ebullición, su composición y su viscosidad. De acuerdo a su número, entre más alto sea este, mayor será su viscosidad. (RECOPE, 2020)

### **2.1.10 Gasóleo.**

Es un combustible con características intermedias de volatilidad entre el Diesel y el Bunker. Se utiliza en algunos equipos en la industria, como quemadores y hornos, que requieren un combustible menos pesado que el Bunker, con mayor volatilidad y menor viscosidad. Su uso a nivel nacional es limitado. (RECOPE, 2019)

### **2.1.11 Jet A-1**

Es un combustible con buenas características de combustión y alto contenido energético y se utiliza principalmente en motores de turbina utilizados por el transporte aéreo. Es una mezcla de hidrocarburos donde predominan las parafinas y compuestos nafténicos; contiene pequeñas cantidades de olefinas y un contenido de aromáticos restringido. (RECOPE, 2019)

### **2.1.12 Almacenamiento de productos derivados del petróleo.**

En Recope se almacenan diferentes productos para el consumo en el mercado nacional y cada producto cumple diferentes propiedades químicas que los hacen únicos para lo cual se necesitan en algunos casos distintos medios de almacenaje que deben cumplir normativas establecidas por el instituto americano del petróleo (American Petroleum institute, API), A continuación, se mencionan los medios necesarios para el almacenaje de dichos productos.

- **Tanque de techo fijo.**

Según API, "The fixed-roof tank is the minimum accepted standard for the storage of volatile liquids. Large, modern fixed-roof tanks are of all-welded construction and are designed to be liquid and vapor tight. Some older fixed-roof tanks may be of riveted or bolted construction. In this publication, it is assumed that the tank roof and shell are vapor tight. These are available in a range of sizes from 20 to 300 feet in diameter and up to 65 feet in shell height. The fixed roof may be column-supported or self-supported, and may be cone-shaped, dome-shaped, or flat."

Con relación a lo anterior citado, se entiende por un tanque de techo fijo a una estructura que cumple el estándar mínimo para el almacenaje de líquidos con alta volatilidad y varían según su construcción, ya que ellos pueden ser de techo cónico o de domo en algunos casos.

- **Tanque de techo flotante.**

Según API, “weight of the liquid displaced will be equal to the weight of the roof and attached deadwood. Therefore, the roof weight, temperature, and the density of the liquid must be considered when calculating the roof displacement. The roof displacement is used to correct the tank capacity table volumes when the liquid height in the tank is at, or above the point or elevation where the roof floats freely. When the floating roof is resting on any of its supports, the correction for roof displacement does not apply. The liquid is partially displaced by the roof between the point or elevation where the liquid just touches the lowest section of the roof and the point or elevation where the roof floats freely.” (American Petroleum Institute, 2005)

Con base en la cita anterior se comprende que un tanque con techo flotante comprende de una armazón o techo interno que se desplaza conforme sube el nivel del líquido a lo interno del tanque, y que tanto el peso del techo, la temperatura y densidad del líquido deben ser tomados en cuenta en el desplazamiento del techo flotante.

- **Tanque insulado.**

Según API, “Insulation can be used on the tank shell and roof to reduce heat input or heat loss. Some stocks must be stored in a heated condition to permit proper handling. Tanks for warm service may require insulated shells and roofs, depending upon the local climatic conditions, stock properties, and required storage temperature. Various types of insulation systems have been used including:

a. Prefabricated rigid panel insulation.

b. Prefabricated fibrous blanket insulation.

c. Sprayed-on polyurethane foam insulation.

Insulation systems should be equipped with a suitable exterior vapor barrier to reduce the ingress of moisture, which can result in a loss of insulation effect as well as corrosion of the tank shell. Insulation on the tank shell or roof can reduce the standing storage loss by reducing the ambient heat input or loss to the tank vapor space.”

De manera que este tipo de tanque cabe dentro de la categoría de techo fijo, con la salvedad de que su estructura está protegida o insulada para mantener el calor del líquido que se almacena, así como líneas de barrido de vapor para controlar el calor del tanque.

- **Esfera.**

Según API “A Sphere is a stationary liquid storage tank, supported on columns so that the entire tank shell is abovegrade. There are, usually, no internal structural members.”  
(American Petroleum Institute, 1966)

Por lo tanto, se puede describir como un tanque de almacenamiento en forma de esfera que está soportada por bases y se utiliza para almacenar GLP.

### **2.1.13 Medición de tanque.**

Para la medición de tanques se utilizan diferentes instrumentos y su uso depende del método empleado uno de ellos es la cinta para detección de agua. API se refiere a ella de la siguiente manera.

“Water gauging pastes are used with gauge bars and bobs and tapes to indicate the petroleum and free water interface. The paste should not react with the petroleum, but should change color upon contact with free water.” (American Petroleum Institute, 2005, pág. 5)

De manera que la crema de detección de agua debe ser colocada en la barra de calibración que sirve como plomada de manera tal que la pasta llegue hasta el fondo, ésta, bajo la suposición de que el producto tenga agua, cambiará de color únicamente con el contacto del agua.

Así como la pasta de detección de agua, también se emplea otro tipo de pasta o crema que cambia de color únicamente en contacto con productos livianos. Dicha pasta es mencionada por la API de la siguiente manera.

“In very light petroleum, the level of the liquid cannot be read on the tape because the petroleum evaporates while the tape is being raised from the liquid. To overcome this problem, gasoline paste is applied to the tape. When the paste comes in contact with the petroleum, it changes color or dissolves away thus giving a reading (cut).” (American Petroleum Institute, 2005, p. 5)

La API también hace mención al método de medición tanto por cinta electrónica como manual de la siguiente manera.

“Manual gauging shall require obtaining either two consecutive gauge readings to be identical, or three consecutive readings within a range of 3 mm (1/8 in.). If the first two

readings are identical, this reading shall be reported to the nearest 1 mm if metric tapes are used, or to the nearest 1/8 in. if customary tapes are used. When three readings are taken, all three readings shall be within the 3 mm (1/8 in.) range and readings averaged to the nearest 1 mm for metric tapes and 1/8 in. for customary tapes.” (American Petroleum Institute, 2005, p. 10)

Según API en lo anterior citado, se deben tomar tres medidas de las cuales para ser válida la medición, dos de las primeras deben ser exactas y dicha medición se tomará como la correcta. Si las tres medidas son distintas se promedia la medida y se toma al milímetro más cercano.

- **Medición manual por cinta.**

Este método de medición manual que debe realizar el operador del plantel, la cual consiste en el uso de pasta para detección de agua en el elemento de peso de la cinta y la pasta para detección de productos livianos derivados del petróleo en la cinta, de manera que se pueda tener una lectura de corte correcta con respecto a la altura de referencia del tanque. Cabe mencionar que se debe seguir el procedimiento estipulado por API para la medición de tanques por cinta.

- **Sistema híbrido de medición.**

Según API “A Hybrid Tank Measurement System (HTMS) is a method of combining direct product level measured by an automatic tank gauge (ATG), temperature measured by an automatic tank thermometer (ATT), and pressures from one or more pressure sensors. These measurements are used, together with the tank capacity table and applicable

volume and density correction tables, to provide level, temperature, mass, observed and standard volume, and observed and reference density.

The product level is directly measured by the ATG. The product temperature is directly measured by the ATT. The true (observed) density is determined from hydrostatic pressure measured by the pressure sensor(s) and the product height above the bottom pressure sensor, as measured by the ATG. Total static mass is computed by a hybrid processor from the true density and the tank capacity table. Gross observed volume, standard volume, and reference density are computed using industry practice for static calculations.” (American Petroleum Institute, 2001, p. 3)

Con relación a lo anterior citado se entiende por un sistema híbrido de medición a un conjunto de instrumentos automáticos de medición involucrados en un sistema, de manera que cada medición será tomada en cuenta para luego ser relacionadas en una tabla de correlaciones del tanque para finalmente obtener con esas relaciones el nivel del mismo.

- **Medición automática.**

API describe la medición automática como “A measuring device; a mechanical or electronic sensor designed to continuously measure and transmit the liquid level in a storage tank without personnel action” (American Petroleum Institute, 2012)

De manera que en referencia a lo que se citó anteriormente, se puede definir como medición automática a el método que no necesita intervención humana en medio del proceso.

- **Medición por cinta electrónica.**

La medición por medio de la cinta electrónica está regida por la API, la cual menciona el instrumento de medición a continuación.

“Portable electronic gauging equipment are also known as portable electronic gauging devices, or portable electronic gauging tape. Portable electronic gauging equipment for detecting either the liquid level of petroleum and/or the interface of petroleum and free water must be certified by a suitable agency as safe for use in flammable atmospheres and for use with liquids that accumulate static charges.

Flashlights must be certified by a suitable agency as safe for use in flammable atmospheres.” (American Petroleum Institute, 2005, pág. 3)

Con base en lo anterior citado se debe tener en consideración que el instrumento electrónico de medición utilizado debe ser el adecuado ser usado en ambientes de riesgo de explosión en ambientes cargados de sustancias inflamables, así como en líquidos que acumulen cargas eléctricas.

También el Instituto Americano del Petróleo brinda información de este tipo de medición en la siguiente cita.

“The zero point of the level measured by a portable electronic gauging tape shall be the reaction point at which the sensor detects a liquid surface when operating in the outage mode. Because the electronic sensor(s) usually need to be protected from mechanical damage, the zero point of the tape/probe combination is generally not the bottom surface of the sensor probe. Thus the zero point will not be directly verifiable without vertical

suspension into a liquid surface. In these circumstances, the zero point is at a fixed distance from the bottom surface of the probe. The zero offset distance shall be verified and stated on the certificate of the said unit.

If the portable electronic gauging tape can be used to measure the reference height of a tank, then it will be necessary to add this distance (the zero point offset distance) to the observed tape reading to calculate the actual reference height value.” (American Petroleum Institute, 2005, p. 5)

Con base en lo anterior citado se entiende que se debe tener la certificación del fabricante para una medición precisa, así como la toma en cuenta de la medida de referencia del tanque que se procede a medir para un nivel de líquido correcto.

#### **2.1.14 Instrumentos de medición de nivel.**

Actualmente en el mercado se encuentran varios dispositivos enfocados a procesos industriales que se utilizan para la medición de niveles de sustancias almacenadas.

El sensor de nivel es un dispositivo electrónico o mecánico que se encarga de medir la altura de una sustancia con respecto a un punto en específico, en el caso de estar almacenada en algún recipiente, el dispositivo mide la altura de la misma con respecto a la altura base.

Para el control de procesos industriales en los que se necesite saber el nivel de algún líquido, es de vital importancia el uso de sensores electrónicos los cuales dependiendo del principio de funcionamiento se dividen en sensores de punto, o sensores de nivel continuo.

a) Sensores de punto.

Son sensores que se utilizan para para brindar una altura específica de una sustancia almacenada, dicho nivel está preestablecido por el encargado de su calibración y debido a su simplicidad son muy utilizados en alarmas de bajo o alto nivel de inventario.

b) Sensores de nivel continuo.

Los sensores de nivel continuo son más sofisticados que los anteriores ya que estos llevan un control en tiempo real de la medida del nivel de un líquido dentro de un proceso de llenado o drenado del recipiente que lo contiene, brindando una señal analógica que está proporcionalmente relacionada con el nivel físico del líquido en medición.

### **2.1.15 Tipos de sensores.**

Según su funcionamiento también se pueden diferenciar por las variaciones de su diseño, dentro de los cuales se presentan algunos.

- **Interruptores de flotador**

Este es un sensor de tipo mecánico el cual pertenece a la familia de los sensores de punto. Su funcionamiento radica en un sistema de boya que se mueve conforme el flujo aumenta y en un nivel preestablecido se acciona un mecanismo para que una señal sea activa indicando que ya llegó al punto nivel esperado.

- **Sensor de nivel ultrasónico.**

En las aplicaciones industriales, los sensores ultrasónicos se caracterizan por su fiabilidad y excepcional versatilidad. Los sensores ultrasónicos se pueden utilizar para realizar incluso las tareas más complejas relacionadas con la detección de objetos o mediciones de nivel con una precisión milimétrica, ya que su método de medición es fiable en casi todo tipo de condiciones. (Pepperl+Fuchs AG, s.f.)

- **Sensor de nivel por capacitancia**

Al igual que los sensores ultrasónicos, los sensores por capacitancia pueden manejar medición de nivel puntual o continua. Usan una sonda para monitorear los cambios de nivel de líquido en el tanque, acondicionando electrónicamente la salida a valores capacitivos y resistivos, que se convierten en señales analógicas. La sonda y el recipiente equivaldrán a las dos placas de un capacitor, y el líquido equivaldrá al medio dieléctrico. Debido a que la señal emana solo de cambios de nivel, la acumulación de material en la sonda no tiene efecto. Los recipientes de fluido no conductor pueden indicar sondas dobles o una banda conductora externa. (Omega, s.f.)

Según Pallás (2003) en el paso del tiempo han ocurrido cambios en la tecnología que llevan a impulsar avances en la instrumentación de medición. Las dos tendencias que marcaron dicha evolución fueron la evolución del miniordenador hasta lo que conocemos hoy en día como ordenador personal, y la otra tendencia fue el avance en el conocimiento y aplicación del silicio y otros materiales semiconductores que llevaron a poder lograr que un dispositivo realice más de una función, facilitando el control distribuido.

### **2.1.16 Medios de transmisión de datos.**

La tecnología a lo largo de la historia ha ido avanzando de tal manera que los medios de transmisión se han diversificado según los materiales que se utilizan para su propósito, básicamente en dos grandes grupos, los medios de transmisión guiados y los medios de transmisión no guiados.

- **Medios de transmisión guiados.**

Este tipo de medio de transmisión de datos se caracteriza por tener un medio físico por el cual viaja el paquete de datos que se desea enviar. Entre este grupo se presentan los siguientes medios.

- Medios magnéticos.
- Par trenzado
- Cable coaxial.
- Líneas eléctricas
- Fibra óptica.

- **Medios de transmisión no guiados**

En contraste con los medios anteriores, este tipo de transmisión de datos no necesita de medios físicos para hacer llegar los datos de un lugar a otro. Dentro de este grupo se tienen los siguientes medios.

- Radio transmisión.
- Transmisión por microondas.
- Transmisión infrarroja.
- Transmisión por ondas de luz.

#### **2.1.17 Gateway.**

Un Gateway o puerta de enlace es un dispositivo electrónico utilizado que cumple la función de interconectar redes con protocolos y arquitecturas de red diferentes. Una de sus funciones es la de interconectar máquinas en una red LAN y conectar dicho grupo a internet, brindando seguridad por medio de NAT (Network Address Translation),

#### **2.1.18 Switch.**

Un switch es un dispositivo de red que actúa como punto de unión para la conexión de estaciones de trabajo, servidores, routers, hubs y otros switches. (Valdivia Miranda, 2015, pág. 38)

Los switches se usan en la tecnología estándar actual de las redes LAN Ethernet para una topología estrella. Debido a la importante función de los switches en las redes

modernas, la capacidad para comprender y configurar switches es esencial para la asistencia técnica de la red. (Valdivia Miranda, 2015, pág. 38)

Los switches se basan en la conmutación de paquetes. Los paquetes entrantes se guardan en un área de memoria temporal (buffer), la dirección MAC contenida en el encabezado de la trama se lee y luego se compara con una lista de direcciones guardada en la tabla de búsqueda del switch. (Valdivia Miranda, 2015, pág. 41)

El modo de funcionamiento del switch viene definido por el método para enrutar el tráfico (tipo de conmutación) y la capacidad para soportar conexiones a distinta velocidad (ancho de banda entre puertos). (Valdivia Miranda, 2015, pág. 41)

#### **2.1.19 Modelo OSI.**

Este modelo se basa en una propuesta desarrollada por la Organización Internacional de Normas (iso) como el primer paso hacia la estandarización internacional de los protocolos utilizados en las diversas capas (Day y Zimmerman, 1983). Este modelo se revisó en 1995 (Day, 1995) y se le llama Modelo de referencia OSI (Interconexión de Sistemas Abiertos, del inglés Open Systems Interconnection) de la iso puesto que se ocupa de la conexión de sistemas abiertos; esto es, sistemas que están abiertos a la comunicación con otros sistemas. (S. Tanenbaum & J. Wetherall, 2012, pág. 35)

- **Capa física.**
- **Capa de Enlace de datos.**
- **Capa de Red.**
- **Capa de Transporte.**

- **Capa de Sesión.**
- **Capa de Presentación.**
- **Capa de Aplicación.**

## **2.2 CONTEXTO TEÓRICO**

Según la investigación previa sobre las tecnologías aplicadas para la obtención de datos de un proceso industrial, se determina conveniente el uso de la misma tecnología instalada debido a que es la más óptima en el campo y de menor costo de implementación. Abonado a esto, cabe mencionar que la institución reutilizará el equipo implementado lo cual conlleva a un ahorro en la compra de dispositivos.

### **2.2.1 Transmisor discreto inalámbrico Rosemount 702DX32**

Se fabrican variedades de el transmisor discreto 702 y cada uno de ellos varían con respecto a su modelo, en el caso de este proyecto se estará hablando del transmisor discreto 702DX32, el cual cumple como función principal en el campo, la de transmitir su variable primaria, la cual se obtiene por medio de su cana doble, de entrada discreta, salida discreta o entrada para detección de fuga, abonado a esto tiene la funcionalidad de trasmitir otras tres variables relacionadas al estado del dispositivo.

Otra de sus funciones, por las características de la tecnología en la que se basa es la de repetir las señales de dispositivos WirelessHart cercanos comúnmente llamados vecinos, de manera que sirve como punto de salto para que la información viaje a su destino final.

Este tipo de instrumentos puede ser usado como repetidor para los datos transmitidos de otros dispositivos cercanos, realizando cambios en su configuración.



*Ilustración 2-transmisor discreto Rosemount 702*

*Fuente: Emerson*

### **2.2.2 Detector de nivel inalámbrico Rosemount 2160**

El presente dispositivo es un sensor inalámbrico de detección de nivel presentado por la empresa Emerson, que basa su funcionamiento en el principio de horquilla vibratoria, el cual consiste en un cristal piezoeléctrico que hace vibrar las horquillas a su frecuencia natural la cual es de 1400 Hertz, cuando el dispositivo es utilizado para enviar señales de alto nivel de líquido y las horquillas son sumergidas en algún material, las mismas cambian su frecuencia de oscilación y esta es detectada haciendo que cambie de estado a húmedo.



*Ilustración 3- Detector de nivel inalámbrico Rosemount 2160*

*Fuente: Emerson*

### **2.2.3 Radiotransmisión.**

Las ondas de radio frecuencia (RF) son fáciles de generar, pueden recorrer distancias largas y penetrar edificios con facilidad, de modo que son muy utilizados en la comunicación, tanto en interiores como en exteriores. Las ondas de radio también son omnidireccionales, lo cual significa que viajan en todas direcciones desde la fuente, por lo que el transmisor y el receptor no tienen que estar alineados físicamente. (S. Tanenbaum & J. Wetherall, 2012, pág. 94)

Las propiedades de las ondas de radio dependen de la frecuencia. A bajas frecuencias, las ondas de radio cruzan bien los obstáculos, pero la potencia se reduce drásticamente

a medida que se aleja de la fuente (por lo menos tan rápido como  $1/r^2$  en el aire). A esta atenuación se le conoce como pérdida de trayectoria. A frecuencias altas, las ondas de radio tienden a viajar en línea recta y rebotan en los obstáculos.

La pérdida de trayectoria reduce aún más la potencia, aunque la señal recibida también puede depender en gran parte de las reflexiones. Las ondas de radio de alta frecuencia también son absorbidas por la lluvia y otros obstáculos en mayor grado que las de baja frecuencia. En todas las frecuencias las ondas de radio están sujetas a interferencia de los motores y demás equipos eléctricos. (S. Tanenbaum & J. Wetherall, 2012, pág. 94)

En base a lo mencionado en las citas anteriores, se toma como correcta la ventaja del envío de paquetes de datos por medio de señales de radiofrecuencia ya que por este medio no se debe incurrir en la compra de algún medio guiado para que la comunicación entre dispositivos que se encuentran alejados entre sí.

#### 2.2.4 Cable coaxial.

El cable coaxial es otro medio de transmisión común (conocido simplemente como “coax”). Este cable tiene mejor blindaje y mayor ancho de banda que los pares trenzados sin blindaje, por lo que puede abarcar mayores distancias a velocidades más altas. Hay dos tipos de cable coaxial que se utilizan ampliamente. El de 50 ohms es uno de ellos y se utiliza por lo general cuando se tiene pensado emplear una transmisión digital desde el inicio. El otro tipo es el de 75 ohms y se utiliza para la transmisión analógica y la televisión por cable. (S. Tanenbaum & J. Wetherall, 2012, pág. 84)

Un cable coaxial consiste en alambre de cobre rígido como núcleo, rodeado por un material aislante. El aislante está forrado de un conductor cilíndrico, que por lo general es una malla de tejido fuertemente trenzado. El conductor externo está cubierto con una funda protectora de plástico. (S. Tanenbaum & J. Wetherall, 2012, pág. 85)

Con relación a lo citado anteriormente cabe recalcar que la transmisión por medio de cable coaxial se convierte en un punto fuerte en la comunicación de datos debido a su ancho de banda y poca sensibilidad al ruido debido a su blindaje.



*Ilustración 4- Cable coaxial.*

*Fuente: Turbosquid.*

### 2.2.5 Par trenzado.

Un par trenzado consta de dos cables de cobre aislados, por lo general de 1 mm de grosor. Los cables están trenzados en forma helicoidal, justo igual que una molécula de ADN. El trenzado se debe a que dos cables paralelos constituyen una antena simple. Cuando se trenzan los cables, las ondas de distintos trenzados se cancelan y el cable irradia con menos efectividad. Por lo general una señal se transmite como la diferencia en el voltaje entre los dos cables en el par. Esto ofrece una mejor inmunidad al ruido externo, ya que éste tiende a afectar ambos cables en la misma proporción y, en consecuencia, el diferencial queda sin modificación. (S. Tanenbaum & J. Wetherall, 2012, pág. 82)



*Ilustración 5-Cable de par trenzado*

*Fuente: Ripley*

### **Fibra óptica.**

La fibra óptica se utiliza para la transmisión de larga distancia en las redes troncales, las redes LAN de alta velocidad (aunque hasta ahora el cobre siempre ha logrado ponerse a la par) y el acceso a Internet de alta velocidad como FTTH (Fibra para el Hogar, del inglés

Fiber To The Home). Un sistema de transmisión óptico tiene tres componentes clave: la fuente de luz, el medio de transmisión y el detector. Por convención, un pulso de luz indica un bit 1 y la ausencia de luz indica un bit 0. El medio de transmisión es una fibra de vidrio ultradelgada. El detector genera un pulso eléctrico cuando la luz incide en él. Al conectar una fuente de luz a un extremo de una fibra óptica y un detector al otro extremo, tenemos un sistema de transmisión de datos unidireccional que acepta una señal eléctrica, la convierte y la transmite mediante pulsos de luz, y después reconvierte la salida a una señal eléctrica en el extremo receptor. (S. Tanenbaum & J. Wetherall, 2012, pág. 87)

En base a lo anterior citado se puede determinar la fibra óptica como el medio más óptimo para la conexión de equipos que se encuentran a distancias considerables, ya que la fibra óptica casi no presenta pérdidas por atenuación de señal en el medio de transmisión.

Otra de las ventajas que presenta la fibra óptica como medio de transmisión es que no se ve afectada por el ruido eléctrico externo que se pueda presentar en el campo, así como tampoco se ve afectada por sustancias corrosivas que se propaguen en el aire lo cual es fundamental en el ambiente de trabajo en donde se encuentra instalada.



*Ilustración 6 - Fibra óptica*

*Fuente: Fibermart*

### 2.2.6 Smart Wireless Gateway 1420.

El Smart Wireless Gateway 1420 es un dispositivo que conecta redes auto organizadas del tipo Wireless Hart con sistemas host y aplicaciones de datos, se comunica por medio de los protocolos Ethernet o Modbus por RS-485 y una característica muy importante es que no necesita que se configuren en él rutas de comunicación ya que el mismo gestiona automáticamente la red, de manera que pueden añadirse dispositivos a la red en cualquier momento.



*Ilustración 7 - Smart Wireless Gateway 1420*

*Fuente: Emerson*

### 2.2.7 Moxa switch EDS.

Este modelo de Moxa switch es un dispositivo que tiene puertos de cinco conmutadores inteligentes lo cual lo convierte en una opción rentable en cuanto a capacidad, en adición a esto el dispositivo tiene una función de alarma inteligente que ayuda a verificar el estado de la red. Este modelo cuenta con tres puertos ethernet 10/100 Base T(X) y dos puertos para comunicación por medio de fibra óptica 100 Base FX.



*Ilustración 8 - Switch EDS-405.*

*Fuente: Amazon.*

## **2.2.8 Plataforma Ignition.**

Ignition es un software de servidor lanzado por la empresa Inductive Automation, que sirve para integrar totalmente un sistema, independientemente de la marca, modelo o plataforma. Dentro de sus bondades se incluye la facilidad de uso, escalabilidad, y el uso de módulos que permiten la integración con otras tecnologías como cualquier base de datos SQL, controladores lógicos programables, entre otras.

Con la implementación Ignition se puede alcanzar proyectos muy diversos, a continuación, se presentan algunos casos en los que se puede hacer uso de esta tecnología:

- Implementación de aplicaciones HMI y SCADA basadas en web.
- Historiador de alto rendimiento.
- Generación de informes.
- Generación de alarmas.

### 2.2.9 Adaptador Smart Wireless THUM

El adaptador THUM se puede conectar a cualquier dispositivo HART con la intención de convertir ese dispositivo en uno inalámbrico por medio de una configuración HART simple. Este dispositivo se alimenta por medio de cableado de un lazo común de 4-20mA y debe configurarse para que se pueda enlazar a la pasarela y por consiguiente al sistema inalámbrico como tal



*Ilustración 9- Adaptador Thum*

*Fuente: Emerson*

### 2.2.10 Rosemount 5900S Medidor de nivel por radar

El medidor de nivel por radar 5900S de Rosemount realiza mediciones de nivel con alta precisión. Tiene la particularidad de que la cavidad del instrumento está dividida en dos teniendo con esto una solución 2 en 1. En una de las cavidades se instala una unidad primaria de medición y en la otra una de respaldo, o dos unidades independientes en donde una sirva como la alarma de sobrellenado.



*Ilustración 10- Medidor Rosemount 5900S*

*Fuente: Emerson*

### **2.2.11 Concentrador 2410.**

El concentrador 2410 está diseñado para ser instalado en el exterior del tanque y se comunica con los dispositivos de campo a través del Tankbus intrínsecamente seguro.

El concentrador 2410 tiene la capacidad de que a través del bus principal se pueda transmitir los datos y estado del tanque directamente o a través de un modem hacia una computadora host. Una de las funciones del concentrador 2410 es que posee dos relees de estado sólido que permiten controlar válvulas u otros dispositivos.

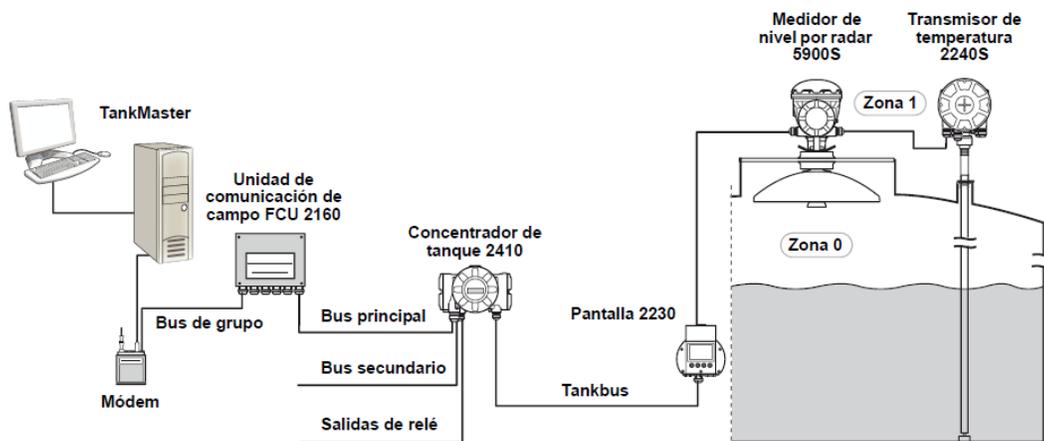
En combinación con la entrada de un nivel de medición de radar como el 5900S y sensores de presión, el concentrador 2410 puede configurarse para mostrar en la computadora host la densidad observada de un material en medición.



*Ilustración 11- Concentrador de tanques 2410*

*Fuente: Emerson*

Con la intención de tener una idea clara de la conexión del concentrador 2410 de Rosemount, se muestra a continuación una ilustración que muestra a grandes rasgos como se realiza esta.



*Ilustración 12- Conexión del Concentrador 2410*

*Fuente: Emerson*

### 2.2.12 Conmutador ioLogic 1240.

El conmutador ioLogic 1214 de la marca Moxa se presenta como una opción rentable debido a que aparte de las funciones de conmutador, tiene la capacidad de habilitar canales de entradas y salidas, tanto digitales como analógicas, logrando con cada canal el acceso remoto de elementos terminadores de una red.



*Ilustración 13- Conmutador ioLogic 1240*

*Fuente: MOXA.*

### 2.2.13 Patch Panel.

Este es un panel de conexión de fibra óptica que, por su tamaño, puede ser instalado sin problemas en un gabinete de comunicación. El cual también tiene una bandeja para permitir el empalme por fusión.



*Ilustración 14- Patch Panel de fibra óptica.*

*Fuente: DINSpace.*

#### **2.2.14 Transmisor de temperatura Rosemount 2240S.**

El transmisor de temperatura de la marca Rosemount modelo 2240S, se emplea como una opción confiable en tareas de exigencia para transferencia y custodia de líquidos. Este se puede conectar con hasta 16 elementos puntuales de temperatura utilizando el protocolo de comunicación Fieldbus, El valor de cada elemento puntual en combinación con un instrumento d nivel de tipo radar, puede brindar como resultado el valor promedio de la temperatura de un líquido.



*Ilustración 15- Trasmisor de temperatura Rosemount 2240S.*

*Fuente: Emerson.*

### **2.2.15 Protocolo HART**

Hart (Transductor remoto direccionable de alta velocidad), se presenta como un protocolo de comunicación bidireccional Maestro-Esclavo, diseñado para aplicaciones industriales. Hart se conoce como un protocolo híbrido, esto quiere decir, que posee la particularidad de combinar la comunicación analógica y digital.

Hart logra combinar ambas formas de comunicación, basándose en el estándar Bell 202 FSK, con el cual logra superponer una señal digital sobre la señal analógica convencional de 4 a 20 mA. La señal digital presenta dos frecuencias, una de 1200 Hz para representar un "1" lógico, y otra de 2200 Hz para representar un "0" lógico.

Hart se basa en el modelo OSI de siete capas, de la cuales utiliza tres, La capa Física, Capa de enlace de datos, y Capa de aplicación.

	OSI Layer	Function	HART
7	Application	Provides the User with Network Capable Applications	Command Oriented. Predefined Data Types and Application Procedures
6	Presentation	Converts Application Data Between Network and Local Machine Formats	
5	Session	Connection Management Services for Applications	
4	Transport	Provides Network Independent, Transparent Message Transfer	
3	Network	End to End Routing of Packets. Resolving Network Addresses	
2	Data Link	Establishes Data Packet Structure, Framing, Error Detection, Bus Arbitration	A Binary, Byte Oriented, Token Passing, Master/ Slave Protocol.
1	Physical	Mechanical / Electrical Connection. Transmits Raw Bit Stream	Simultaneous Analog & Digital Signaling. Normal 4-20mA Copper Wiring

*Ilustración 16- Capas del protocolo Hart.*

*Fuente: FIELDCOMM GROUP.*



En la capa física del protocolo Hart se pueden clasificar los dispositivos de señalización como dispositivos de alta o de baja impedancia,

FieldComm Group también especifica en sus especificaciones de C8PSK lo siguiente.

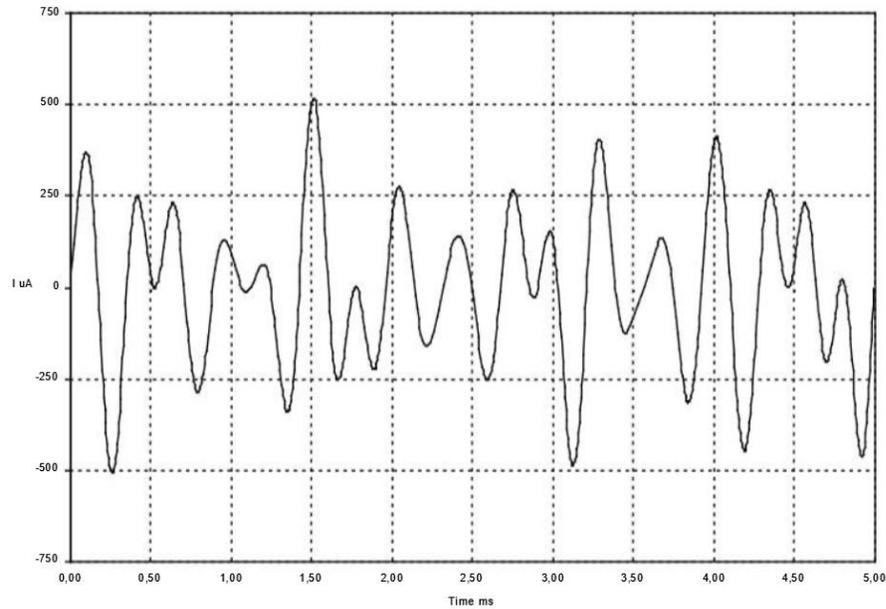
En HART, el flujo de bits se organiza en bytes de 8 bits que se agrupan en mensajes.

Una transacción HART consiste en un comando maestro junto con una respuesta esclava. El acceso a los medios consiste en el paso de tokens entre los dispositivos conectados al canal. El paso del token está implícito en el mensaje real transmitido.

Los temporizadores se utilizan para delimitar el período entre transacciones. Una vez que el temporizador expira, el propietario del token cede el control del canal.

(FieldComm Group, 2001, pág. 9)

La capa física C8PSK, es una capa física de segunda generación que es compatible con versiones anteriores tanto con la capa física FSK como con la señal de 4 a 20 mA. C8PSK agrupa el flujo de bits en símbolos que luego se transmiten como una serie de cambios de fase de la portadora de 3200 Hz. Esta técnica se denomina modulación por desplazamiento de fase coherente de 8 vías y es similar a la señalización especificada en el estándar de telecomunicaciones V.27. Los 8 símbolos diferentes utilizados permiten que cada símbolo transmita tres bits de datos. La capa física C8PSK transmite a 3200 baudios y tiene una velocidad de datos sin procesar de 9600 bps. (FieldComm Group, 2001, pág. 11)



*Ilustración 18- Señal C8PSK.*

*Fuente: FIELDCOMM GROUP.*

- **Capa de enlace de datos.**

La capa de enlace de datos es la responsable de establecer una ruta de comunicación confiable y sin errores. entre dispositivos compatibles con Hart para que estos realicen el intercambio de información digital. Para ello esta capa puede realizar correcciones de errores ocasionados por el ruido utilizando información de detección de errores y un protocolo de solicitud de repetición automática, en el cual se solicita repeticiones de bloques de datos posiblemente dañados por perturbaciones. También administra el acceso a datos cuando un maestro primario y uno secundario soliciten la información.

Además, la capa de enlace de datos se puede dividir en dos subcapas: el control de enlace lógico responsable del direccionamiento, la trama y la detección de errores; y

el Control de Acceso al Medio que controla la transmisión de mensajes a través del enlace físico. (FieldComm Group, 2019, pág. 7)

Si bien comprender el contenido de los datos es responsabilidad de la capa de aplicaciones, la capa de enlace de datos es responsable de transferir de manera confiable esos datos a través del canal. Organiza el flujo de bits sin procesar en paquetes (Framing) y realiza el control de acceso a medios (MAC) para garantizar el acceso ordenado al canal de comunicación por parte de los dispositivos maestro y esclavo. (FieldComm Group, 2001, pág. 9)

La capa de enlace de datos admite direcciones largas (5 bytes) "únicas" y cortas (1 byte) de "encuesta". Las direcciones de sondeo solo se pueden usar con el Comando 0. Esto permite que el protocolo HART admita comunicaciones punto a punto o multipunto con dispositivos de campo. Si se utilizan direcciones de sondeo (encuesta), se pueden conectar hasta 64 dispositivos esclavos en un solo enlace de comunicación. Si se utilizan direcciones únicas (formato largo), la cantidad de dispositivos multipunto es esencialmente ilimitada y se determina en función de la tasa de exploración requerida por las aplicaciones de los dispositivos en el enlace de comunicación. (FieldComm Group, 2019, pág. 7)

- **Capa de aplicación.**

La capa de aplicación HART es extensa y juega un papel importante para garantizar la interoperabilidad de los dispositivos de diferentes empresas. La capa de aplicación define los comandos, las respuestas, los tipos de datos y los informes de estado admitidos por el protocolo. Las especificaciones de resumen de comando, tablas comunes y código de respuesta de comando, establecen prácticas obligatorias de la capa de aplicación (por ejemplo, tipos de datos, definiciones comunes de elementos de datos y procedimientos). La especificación de comando universal especifica el contenido mínimo de la capa de aplicación para todos los dispositivos compatibles con HART.

La capa de aplicación también estandariza las capacidades opcionales. La especificación de comandos de práctica común (HCF\_SPEC-151) define muchos comandos (opcionales) útiles para una amplia gama de dispositivos. La especificación de familias de dispositivos (HCF\_SPEC-190) estandariza aún más los comandos, las alertas de estado y los procedimientos para varios tipos de dispositivos según la función principal del dispositivo, la tecnología del sensor y/o la aplicación del proceso. La popularidad de la comunicación HART también ha estimulado las demandas de la industria para expandir la aplicación del protocolo HART a nuevos dominios más allá de los dispositivos de tipo control y medición continua. La especificación de aplicaciones discretas (HCF\_SPEC-285, aún en desarrollo) responde a las demandas de la industria para definir la aplicación del protocolo HART a dispositivos de tipo inteligente discreto (encendido-apagado). (FieldComm Group, 2020, pág. 6)

FieldComm Group también especifica lo siguiente.

La capa de aplicaciones proporciona acceso a los datos y servicios disponibles para las aplicaciones de los usuarios finales. La capa de aplicaciones en HART define los comandos, las respuestas, los tipos de datos y los informes de estado admitidos por el protocolo. Además, hay ciertas convenciones en HART (por ejemplo, cómo recortar la corriente de bucle) que también se consideran parte de la capa de aplicaciones. (FieldComm Group, 2001, pág. 9)

### **2.2.16 Protocolo WirelessHart.**

WirelessHart se presenta como un protocolo de comunicaciones inalámbricas para automatización de procesos, agregando la capacidad de transmitir inalámbricamente información, pero manteniendo la compatibilidad con toda la tecnología Hart existente, como comandos, herramientas o dispositivos.

WirelessHart presenta un diseño de malla entre dispositivos, los cuales no necesitan estar enlazados directamente a la puerta de enlace o Gateway, debido a que cada dispositivo cumple dentro de una de sus funciones específicas, la de enrutar las señales de cada dispositivo vecino.

En una red WirelessHart se presentan tres elementos principales los cuales son:

- Dispositivos de campo.

Son todos los dispositivos instalados o conectados a equipos que representan un proceso necesario de una planta, dentro de los cuales se pueden mencionar medidores de flujo, temperatura o nivel.

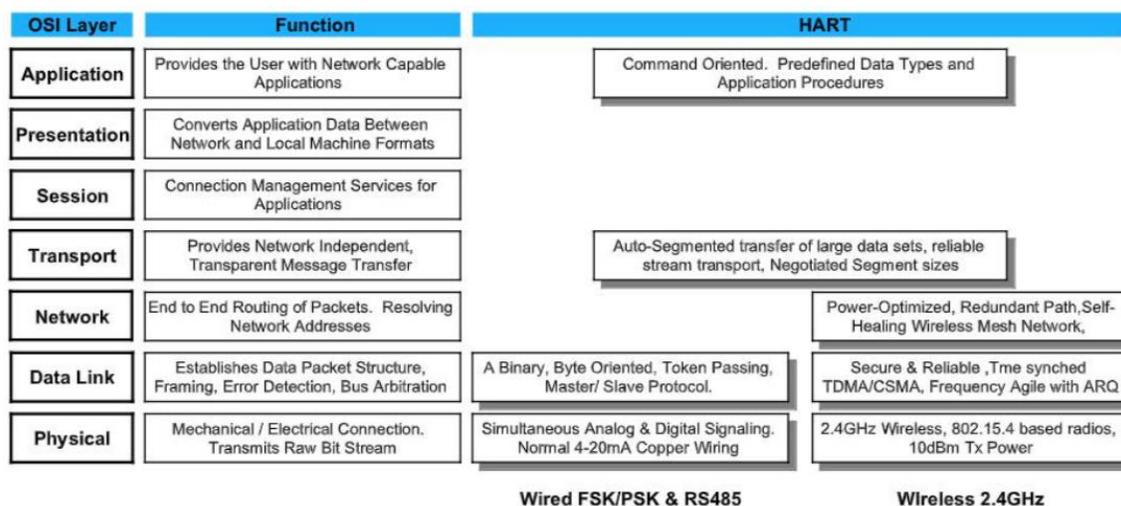
- Puertas de enlace o Gateway.

Permiten la comunicación entre los dispositivos de campo y sistemas host, así mismo permiten la comunicación entre distintos protocolos de comunicación.

- Administrador de Red.

Es el encargado de programar las comunicaciones entre dispositivos, configuraciones de red, administración de rutas de mensajes y el mismo puede ser instalado ya sea en el Gateway y sistema host.

El protocolo de comunicación WirelessHart es una extensión del protocolo Hart, se basa en el modelo OSI de siete capas, de las cuales utiliza cinco las cuales son, la Capa física, Capa de enlace de datos, Capa de red, Capa de transporte y capa de aplicación.



*Ilustración 19-Capas del protocolo WirelessHart.*

*Fuente: FIELDCOMM GROUP.*

- Capa física.

Es la capa más baja del protocolo, y la menos compleja. Es esta capa se basa en el estándar 802.15.5 y se ocupa de características de radio comunicación al realizar una conexión de red, asociándose sus funciones a cualquier parte de la estructura de red, pero sin procesar información de ninguna manera.

La capa física es responsable de enviar los bits a través de los medios de la red. No define qué es un bit o cómo se usa, simplemente cómo se envía. La capa física es la encargada de transmitir y recibir los datos. (FieldComm Group, 2016, pág. 7)

La capa física es la responsable de usar el método de envío de señales, medio para envío de señales, sensibilidad de dispositivos e intensidad de señales.

Según FieldComm Group, la especificación para la capa física de WirelessHart, se basa en la capa física DSSS de 2,4 GHz de IEEE STD 802.15.4-2006 que emplea modulación O-QPSK.

Otras funciones de la capa física son la sensibilidad de recepción, potencia de transmisión, definición de servicios a capas superiores para envío y recepción de datos, definición de parámetros de gestión local utilizados para controlar el funcionamiento de la misma capa y especificación de requisitos para la interoperabilidad entre dispositivos Hart. (FieldComm Group, 2016, pág. 10)

- Capa enlace de datos.

Tal como en el modelo de referencia de comunicación OSI, la capa de enlace de datos Hart TDMA es la responsable de una comunicación de datos segura, confiable y sin errores entre dispositivos compatibles con Hart.

WirelessHart utiliza acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) y salto de canal para controlar el acceso a la red. TDMA es una técnica de control de acceso al medio (MAC) ampliamente utilizada que proporciona comunicaciones deterministas sin colisiones. TDMA utiliza intervalos de tiempo donde se producen las comunicaciones entre dispositivos. Una serie de intervalos de tiempo forman una supertrama TDMA. Todos los dispositivos deben admitir múltiples supertramas, comenzando con la supertrama cero (0). Al menos una supertrama siempre está habilitada, mientras que se pueden habilitar o deshabilitar supertramas adicionales. Los tamaños de las ranuras y la longitud de la supertrama (en número de ranuras) son fijos y forman un ciclo de red con una tasa de repetición fija. Las supertramas se repiten continuamente. (FieldComm Group Document Number, 2016, pág. 18)

- Capa de red.

La capa de red proporciona facilidades de enrutamiento, seguridad de extremo a extremo y transporte. Gestiona "sesiones" para la comunicación de extremo a extremo con los dispositivos correspondientes. Paquetes recibidos a través de TRANSMIT.indicate SP de la capa de enlace de datos, transfiere paquetes destinados al propio dispositivo desde la capa de enlace de datos a la capa de cliente y enruta los paquetes destinados a otros dispositivos enviándolos de vuelta a la capa de enlace de datos. También procesa los paquetes recibidos de la capa de aplicación con la primitiva TRANSMIT.request. (FieldComm Group, 2020, pág. 47)

- Capa Transporte.

La capa de transporte se puede utilizar para garantizar que la comunicación de extremo a extremo sea exitosa. En otras palabras, la capa de transporte puede garantizar que los paquetes se comuniquen correctamente a través de múltiples saltos hasta su destino final. La capa de transporte admite transacciones reconocidas y no reconocidas.

La operación sin acuse de recibo permite que los dispositivos envíen paquetes sin necesidad de acuse de recibo de extremo a extremo y sin garantía de que los paquetes se ordenen en el dispositivo de destino. Este método es útil, por ejemplo, para publicar datos de procesos. Dado que los datos del proceso se propagan periódicamente, el reconocimiento de extremo a extremo y los reintentos tienen una utilidad limitada, ya que se generará un nuevo punto de datos de forma regular.

Por el contrario, la operación reconocida se utiliza para construir una tubería de transporte síncrona a través de la red que se conecta a los dispositivos. La "tubería de transporte" permite que los dispositivos envíen paquetes y confirmen su entrega. La capa de transporte ordena los paquetes enviados entre dispositivos y rastrea su entrega. Este método es el más adecuado para el tráfico de solicitud/respuesta. Cuando se emplea la operación reconocida, la comunicación es síncrona. Solo se realiza una transacción a la vez en el bus para esa tubería de transporte. (FieldComm Group, 2020, pág. 56)

- Capa de aplicación.

En la capa de aplicación, se tienen comandos WirelessHart que especifican el contenido mínimo de la capa de aplicación/red para todos los dispositivos que sean compatibles con el protocolo WirelessHart y deben ser implementados rigurosamente según su especificación.

Los comandos de la capa de aplicación son de interacción directa con el usuario o administrador de la red para configurar o acceder a datos de la misma.

Ejemplificando lo anterior, se puede hacer mención del caso en donde un instrumento está instalado en el campo y listo para enlazarse a la red correspondiente, FieldComm Group lo describe de la siguiente manera.

Cuando el dispositivo se ha instalado y está listo para unirse a la red, se escribe "Unirse ahora" mediante el Comando 771. El dispositivo escaneará las frecuencias en busca de anuncios y tráfico de red desde la red especificada. Los parámetros Tiempo de búsqueda activa y Número de reintentos para unirse determinan cuánto tiempo el dispositivo escuchará la red y con qué frecuencia se intentará unirse. (HART Communication Foundation, 2012)

De esta manera, se tienen comandos de la capa de aplicación en los que su numeración varía según su función.

### **2.2.17 OPC UA**

OPC UA fue liberado por la Open Platform Communications Foundation (OPC), para regular, mantener estándares, protocolos y especificaciones de interoperabilidad para la comunicación de datos en automatización industrial.

OPC UA es compatible con sistemas operativos como Linux, MacOS y Windows y trabajar en computadoras, PLC, microcontroladores, entre otros. En base a esto,

OPC UA comenzó con el propósito abstraer los protocolos específicos que generalmente se utilizan en los PLC como Modbus o Profibus, en una interfaz estandarizada que permitiera a los sistemas HMI/SCADA el intercambio de información a través de solicitudes de lectura o escritura OPC y solicitudes específicas de cada dispositivo y viceversa.

### **2.2.18 Estación de alarmas.**

La estación de alarmas audiovisuales se utiliza para advertir al personal en tiempo real acerca de un evento o condición peligrosa. Esta consta como elementos, una luz y una bocina, presenta circuitos independientes para cada uno, obteniendo con esto la facilidad de controlar por medio de cableado cada elemento.



*Ilustración 20- Estación de alarmas.*

*Fuente: elaborado por el autor.*

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

## **3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Según (Cid, 2011), “la investigación es una herramienta utilizada por las personas y la sociedad para aclarar dudas y problemas y, de paso, aumentar el conocimiento sobre algo” (p.9) y según (Tamayo, 2003) “la investigación es un proceso que, mediante la aplicación del método científico, procura obtener información relevante y fidedigna, para entender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento” (p.37), de esta manera se tiene que el desarrollo de la presente investigación es base fundamental para la obtención de datos y por consiguiente criterios técnicos que permitan ampliar el conocimiento de un sistema en concreto para así lograr la eficiencia esperada.

### **3.1.1 Finalidad de la Investigación**

Según Muñoz, la siguiente es la clasificación de tesis más antigua que se utiliza a nivel mundial, y atiende exclusivamente a la causa que origina la investigación, independientemente de la metodología formal que se elija para plantear el problema y desarrollar la investigación de tesis. De manera que Muñoz explica la tesis de investigación básica como:

“Su finalidad es tratar de analizar y explicar hechos, generar conocimiento para desarrollar nuevas teorías, reforzar, rechazar o modificar teorías ya existentes, y así incrementar los conocimientos científicos o filosóficos sin tratar de contrastarlos con algún aspecto práctico”. (Muñoz Razo, 2011, pág. 25)

Algunos de los nombres que recibe este tipo de tesis son pura, teórica, científica o fundamental y se caracteriza por pretender generar conocimiento sobre hechos que interesan a las ciencias particulares o a la misma filosofía sin buscar en ello lucro alguno.

También Muñoz menciona a las tesis de investigación tecnológica como:

“los trabajos de investigación cuyo interés y resultados se centran en la producción de satisfactores para la sociedad, por medio de la aplicación del conocimiento para la transformación de la realidad e innovación de la industria, el comercio, las tecnologías de información, las áreas ingenieriles, los equipos, programas y sistemas con la finalidad de generar soluciones en beneficio de una comunidad específica o de la población en general. “ (Muñoz Razo, 2011, pág. 26)

Básicamente según Muñoz, este tipo de tesis se centra en el diseño y construcción de objetos para satisfacer las necesidades humanas empleando técnicas, conocimientos y procesos.

Según Muñoz, hace referencia a las tesis de investigación aplicada como:

“Se caracteriza por aplicar los conocimientos que surgen de la investigación pura para resolver problemas de carácter práctico, empírico y tecnológico para el avance y beneficio de los sectores productivos de bienes y servicios de la sociedad. “ (Muñoz Razo, 2011, pág. 26)

También recibe el nombre de investigación aplicada fundamental, investigación aplicada tecnológica, investigación práctica o investigación empírica.

Por último, Muñoz se refiere a la tesis de investigación educativa como:

“el conjunto de actividades profesionales que realiza un grupo colegiado de investigadores, docentes, pasantes, estudiantes y especialistas en diversas áreas y campos temáticos de una comunidad académica para estudiar objetos y fenómenos relacionados con el campo de la educación. “ (Muñoz Razo, 2011, pág. 26)

Con base en lo anterior expuesto se puede determinar la clasificación del presente proyecto como un tipo de investigación aplicada, ya que en él se busca generar una mejora a la sociedad haciendo uso de los conocimientos que parten de una investigación básica previa.

Lo anterior quiere decir que, basándose en el concepto de tesis de investigación aplicada, el presente proyecto tiene como finalidad resolver los problemas tecnológicos que presenta el sistema actualmente instalado a partir de la investigación pura, con la finalidad brindar una mejora al servicio de almacenamiento de productos derivados del petróleo en la empresa.

### **3.1.2 Dimensión Temporal**

Según Hernández Sampieri la dimensión temporal hace referencia al periodo en que se recolectan datos en una investigación, y según su clasificación como no experimental se dividen en transeccional o transversal y la define como:

“Los diseños de investigación transeccional o transversal recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único (Liu, 2008 y Tucker, 2004). Su propósito es describir

variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado. Es como “tomar una fotografía” de algo que sucede.” (Sampieri, 2014, pág. 154)

También define la dimensión temporal longitudinal como:

” Entonces disponemos de los diseños longitudinales, los cuales recolectan datos en diferentes momentos o periodos para hacer inferencias respecto al cambio, sus determinantes y consecuencias. Tales puntos o periodos generalmente se especifican de antemano.” (Sampieri, 2014, pág. 154)

De manera que según lo citado anteriormente se resuelve que el presente trabajo está definido por una dimensión temporal transversal debido a que se plantea resolverlo en el primer semestre del año 2022.

### **3.1.3 Marco.**

El marco de la investigación hace referencia a la extensión o impacto que tendrá el proyecto o tema en estudio, el cual se clasifica en tres diferentes niveles, mega, macro y micro:

- **Mega:** El marco mega de la investigación hace referencia a la institución de Recope como tal, la cual cuenta con muchos tanques de almacenamiento en los cuales se puede adoptar el sistema planteado.
- **Macro:** El nivel macro de la investigación corresponde de forma específica, al plantel de Recope ubicado en Limón, el cual se encuentra en Moín y posee una gran cantidad de tanques de almacenamiento para diferentes tipos de productos.

- Micro: Este corresponde al proceso específico al que hace referencia el estudio de la presente investigación, la cual es el sistema de prevención de sobrellenado de tanques en la zona de asfalto ubicada en el plantel de Limón.

### **3.1.4 Naturaleza de la Investigación**

Según sea el enfoque que se plantea, Hernández Sampieri los clasifica en dos y el primero de ellos lo define como:

” El enfoque cuantitativo (que representa, como dijimos, un conjunto de procesos) es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos “brincar” o eludir pasos. El orden es riguroso, aunque desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones respecto de la o las hipótesis” (Sampieri, 2014, pág. 4)

Por otra parte, define el segundo de ellos como:

” El enfoque cualitativo también se guía por áreas o temas significativos de investigación. Sin embargo, en lugar de que la claridad sobre las preguntas de investigación e hipótesis preceda a la recolección y el análisis de los datos (como en la mayoría de los estudios cuantitativos), los estudios cualitativos pueden desarrollar preguntas e hipótesis antes, durante o después de la recolección y el análisis de los datos. Con frecuencia, estas

actividades sirven, primero, para descubrir cuáles son las preguntas de investigación más importantes; y después, para perfeccionarlas y responderlas. La acción indagatoria se mueve de manera dinámica en ambos sentidos: entre los hechos y su interpretación, y resulta un proceso más bien “circular” en el que la secuencia no siempre es la misma, pues varía con cada estudio.” (Sampieri, 2014, pág. 7)

Con relación a lo anterior citado, se puede definir el enfoque del presente proyecto como mixto, se define como cuantitativo ya que en él se plantean de manera secuencial y probatoria los procesos que llevarán a la obtención de datos de un conjunto de variables que posteriormente serán analizados para la toma de decisiones. Así también se define como cualitativo ya que antes, durante y después de la recolección de los datos se podrán generar hipótesis relacionadas al funcionamiento del proyecto anteriormente instalado.

### **3.1.5 Método de análisis.**

El método de análisis se ve relacionado con el término proceso lógico, y estos últimos hacen referencia a la capacidad de utilizar la razón para relacionar datos. De manera que durante un proceso de investigación se adoptan formas de razonar las cuales son cuatro y se mencionan a continuación.

Según (Cid, 2011) el método analítico “consiste precisamente en descomponer un objeto en sus partes constitutivas” (p. 20). Lo anterior se entiende por separar en partes el elemento de la investigación de manera que se pueda observar las variaciones de sus principales características.

(Cid, 2011) explica el método sintético en una investigación cuando “En una investigación practicamos el método sintético cuando nos preguntamos qué conclusiones podemos

sacar del estudio, cuando queremos condensar en unas pocas, pero importantes ideas todo el esfuerzo realizado. También es sintético preguntarse qué podemos recomendar a la institución que auspició el estudio. Al realizar un ejercicio de síntesis practicamos lo que se denomina formular **generalizaciones.**” (p. 21)

De manera que se puede entender por método sintético al que se aplica cuando se obvian detalles y se centra en la generalidad de la investigación o situación.

También (Cid, 2011) cita que el método analítico “Consiste en una operación lógica que va de lo particular a lo general. Este método se sustenta en la observación repetida de un fenómeno.” (p. 21)

“El método inductivo supone tener datos parciales confiables para, a partir de ellos, concluir que hay características que se repiten una y otra vez. Supone atención en los datos, en lo observado.” (p. 22). Este método parte de observaciones realizadas para formular un criterio válido.

También (Cid, 2011) menciona sobre el método deductivo que, “A veces se afirma que el método científico es hipotético-deductivo. ¿Qué significa esto? Que parte de una **teoría** de la cual se deducen una o más **hipótesis**; de la cual después se deducen o desprenden las **variables** a estudiar.” (p. 22). En este método se da el caso contrario al inductivo, se parte de generalidades para llegar a contrastar los datos con un marco conceptual para confirmar o no una hipótesis planteada.

En base a los métodos anteriormente expuestos se puede decir que la presente investigación se encuentra en concordancia con el método analítico, ya que se tiene un estado inicial del sistema de prevención de sobrellenado el cual debe ser estudiado por partes para encontrar sus fallas y también concuerda con el método inductivo ya que a partir de los datos obtenidos se generará la mejor solución para el sistema.

## 3.2 FUENTES DE INFORMACIÓN

Las fuentes de información son todas aquellas fuentes de donde se obtiene el material didáctico que se encarga de fundamentar la investigación. De manera tal que en base a los datos obtenidos durante la investigación se puedan hacer comparaciones con las fuentes, que deben ser fiables.

### 3.2.1 Fuentes Primarias

Según Hernández Sampieri, las fuentes primarias son todas aquellas fuentes que nos brindan información de primera mano, pero se debe ser selectivo de manera que no se incurra en el error de tomar cualquier fuente como válida.

” Las *referencias o fuentes primarias* proporcionan datos de primera mano, pues se trata de documentos que incluyen los resultados de los estudios correspondientes.” (Sampieri, 2014, pág. 61)

Mientras que Muñoz explica lo siguiente:

” La investigación que utiliza información de primera mano se vale de aquel material que se recaba directamente donde tienen su origen los datos. Es la información que se toma de la fuente primaria, es decir, del punto mismo donde se origina, ya sea que se trate de un hecho, un fenómeno o una circunstancia que se desea investigar. Dentro de esta categoría entran la experimentación, los autores inéditos, las encuestas, la descripción de eventos, las noticias periodísticas, la narración de hechos, los reportes de investigaciones, etcétera.” (Muñoz Razo, 2011, pág. 226)

De manera tal que en el presente trabajo se utilizaran fuentes primarias como entrevistas, método de observación, y fuentes bibliográficas fidedignas que sirvan de sustento teórico a la presente investigación.

### **3.2.2 Fuentes Secundarias**

” También identificada como información secundaria, es aquella que toma sus contenidos de las fuentes primarias para su interpretación, complemento, corrección o refutación. La investigación que utiliza información de segunda mano tiene la ventaja de que está más documentada, pues toma varias fuentes para complementar y se apoya en la seriedad metodológica.

Dentro de esta categoría de fuentes de información encontramos las publicaciones de instituciones, los ensayos, las tesis, las antologías, los artículos colegiados, etcétera.” (Muñoz Razo, 2011, pág. 226)

De igual manera, las fuentes secundarias fueron tomadas en cuenta en el presente trabajo ya que como se citó anteriormente, dentro de este tipo de fuentes se encuentra material muy documentado que se basa en fuentes primarias.

### **3.2.3 Sujetos de Información.**

Los sujetos de información son todas aquellas personas que están relacionadas con el problema de la investigación y que puedan brindar información valiosa que posteriormente sea tomada en cuenta en el proyecto. Para la realización del presente proyecto se tomarán como sujetos de información a el ingeniero encargado del departamento de instrumentación, el supervisor del departamento de Procesos y el operador de monitoreo del departamento de Procesos.

### 3.3 TÉCNICAS Y HERRAMINETAS.

Según (Muñoz, 2011) “Dentro del campo de las ciencias sociales, la recopilación de información utiliza diferentes métodos, técnicas e instrumentos. Estas herramientas de apoyo a la investigación son muy abundantes y se eligen de acuerdo al tipo del método de investigación que se requiera. Entre los instrumentos más comunes y de mayor uso tenemos: observación histórica, observación controlada, experimentación y levantamiento de información por medio de cuestionarios, entrevistas, encuestas, entre otras muchas técnicas.” (p. 226)

Mientras que (Niño, 2011) define a las técnicas” como *los procedimientos específicos que, en desarrollo del método científico, se han de aplicar en la investigación para recoger la información o los datos requeridos.*” (p. 61)

En esta sección hace referencia a las técnicas y herramientas que se plantea utilizar durante el desarrollo del presente proyecto.

#### 3.3.1 Observación

Según (Hernández Sampieri, 2014) Este método de recolección de datos consiste en el registro sistemático, válido y confiable de comportamientos y situaciones observables, a través de un conjunto de categorías y subcategorías. (p. 252)

Y Según (Niño, 2011) el observar se define como:

“un acto mental bien complejo. Implica mirar atentamente una cosa, una persona o ser vivo, un fenómeno o una actividad, percibir e identificar sus características, formas y cualidades, registrarlas mediante algún instrumento (o al menos en la mente), organizarlas, analizarlas y sintetizarlas. No basta con “ver” las cosas, proceso fisiológico

que se genera en los sentidos. Es necesario “mirar”, proceso cognitivo que, aunque se inicia como ver, exige una actividad de la mente” (p. 62).

De modo que la primera herramienta que se utilizará en este trabajo será de manera objetiva la observación, para poder determinar el estado del sistema actual, aplicando el instrumento en los equipos que se encuentran instalados en el campo, los cuales varían según la construcción del tanque, así como la instrumentación necesaria para el funcionamiento del sistema en general.

### **3.3.2 Entrevista.**

(Muñoz, 2011) define la entrevista como “Una de las técnicas de investigación de mayor uso en la recopilación de información en las áreas de ciencias sociales y en otras muchas disciplinas es la entrevista, la cual podría definirse como la recopilación de información en forma directa, cara a cara, donde el entrevistador interroga y obtiene información directamente del entrevistado, siguiendo una serie de preguntas preconcebidas (incluidas en una guía de entrevista) y adaptándose de acuerdo a las circunstancias que las respuestas del entrevistado le presentan.” (p. 231)

“La entrevista es una de las herramientas que aportan más información al investigador, ya que permite obtener datos de primera mano y, en muchos casos, facilita la comprobación de fenómenos ya contemplados con anterioridad. Además, la entrevista también es muy útil cuando se trata de obtener información de segunda mano, esto es, cuando va acompañada de la interpretación que otros investigadores hacen del mismo fenómeno que se está investigando.” (p. 232)

Según lo citado anteriormente, es de importancia la aplicación de una entrevista en el presente proyecto, para poder determinar datos relacionados al funcionamiento del equipo los cuales no pueden ser obtenidos de la primera herramienta aplicada.

### **3.4 VARIABLES Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.4.1 Definición de variables.**

(Muñoz, 2011) cita lo siguiente “Junto con el establecimiento de la hipótesis a comprobar se establecen las variables de estudio, que propiamente son aquellos fenómenos, características, cualidades, atributos, rasgos o propiedades que son de interés para el investigador y cuya variación es susceptible de medición. Las variables adoptan diferentes valores, magnitudes o intensidades dentro de un grupo de elementos a considerar en la hipótesis. Sin embargo, ciertas variables también pueden adoptar cualidades y calificativos de difícil medición.” (p. 149)

Mientras tanto (Niño, 2011) la expresa de la siguiente manera, “entendemos por variable cada una de las características o propiedades del objeto estudiado en una investigación, las cuales pueden tomar diferentes valores. El sentido de valor es amplio, cubre no sólo lo cuantitativo, sino también lo cualitativo. Así “el color de los ojos” es una variable, pues es posible que sean negros, verdes, grises, castaños, etcétera. Se trata de una variable de tipo cualitativo. El peso o medida de algo, en cambio, será una variable de carácter cuantitativo, pues admite una escala numérica.” (p.59). Con base en lo anterior citado, se presenta a continuación en la Tabla 1- Variables de la investigación, las variables que se pretenden medir dentro de la investigación de este proyecto, mismo que abarca cada una de ellas.

<b>Objetivo Especifico</b>	<b>Variable</b>	<b>Definición</b>
<b>Definir</b> los tipos de instrumentación de medición y comunicación necesarios, en base a los productos que se almacenan.	Tipo de instrumentación y medición a utilizar.	Parámetros relevantes para la escogencia del instrumento.
<b>Analizar</b> el funcionamiento del sistema actualmente instalado de acuerdo a las guías y normativas vigentes.	Estado del sistema actualmente instalado	Listado de las características actuales del sistema.
<b>Establecer</b> los niveles de sobrellenado para cada tanque de almacenamiento de productos derivados del petróleo.	Niveles de óptimos de operación.	Establecer la altura del instrumento de medición a la cual se pueden tomar medidas de prevención.
<b>Diseñar</b> una nueva interfaz humano-máquina (HMI) para el nuevo sistema de sobrellenado de tanques.	HMI de alto rendimiento.	Interfaz Humano-Máquina que cumpla con los estándares de alto desempeño.
<b>Evaluar</b> el funcionamiento del nuevo sistema de prevención de sobrellenado propuesto.	Desempeño del nuevo sistema.	Evaluación de nuevo sistema comparando resultados versus el sistema actualmente instalado.

*Tabla 1- Variables de la investigación.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

## **Diseño de investigación.**

Según (Niño, 2011), “el diseño se puede interpretar de una de las dos maneras: en un sentido amplio, y en un sentido específico. En el sentido amplio, diseño equivale a la concepción de un plan que cubra todo el proceso de investigación, en sus diversas etapas y actividades comprendidas, desde que se delimita el tema y se formula el problema hasta cuando se determinan las técnicas, instrumentos y criterios de análisis” (p.53).

Y según Hernández Sampieri expresa que “Una vez que se precisó el planteamiento del problema, se definió el alcance inicial de la investigación y se formularon las hipótesis (o no se establecieron debido a la naturaleza del estudio), el investigador debe visualizar la manera práctica y concreta de contestar las preguntas de investigación, además de cumplir con los objetivos fijados. Esto implica seleccionar o desarrollar uno o más diseños de investigación y aplicarlos al contexto particular de su estudio. El término **diseño** se refiere al plan o estrategia concebida para obtener la información que se desea con el fin de responder al planteamiento del problema (Wentz, 2014; McLaren, 2014; Creswell, 2013a, Hernández-Sampieri et al., 2013 y Kalaian, 2008).” (p. 128).

Con base a lo anterior citado se entiende que el diseño de la investigación es toda aquella planificación y desarrollo que se debe realizar para llevar a cabo la concreción de los objetivos planteados.

## **CAPÍTULO IV**

### **DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL**

## **4.1 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL**

El sistema de prevención de sobrellenado de tanques es una herramienta que se encarga de tomar una determinada señal de campo, interpretarla y enviar una señal de alarma a el cuarto de control de operadores del departamento de proceso, lugar en donde se monitorean las importaciones de productos por medio de la tubería de importación, así como trasiegos de los productos para que este personal tome las medidas de paro de importación o trasiego y cierre manual de válvulas.

Actualmente Recope no cuenta con el funcionamiento del sistema de prevención de sobrellenado de tanques, el cual brinda el aviso mediante alarmas en pantallas y en el campo y como punto de partida de la investigación, se tomó la tarea de verificar el funcionamiento del sistema de prevención de sobrellenado instalado previamente.

Se parte del hecho del mal funcionamiento del HMI instalado en el equipo del cuarto de control de los operadores del departamento de Procesos industriales, los cuales se encargan del trasiego e importación de productos en los tanques del plantel.

En esta oficina se encuentra el gabinete de comunicación del sistema, así como las pantallas para el HMI diseñado para el actual sistema de prevención de sobrellenado.

## **4.2 RECOLECCIÓN DE DATOS**

La recolección de datos se basa en la obtención y documentación del funcionamiento general del sistema actual implementado en la empresa, observando la funcionalidad sistema por sectores de modo que se pueda verificar el estado de los instrumentos de campo, acceso a los datos, funcionamiento del HMI y alarmas audiovisuales.

### **4.2.1 Observación.**

#### **Instrumentación de medición.**

Según la delimitación del presente proyecto, se tomaron en cuenta tres tanques de la zona de Espuma. Cada uno de estos tanques presenta distintos instrumentos de medición de sobrellenado los cuales fueron evaluados por medio de una tabla con características importantes que definen su desempeño (ver ANEXO 2). Los instrumentos evaluados se presentan a continuación:

#### **Tanque YT-7135.**

Este es un tanque de construcción vertical el cuál anteriormente tenía el nombre TK-705, utilizado para el almacenaje de gasolina Superior y como tal presenta una construcción interna de techo flotante, de acuerdo a esto se encuentran instalados dos instrumentos en el tanque, el primero es un interruptor magnético marca Morbey, el cual cuenta con dos pares de relays. Estos pares son opuestos, de forma que uno representa un contacto normalmente abierto y otro un contacto normalmente cerrado. El otro par de relays se ubica a un nivel superior el cual puede ser ajustado.

Según las observaciones aplicadas en el interruptor magnético, se puede se determinó que el estado y funcionamiento de los relays del instrumento se encuentran en un estado óptimo, dado que se midió la continuidad con el uso de un multímetro. También se determinó que las conexiones a los interruptores magnéticos no estaban cableadas de manera apropiada ya que el primer relay en accionarse, corresponde al canal 2 del instrumento y se encuentra físicamente en segundo nivel de acción del interruptor magnético marca Morbey. Se determinó también un buen acceso al instrumento, aunque no así el estado físico del mismo, ya que fue difícil la apertura de su carcasa.

La distancia del cable desde la base de la pesa hasta el punto exacto en donde el interruptor cambia de estado por la acción del magnetismo es de 1850 milímetros.

Conectado al interruptor magnético, se tiene un transmisor discreto inalámbrico marca Rosemount modelo 702, el cual según las observaciones presenta una buena instalación a una altura de un metro con respecto al techo del tanque, con conexiones cableadas en buen estado, pero sin terminales. El instrumento no presenta el módulo de alimentación necesario para que el transmisor entre en operación e ingrese a la red, por esta razón no se pueden ver parámetros en la pantalla del instrumento. Cabe mencionar que el instrumento presenta un buen estado de su hardware.

Con la finalidad de mostrar la información más detallada del instrumento instalado en el tanque, se presenta a continuación una tabla que especifica las características del instrumento según el fabricante.

## TRANSMISOR DISTRETO 702

Posición	Característica	Variable	Descripción
1	Modelo	<b>702</b>	Transmisor discreto
2	Tipo de transmisor	<b>D</b>	Montaje inalámbrico de campo
3	Salida	<b>X</b>	Inalámbrica
4	Medición	<b>32</b>	Entrada discreta dual (contacto seco), detecta entradas momentáneas y conteos
5	Carcasa	<b>D</b>	Carcasa de doble compartimiento: aluminio
6	Roscas de conducto	<b>1</b>	½-14 NPT
7	Certificación	<b>I5</b>	Intrínsecamente seguro, no inflamable y a prueba de polvos combustibles según EE. UU.
8	Tasa de actualización inalámbrica, frecuencia operativa y protocolo	<b>WA3</b>	Tasa de actualización configurable por el usuario, 2,4 GHz DSSS, IEC 62591 WirelessHART®
9	Antena inalámbrica omnidireccional y soluciones SmartPower	<b>WM1</b>	Rango extendido, antena externa, adaptador para módulo de alimentación negro (el módulo de alimentación I.S.
10	Pantalla	<b>M5</b>	Pantalla LCD
11	Soporte de montaje	<b>B4</b>	Soporte de montaje universal en forma de L para montaje en ductos de 2 in, soporte y pernos de acero inoxidable
12	Prensaestopas	<b>G2</b>	Prensaestopas (7,5-11,9 mm)

*Tabla 2- Características del transmisor discreto 702.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

**Tanque YT-7327.**

Este es un tanque de construcción vertical de techo fijo de tipo domo utilizado para almacenar Diesel, en el cual se utiliza el sensor de sobrellenado de horquilla vibratoria marca Rosemount modelo 2160, el cual se encuentra ubicado a una altura aproximada de un metro con respecto a la base metálica que forma parte de la construcción del tanque.

El instrumento presenta daños en la pantalla lo cual dificulta la observación de parámetros del mismo. El módulo de alimentación del instrumento se encuentra en buen estado y con una carga óptima, así como el estado y el acceso a su hardware. La barra de V invertida para la indicación de conexión a la red no se encuentra llena y tampoco se encuentra conectado a la red según el estado de la red.

Con respecto al modelo de etiqueta presentado en el instrumento, se tiene la siguiente información

Con la finalidad de mostrar la información más detallada del sensor de horquilla instalado en el tanque, se presenta a continuación una tabla que especifica las características del instrumento según el fabricante.

## INTERRUPTOR TIPO HORQUILLA 2160

Posición	Característica	Variable	Descripción
1	Modelo	2160	Interruptor de nivel vibratorio tipo horquilla para medir el nivel de líquidos
2	Salida	X	Inalámbrico
3	Material de la carcasa	D	Carcasa de compartimento doble – Aluminio
4	Entrada de conducto/rosas de cable	8	Rosca de 1/2 pulg. NPT
5	Temperatura de funcionamiento	S	Estándar: –40 °C (–40 °F) ...150 °C (302 °F)
6	Material de construcción: Conexión a proceso/horquilla	S	Acero inoxidable 316/316L (1.4401/1.4404)
7	Diámetro de la conexión al proceso	2	50 mm/2 pulg. (DN50)
8	Clasificación de las conexiones al proceso	AA	Brida ASME B16.5 clase 150
9	Tipo de conexión a proceso	R	Brida RF
10	Longitud de la horquilla	M	Longitud extendida especificada por el cliente en milímetros
11	Longitud de la horquilla extendida específica	2243	Longitud especificada por el cliente en décimas de pulgadas o milímetros (xxxx mm o xxx,x pulgadas)
12	Acabado de superficie	1	Acabado de superficie estándar
13	Certificaciones del producto	I5	Seguridad intrínseca según FM
14	Velocidad de actualización, frecuencia operativa y protocolo inalámbrico	WA3	Velocidad de actualización, frecuencia operativa y protocolo inalámbrico
15	Antena Wireless omnidireccional y SmartPower	WK1	Adaptador del módulo de alimentación de larga duración, de gran cobertura, con antena integral e intrínsecamente seguro (módulo de alimentación separado)
16	Medidor	M5	Indicador LCD
17	Certificación de datos de calibración	Q4	Certificado de prueba funcional

Tabla 3- Características de interruptor tipo horquilla.

Fuente: Elaborado por el autor.

**Tanque YT-7312.**

Este tanque presenta una construcción vertical de techo fijo, en el cual se tienen instalados el transmisor de temperatura Rosemount 2240S, sensor de radar Rosemount 5900S en su configuración de dos en uno, concentrador de tanques Rosemount modelo 2410 y adaptador Thum marca Rosemount modelo 775.

La conexión que forma parte del sistema de prevención de sobrellenado consta de uno de los módulos de electrónicos independientes integrado en el instrumento de medición por radar 5900S, conectado a un Tank Hub 2410 y un Adaptador Thum. Se desconoce el modelo del adaptador y el medidor de nivel debido al deterioro de las placas de información de los instrumentos.

El concentrador de tanques 2410 funge como fuente de alimentación para el módulo electrónico de la antena de medición y para el adaptador Thum, pero este se encuentra desconectado de la alimentación eléctrica y sin el mantenimiento apropiado.

Según la placa de especificación correspondiente al Tank Hub, se encuentran discordancias en relación a las funciones y características que presenta el equipo como lo son las salidas analógicas que se necesitan para transmitir por medio del protocolo HART.

Con la finalidad de mostrar la información más detallada Tank Hub 2410 instalado para el tanque, se presenta a continuación una tabla que especifica las características del instrumento según el fabricante.

<b>TANK HUB 2410</b>			
<b>Posición</b>	<b>Característica</b>	<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>
<b>1</b>	Modelo	<b>2410</b>	Concentrador de tanques
<b>2</b>	Tankbus: cantidad de tanques	<b>5<sup>(1)</sup></b>	Un solo tanque
<b>3</b>	Tankbus: alimentación y comunicación	<b>F</b>	Fuente de alimentación FOUNDATION™ Fieldbus (IEC 61158) intrínsecamente segura
<b>4</b>	Fieldbus principal	<b>4</b>	TRL2 Modbus
<b>5</b>	Fieldbus secundario	<b>0</b>	Ninguna
<b>6</b>	Certificación de seguridad (SIS)	<b>3<sup>(2)(3)</sup></b>	Certificación IEC 61508 SIL 3 (utilizando 1xSPST de relé, estado sólido. La certificación es válida solo cuando se conecta a un Rosemount 5900 certificado para seguridad de acuerdo con el manual de referencia).
<b>7</b>	Salida de relé	<b>0</b>	Ninguna
<b>8</b>	Pantalla integral	<b>0</b>	Ninguna
<b>9</b>	Fuente de alimentación	<b>P</b>	Ninguna
<b>10</b>	Firmware	<b>S</b>	Estándar
<b>11</b>	Certificación de ubicaciones peligrosas	<b>E5</b>	Antideflagrante según FM-US
<b>12</b>	Aprobación de tipo de transferencia de custodia	<b>R<sup>(4)</sup></b>	Certificación de funcionamiento OIML R85 E 2008
<b>13</b>	Carcasa	<b>A</b>	Aluminio (cubierto con poliuretano), IP 66/67
<b>14</b>	Conexiones de cables/conductos	<b>1</b>	Rosca hembra de NPT de ½-14 y NPT de ¾-14
<b>15</b>	Instalación mecánica	<b>P</b>	Kit de montaje para instalación en pared y tuberías (tuberías horizontales o verticales de 1-2 in)

*Tabla 4- Características del Tank Hub 2410.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

- (1) Es compatible con un medidor Rosemount 5900S 2 en 1 o hasta dos medidores estándar Rosemount 5900.
- (2) Requiere fieldbus secundario código 0 o fieldbus secundario código W, C, D, 8, 9 y fieldbus primario código 4.
- (3) B23Requiere la cantidad de tanques código S.
- (4) Requiere un medidor de nivel por radar Rosemount 5900S con la correspondiente aprobación de tipo de transferencia de custodia.

**Comunicación.**

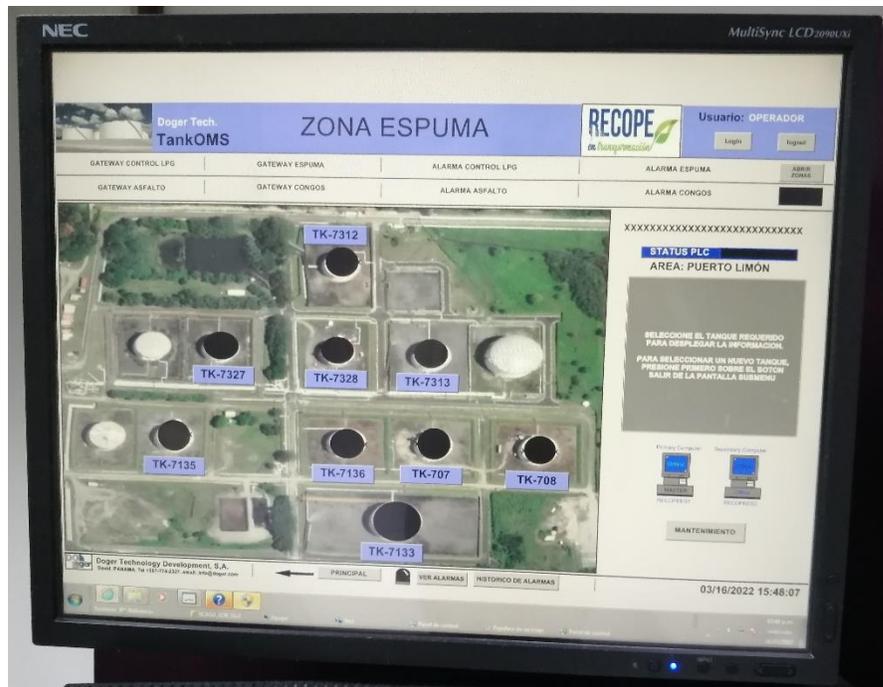
Se logró acceder al Gateway correspondiente a la zona de Espuma por medio de la dirección IP y la clave proporcionada por la empresa. Con esto se tiene la certeza de que existe el servicio de comunicación remota desde cualquier lugar al Gateway de la zona de Espuma.

**Gateway Smart Wireless 1420.**

El instrumento se encuentra instalado en la caseta de la zona de Espuma, a una altura de menos de un metro con respecto al suelo. Un segundo Gateway fue instalado en la caseta como par redundante sin conexión a tierra, esta redundancia no está habilitada en el entorno Web. A pesar de establecer la comunicación con el Smart Gateway, no se tienen datos de los sensores, presentándose estos como no reconocidos por el Gateway.

**Interfaz Humano-Máquina (HMI).**

El HMI instalado en el equipo del departamento de Procesos no muestra la información deseada del sistema, únicamente imágenes correspondientes a una vista aérea de las zonas del plantel. Al interactuar con la pantalla mostrada, no despliega ninguna información del sistema.



*Ilustración 21- HMI del sistema actual, zona Espuma*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

#### **4.2.2 Entrevista.**

Se realizó una entrevista a dos funcionarios de Recope los cuales tienen conocimiento del actual sistema de sobrellenado en relación a sus funciones (ver Anexo 2). El primero es un operario el departamento de instrumentación, el segundo es un operario del departamento de procesos.

Para la primera pregunta sobre cuáles son las diferentes zonas de inventario se tiene un conocimiento por parte de los dos operadores de cuáles son las zonas, diferenciando las mismas entre Zona de LPG, Zona Espuma, Zona Asfalto y Zona LPG, haciendo mención en que se diferencian en ubicación.

La segunda pregunta fue respondida con los nombres de los distintos productos que se almacenan en el plantel como lo son las gasolinas Superior y Plus, Diesel, Búnker, IFOS, Gasóleo, Asfalto, LPG, Jet-Fuel, MTBE y Etanol.

La tercera pregunta fue contestada con los tipos de estructuras de almacenamiento esferas, tanques de domo y tanques de techo fijo o sencillo.

Los tanques que pertenecen a la Zona Espuma son los YT-704, YT-7135, YT-7136, 7137, YT-7138, YT-7133, YT-732, YT-7328, YT-7327, YT-7312, YT-7313.

El actual sistema de sobrellenado se encuentra desconectado, no está funcional, y se desconoce por qué no está en funcionamiento.

El sistema de prevención de sobrellenado de tanques es importante ya que se pueden prevenir accidentes que perjudiquen el medio ambiente, y es una herramienta que

sirve de apoyo para desempeñar el llenado de tanques en la importación de diferentes productos.

El principio de funcionamiento del actual sistema de prevención de sobrellenado de tanques se resume en evitar pérdidas por derrames.

Según la entrevista realizada, el actual sistema de sobrellenado fue instalado entre nueve y dos años y medio.

Los tanques que actualmente cuentan con la instrumentación del sistema de prevención de sobrellenado según el operario de mantenimiento son los YT-7135, 7137, YT-7138, YT-7133, YT-7328, YT-7327, YT-7312, YT-7313. Mientras que el operario del departamento de Procesos indica que son los YT-7135, YT-7136, 707, YT-708, YT-7328, YT-7327, YT-7312, YT-7313.

Entre las diferentes funciones que debe cumplir el sistema de sobrellenado deben estar las alarmas oportunas, históricos, direcciones claras, opción para reconocer alarmas.

#### **4.2.3 Análisis de datos.**

Dada la información obtenida por los instrumentos para la recolección de datos de la presente investigación, se plantean tres opciones para llevar a cabo la optimización del presente sistema de prevención de sobrellenado.

- La primera opción se basa en reutilizar el mismo equipo de campo que cumple con la función de obtener los datos de niveles de sobrellenado de tanques, así como los equipos necesarios para la obtención de dichos datos a través de la red

empresarial, logrando con esto, utilizar el entorno de programación gráfica LabVIEW, con el cual se pueden acceder a los registros Modbus del Smart Gateway y desarrollar el HMI de la planta. Esta opción se ve descartada por la necesidad de la compra de la licencia de LabVIEW, lo cual no está contemplado por la empresa.

- La segunda opción se basa en reutilizar el mismo equipo de campo que cumple con la función de obtener los datos de los equipos de medición sobrellenado de tanques, así como los equipos necesarios para la obtención de dichos datos a través de la red empresarial, también se plantea la compra y programación de un Raspberry pi con el cual se plantea leer los registros Modbus del Smart Gateway y desarrollar un el HMI en la plataforma que se desee.

Esta opción se ve descartada por la necesidad de compra de equipo como el propio Raspberry pi y posibles accesorios, así también baja escalabilidad que presentaría el sistema cuando esté implementado.

- La tercera opción se basa en reutilizar el mismo equipo de campo que cumple con la función de obtener los datos de los equipos de medición de sobrellenado de tanques, así como los equipos necesarios para la obtención de dichos datos a través de la red empresarial, juntamente con esto se plantea la utilización de la plataforma Ignition con la finalidad de desarrollar el HMI de la planta.

Esta opción es la que se pretende desarrollar ya que la empresa cuenta con la licencia de la plataforma, presenta alta escalabilidad y se pueden conectar múltiples dispositivos en un mismo proyecto.

### **4.3 VALIDACIÓN DE LOS DATOS**

Con respecto a la información obtenida por medio de los instrumentos de recolección de datos, se demuestra que:

Se presentan inconsistencias en la información mostrada en el HMI actual con respecto a los tanques de la zona.

Se presenta la inactividad del HMI actual debido a que éste obtiene los datos de un PLC marca General Electric, del cual no se tiene la licencia de programación, ni código de respaldo.

Se presentan problemas de redundancia en los Gateways de la caseta de Espuma.

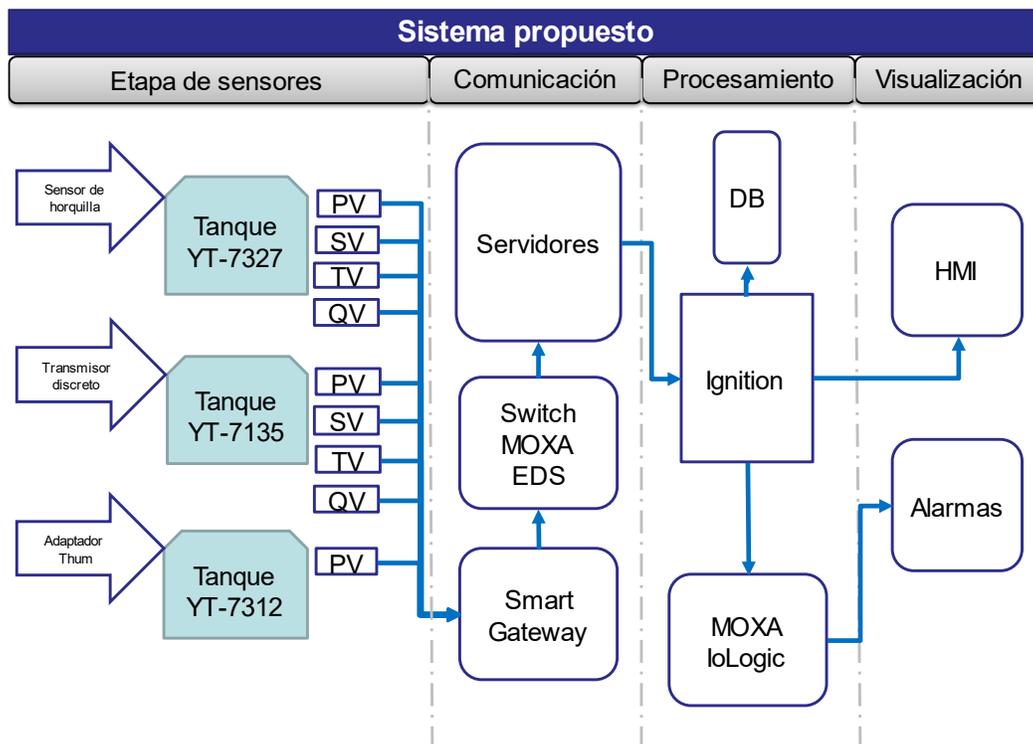
Algunos instrumentos de medición presentan deterioro por falta de mantenimiento.

No se tiene documentación de la configuración realizada en los instrumentos, por ejemplo, del tanque YT-7312.

## DESARROLLO DEL PROYECTO

### 4.4 PROPUESTA DEL PROYECTO.

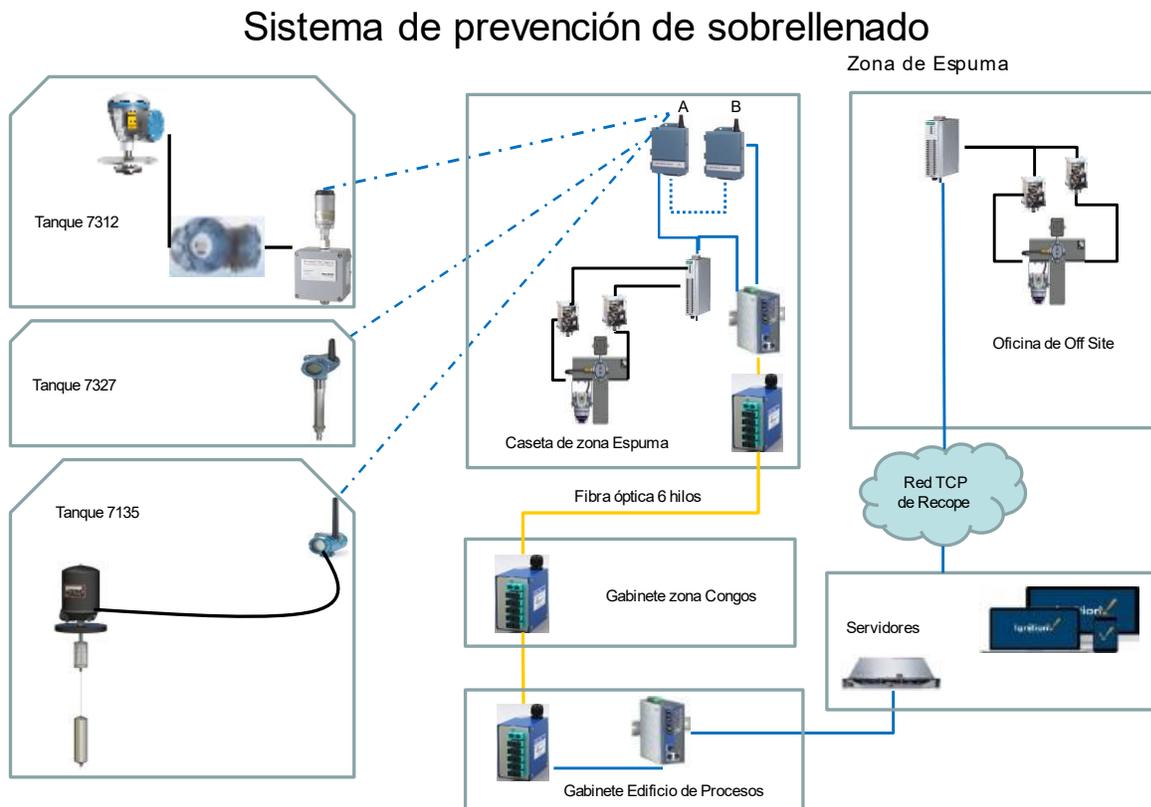
Con la finalidad de representar el funcionamiento del proyecto planteado, se presenta a continuación la imagen correspondiente al sistema propuesto, en el cual se detallan a etapas que lo conforman.



*Ilustración 22- Prototipo del sistema.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

A continuación, se tiene a detalle el diagrama descrito anteriormente, presentando los componentes del sistema que se pretende reutilizar.



*Ilustración 23- Esquema de la zona de Espuma.*

*Fuente: Elaborado por el autor*

## **CAPÍTULO V**

### **DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO**

## 5.1 ASPECTOS DE DISEÑO

La propuesta del presente proyecto consiste en optimizar el sistema de prevención de sobrellenado instalado en el plantel, reutilizando toda la instrumentación que se encuentra en buen estado del anterior proyecto, con la finalidad de minimizar costos de implementación haciendo un uso eficiente del equipo instalado en campo.

En base a lo anterior se estableció una reunión con el supervisor del departamento de instrumentación de la empresa para definir las tareas a realizar en el campo y solicitar los permisos respectivos para cada labor, así como las limitaciones del presente proyecto que dieron lugar al cómo abordar cada sección del mismo a la hora de replicar la propuesta.

Al respecto, se estableció verificar el funcionamiento de cada instrumento de medición planteado en el presente proyecto, brindando mantenimientos preventivos a los equipos que lo necesitan y realizando los respectivos cambios en la configuración de los instrumentos de medición transmisión de datos. Abonado a esto se plantea desarrollar el HMI del sistema de prevención de sobrellenado en base a la norma ANSI/ISA-101.01-2015 y a el criterio de los operarios de la empresa, verificando además los datos en tiempo real para determinar las funciones del sistema propuesto.

## 5.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.

El desarrollo de la propuesta del proyecto para la optimización del sistema de prevención de sobrellenado, consiste en la el diseño de un HMI de alto desempeño basado en la norma ANSI/ISA-101.01-2015, para esto se inicia con la obtención de la información referente a los sensores de medición instalados en cada tanque de la planta, tales como las características físicas que determinan la altura a la cual se encuentran con respecto al nivel de sobrellenado correspondiente a la tabla de calibración del tanque. Así también como la configuración que debe tener cada instrumento según la hoja de datos del fabricante para lograr una conexión satisfactoria con la red del sistema.

Para lograr la configuración tanto del sensor de medición de tipo horquilla, así como el transmisor discreto, se utilizaron los comunicadores de campo 475 y AMS Trex de Emerson, los cuales se conectan por medio de sus pines de comunicación del protocolo HART con los pines de configuración de cada instrumento, para así configurar el tipo de salidas que presenta cada sensor.

En este capítulo se detalla el procedimiento para la construcción del prototipo del sistema de prevención de sobrellenado que permite con certeza tener una apropiada configuración de equipos, analizando la funcionalidad de los componentes del sistema. Para lograrlo, se establecieron etapas, estas son, etapas de sensores, comunicación, procesamiento y visualización, las cuales individualmente brindan al sistema las funciones requeridas para cumplir con las metas fijadas.

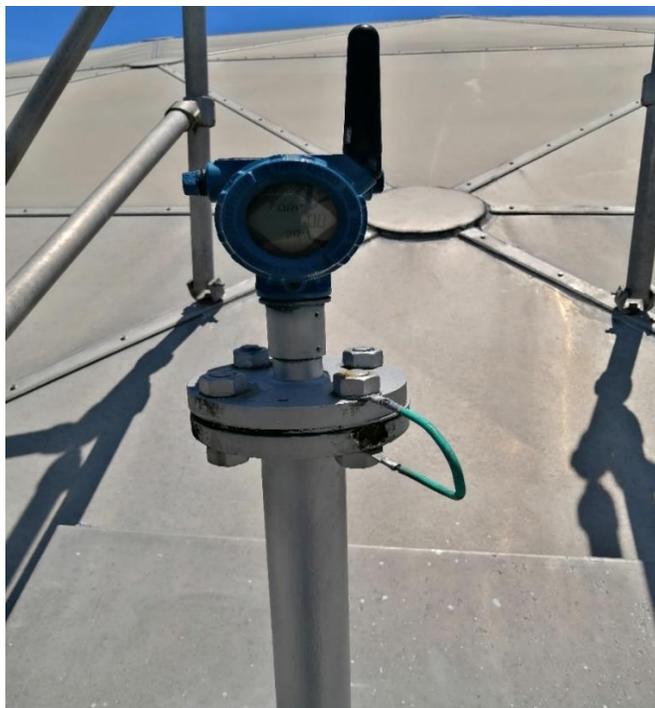
Las etapas que componen el presente proyecto se describen a continuación.

### **5.2.1 Etapa de sensores.**

En esta etapa se describen los sensores utilizados en el presente proyecto, el trabajo realizado y sus funciones con las cuales se pretende cumplir con las metas fijadas.

#### **Sensor de horquilla.**

El sensor 2160 de horquilla de la marca Rosemount está instalado en el techo del tanque YT-7327, con el cual se obtiene la información en cuatro diferentes variables que corresponden a el estado del instrumento y el nivel de sobrellenado. Se realizó la medición del largo del instrumento y este presenta una longitud de 2243 milímetros desde la base del sensor hasta la punta del mismo. Esta medida debe ser tomada en cuenta por la empresa.



*Ilustración 24- Sensor de horquilla 2160.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

El instrumento presentaba daños en la pantalla de visualización, por lo cual se realizó el respectivo cambio. Se realizó la respectiva configuración del instrumento en base a la Guía de inicio rápido 00825-0109-4160, Rev BA diciembre de 2014, brindada por el fabricante, configurando así, la ID y el Join Key de la red de la zona de Espuma según el Smart Gateway.

Para efectos del presente proyecto se determina que las variables transmitidas brindan la información necesaria para presentar un control idóneo del instrumento y de sobrellenado del tanque, las mismas se presentan a continuación:

- Variable primaria (PV).

La variable primaria corresponde al estado de salida del interruptor de horquilla, el cual se puede expresar como un dato tipo float de 0,0 para un estado seco, o un 1,0 para un estado mojado, haciendo referencia este último al contacto de la horquilla vibratoria con el Diesel que se almacena en el tanque.

- Variable secundaria (SV).

La frecuencia natural de oscilación a la cual vibra la horquilla del sensor, corresponde a la variable secundaria, la cual se mide en Hertz y es transmitida por el sensor hacia el Smart Gateway.

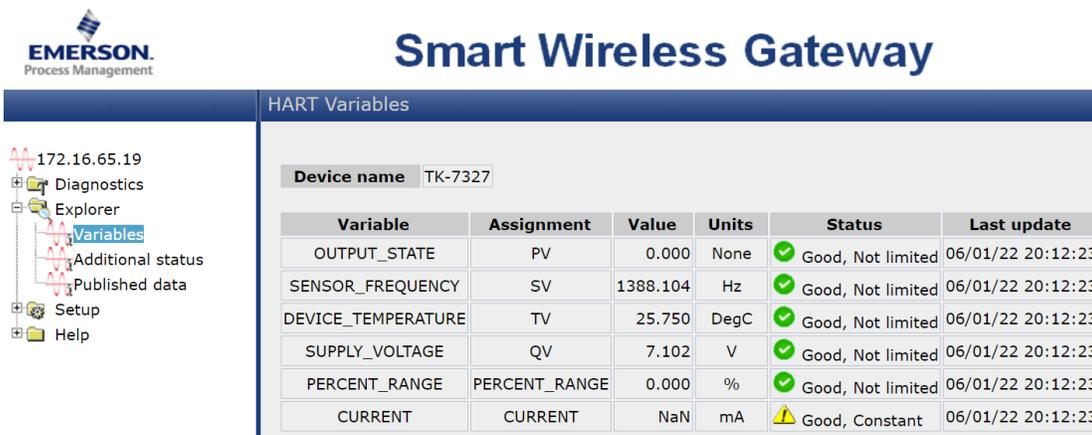
- Variable ternaria (TV).

La variable ternaria corresponde a la temperatura del interior del instrumento, la cual se puede monitorear con la finalidad de hacer un seguimiento del estado del instrumento.

- Variable cuaternaria (QV).

La variable cuaternaria transmitida por el instrumento corresponde al voltaje suministrado por el módulo de alimentación el cual contiene dos baterías de tamaño tipo "C" de cloruro de litio-tionilo, dicha variable es de suma importancia debido a se puede conocer el tiempo de vida del módulo.

A continuación, se muestran las variables correspondientes al sensor de horquilla:



**EMERSON**  
Process Management

## Smart Wireless Gateway

HART Variables

Device name: TK-7327

Variable	Assignment	Value	Units	Status	Last update
OUTPUT_STATE	PV	0.000	None	Good, Not limited	06/01/22 20:12:23
SENSOR_FREQUENCY	SV	1388.104	Hz	Good, Not limited	06/01/22 20:12:23
DEVICE_TEMPERATURE	TV	25.750	DegC	Good, Not limited	06/01/22 20:12:23
SUPPLY_VOLTAGE	QV	7.102	V	Good, Not limited	06/01/22 20:12:23
PERCENT_RANGE	PERCENT_RANGE	0.000	%	Good, Not limited	06/01/22 20:12:23
CURRENT	CURRENT	NaN	mA	Good, Constant	06/01/22 20:12:23

*Ilustración 25- Variables del sensor 2160.*

*Fuente: elaborado por el autor.*

### Transmisor discreto.

El transmisor discreto 702 de la marca Rosemount en conjunto con el interruptor magnético Morbey, están instalados en el techo del tanque YT-7135, con los cuales se obtiene la información en cuatro diferentes variables que corresponden a el estado del instrumento, así como el nivel de sobrellenado.



*Ilustración 26- Conexión del transmisor discreto 702.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

El interruptor magnético presentaba deterioro en los contactos de sujeción de cables, por lo cual se determinó necesario brindarle el mantenimiento respectivo y realizar el cambio de los mismos. A demás se midió la distancia desde la base de la pesa hasta la base del sensor en donde por la acción del resorte se accionan los relays y se habilita el cambio de estado del transmisor discreto, esta medida fue de 1850 milímetros y debe ser tomada en cuenta por la empresa.



*Ilustración 27- Conexiones del interruptor magnético Morbey.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

Para efectos del presente proyecto se determina que las variables transmitidas brindan la información necesaria para presentar un control idóneo del instrumento y de sobrellenado del tanque, las mismas se presentan a continuación:

- Variable primaria (PV).

La variable primaria corresponde al canal 1 del transmisor discreto, el cual está conectado a el primer relay del interruptor magnético, en su contacto normalmente abierto. Una vez se alcance el nivel se sobrellenado, por la acción magnética del interruptor se cerrará el contacto del relay, lo cual será detectado por el transmisor discreto cambiará el estado del canal de un 0,0 correspondiente a un estado seco,

a un estado de 1,0 que corresponde a un estado mojado. Ambos datos de tipo float.

- Variable secundaria (SV).

La variable secundaria corresponde al canal 2 del transmisor discreto, el cual está conectado a el segundo relay del interruptor magnético, en su contacto normalmente abierto. Una vez se alcance el nivel se sobrellenado, por la acción magnética del interruptor se cerrará el contacto del relay, lo cual será detectado por el transmisor discreto el cual cambiará el estado del canal 2 de un 0,0 correspondiente a un estado seco, a un estado de 1,0 que corresponde a un estado mojado. Ambos datos de tipo float.

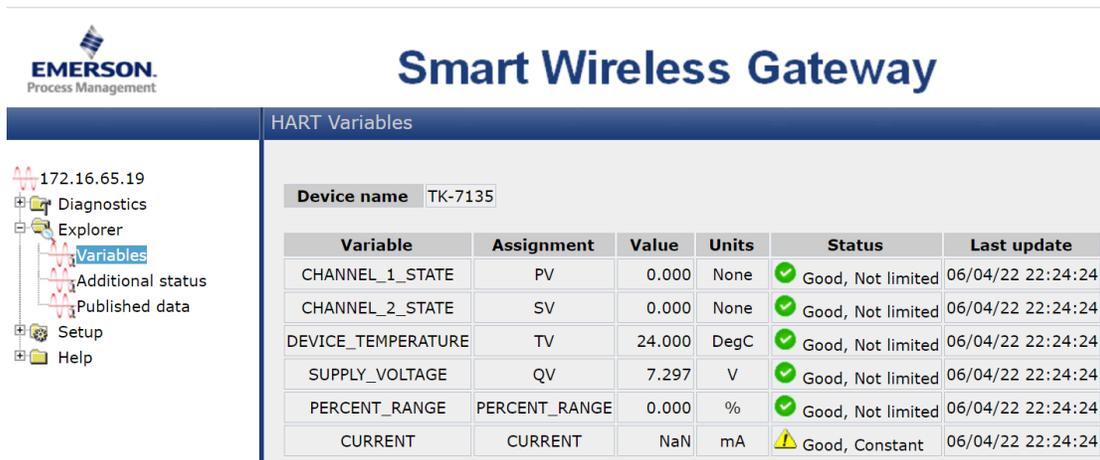
- Variable ternaria (TV).

La variable ternaria corresponde a la temperatura del interior del instrumento, la cual se puede monitorear con la finalidad de dar un seguimiento del estado del instrumento.

- Variable cuaternaria (QV).

La variable cuaternaria transmitida por el instrumento corresponde al voltaje suministrado por el módulo de alimentación el cual contiene dos baterías de tamaño tipo “C” de cloruro de litio-tionilo, dicha variable es de suma importancia debido a se puede conocer el tiempo de vida del módulo.

A continuación, se muestran las variables correspondientes al transmisor discreto.



The screenshot shows the Emerson Smart Wireless Gateway interface. On the left is a navigation tree with the following items: 172.16.65.19, Diagnostics, Explorer, Variables (highlighted), Additional status, Published data, Setup, and Help. The main area is titled 'HART Variables' and displays the device name 'TK-7135'. Below this is a table with the following data:

Variable	Assignment	Value	Units	Status	Last update
CHANNEL_1_STATE	PV	0.000	None	Good, Not limited	06/04/22 22:24:24
CHANNEL_2_STATE	SV	0.000	None	Good, Not limited	06/04/22 22:24:24
DEVICE_TEMPERATURE	TV	24.000	DegC	Good, Not limited	06/04/22 22:24:24
SUPPLY_VOLTAGE	QV	7.297	V	Good, Not limited	06/04/22 22:24:24
PERCENT_RANGE	PERCENT_RANGE	0.000	%	Good, Not limited	06/04/22 22:24:24
CURRENT	CURRENT	NaN	mA	Good, Constant	06/04/22 22:24:24

*Ilustración 28- Variables del transmisor discreto 702.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

### **5.2.2 Comunicación.**

En esta etapa se describe la instrumentación necesaria reutilizada que fue necesaria para llevar a cabo la transmisión de datos, así como las funciones de cada instrumento reutilizado.

Por temas de restricción de datos con respecto al plano eléctrico del gabinete de comunicación de la zona de espuma, no se presentará dicho plano, sin embargo, se puede describir a grandes rasgos que se tiene instalado en la caseta de Espuma, el gabinete de comunicación del sistema de sobrellenado correspondiente a la zona, en el cual se presenta la conexión de una fuente supresora a la cual ingresan dos líneas de 120 voltios cada una, y salen dos líneas correspondientes a los pines de carga de la fuente. Estas llegan independientemente a dos bloques de conexiones.

De cada uno de los bloques de conexiones, salen dos líneas que alimentan independientemente a dos fuentes de poder con salida de 24 voltios corriente directa por los terminales L1. De la misma manera salen otras dos líneas para alimentar las mismas fuentes por el terminal L2 de cada una. De esta manera se tiene una alimentación de ambas fuentes de 240 voltios, con una salida en ambas fuentes de 24 voltios corriente directa.

Las salidas de 24 voltios de cada fuente entran a alimentar un módulo de redundancia QUINT ORING1, el cual se encarga de monitorear la redundancia de las fuentes de 24 voltios. La salida de 24 voltios del módulo de redundancia pasa

por un portafusibles y la salida de este se conecta a dos bloques de conexiones que corresponden a las dos polaridades del módulo de redundancia.

De los bloques de conexiones se logra alimentar a los demás elementos del sistema que se encuentran integrados en el gabinete de comunicaciones, como lo son los Gateways, los dos switches, o el sistema de alarma. A continuación, se muestra en la imagen el gabinete de comunicaciones de la zona de Espuma.



*Ilustración 29- Gabinete de comunicación Zona Espuma.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

### **Smart Gateway 1420.**

El Smart Gateway 1420 de la marca Rosemount tiene entre sus funciones principales, la de almacenar en sus registros Modbus las variables provenientes

de los sensores, y establecer la comunicación entre un sistema host y los dispositivos de medición en el campo.

Se midió la tensión de entrada de ambos Gateway para comprobar el estado de la alimentación de 24 voltios brindada por el sistema eléctrico.

Así como la conexión entre el Gateway A y el Gateway B, los cuales se conectan por medio de un cable UTP en configuración crossover según la recomendación de fábrica para sistemas redundantes. Dicho sistema presenta fallos de comunicación, los cuales fueron remitidos a departamento de soporte del fabricante.



*Ilustración 30- Smart Gateway 1420.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

Se realizaron cambios en la configuración del Smart Gateway para la representación de datos de punto flotante, esto con la finalidad obtener los datos de los registros Modbus del instrumento. Así mismo se revisó el resto de la

configuración según los manuales de usuario, validando datos como puerto, tasa de baudios, bit de parada, entre otros parámetros.

The screenshot displays the 'Modbus Communication' configuration page in the Smart Wireless Gateway web interface. The interface includes a navigation tree on the left and a main configuration area on the right. The configuration area is divided into several sections:

- Modbus Address:** Radio buttons for 'One Modbus Address' (selected) and 'Multiple Modbus Addresses'. A text box contains the value '1'.
- Modbus TCP Port:** A text box contains the value '502'.
- Respond when running as redundant standby?:** Radio buttons for 'Yes' and 'No' (selected).
- Baud Rate:** A dropdown menu is set to '19200'.
- Parity:** Radio buttons for 'None', 'Even' (selected), and 'Odd'.
- Stop Bits:** Radio buttons for '1' (selected) and '2'.
- Response delay time (ms):** A text box contains the value '10'.
- Unmapped register read response?:** Radio buttons for 'Zero fill' (selected) and 'Illegal data addr'.
- Unmapped register write response?:** Radio buttons for 'OK' (selected) and 'Illegal data addr'.
- Floating point representation:** Radio buttons for 'Float' (selected), 'Round', and 'Scale'.
- Use swapped floating point format?:** Radio buttons for 'Yes' and 'No' (selected).
- Incorporate value's associated status as error?:** Radio buttons for 'Yes' (selected) and 'No'.
- Value reported for error (floating point):** Radio buttons for 'NaN', '+Inf', '-Inf', and 'Other' (selected). A text box contains the value '128.0'.
- Value reported for error (rounded and native integer):** A text box contains the value '128'.
- Scaled floating point maximum integer value:** A text box contains the value '65534'.
- Use global scale gain and offset?:** Radio buttons for 'Yes' (selected) and 'No'.
- Global scale gain:** A text box contains the value '1.0'.
- Global scale offset:** A text box contains the value '0.0'.

*Ilustración 31- Configuración Modbus del Smart Gateway.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

Como parte de la configuración se realizó un nuevo mapeo de las variables que se consideraron necesarias para tener control del sistema, así como el estado de sobrellenado de los tanques, las cuales fueron descritas en el inciso **5.2.1 Etapa de sensores**. Este proceso se realizó a través del entorno web del Smart Gateway, en la pestaña de Modbus-Mapping, especificando la numeración de registro correspondiente al tipo de dato, seguidamente el ID del instrumento que se desea leer, separado por un punto con la variable que se desea leer del instrumento. El resto de las opciones se mantienen por defecto. A continuación, se muestra el ejemplo del mapeo de variables de los instrumentos según el manual de usuario.

Register	Point Name	State	Invert
<input type="checkbox"/> 30001	TK-7327.PV	...	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> 30003	TK-7327.SV	...	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> 30005	TK-7327.TV	...	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> 30007	TK-7327.QV	...	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> 30009	TK-7135.PV	...	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> 30011	TK-7135.SV	...	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> 30013	TK-7135.TV	...	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> 30015	TK-7135.QV	...	<input type="checkbox"/>

*Ilustración 32- Mapeo de registros Modbus del Smart Gateway.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

## **Moxa EDS.**

El Switch de la marca Moxa no presenta problemas de acceso, tiene la función de conectar directamente el Gateway B por el puerto Ethernet 1, e indirectamente el Gateway A por el puerto Ethernet 3, según la recomendación de fábrica para sistemas con Gateways redundantes.

Otra de sus funciones consiste en el cambio del medio de transmisión, como lo es en este caso, en donde ingresan los datos por medio de un cable de par trenzado Cat 5 por los puertos ethernet 10/100BaseT(X) y presenta salidas de fibra óptica de dos hilos 100BaseFX, la cual ingresa al Patch Panel del gabinete de comunicación.

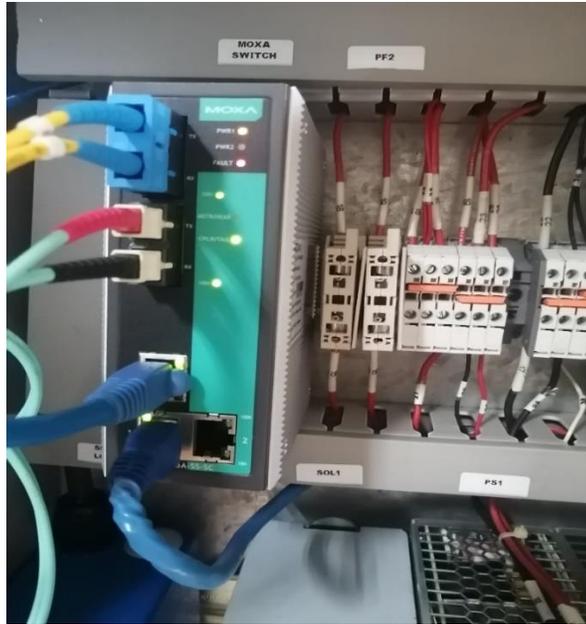


Ilustración 33- Switch Moxa EDS.

Fuente: Elaborado por el autor.

### **Planeamiento de la red WirelessHart.**

Se realizó la revisión del planeamiento de la red WirelessHart de la zona de Espuma por medio de la herramienta Wireless Snap On de la empresa Emerson. En esta herramienta se ingresó una imagen aérea de la zona en donde se pueden visualizar los tanques y caseta en donde se encuentran ubicados los instrumentos del sistema, seguidamente se agregaron los instrumentos en los lugares en donde se encuentran instalados, configurando cada uno en base a sus características y condiciones de la zona, finalmente se realizó la verificación de la cantidad y calidad de los caminos de comunicación de cada instrumento. A continuación, se muestra el planeamiento realizado para la zona de Espuma.

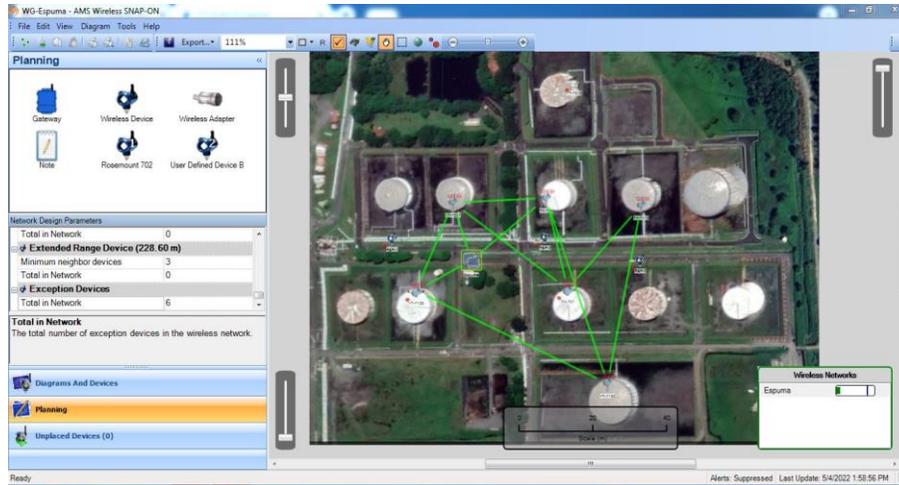


Ilustración 34- Planeamiento de la red WirelessHart.

Fuente: Elaborado por el autor.

Con base a la ilustración anterior se pueden hacer las conclusiones con respecto al planeamiento de la red de la zona, basándose en el documento System Engineering Guidelines IEC 62591 WirelessHart con respecto a la regla de cinco mínimos, regla de tres mínimos y regla del 25 %.

Como parte del planeamiento de la red WirelessHart de zona, se verificó la calidad del camino de comunicación entre los instrumentos instalados en los tanques y su vecino más cercano, así como el número de vecinos que tiene cada instrumento de medición en relación con los demás instrumentos o repetidores de la red de malla. A continuación, se presenta en la Ilustración 34, la estabilidad y la cantidad de caminos que tienen los instrumentos instalados en los tanques TK- 7135 y TK-7327.



*Ilustración 35- Estabilidad de caminos de comunicación.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

### **5.2.3 Procesamiento.**

En esta etapa se presentan las herramientas o instrumentos utilizados para procesar los datos obtenidos de las etapas de sensores y la etapa de comunicación. Para ello se utilizó la plataforma Ignition con la cual se tienen dos tareas importantes, la de crear y configurar las conexiones con los dispositivos que pertenecen a la red, y la segunda tarea corresponde a la creación del HMI del sistema con el módulo Perspective, haciendo uso de las etiquetas creadas a partir de las conexiones antes hechas.

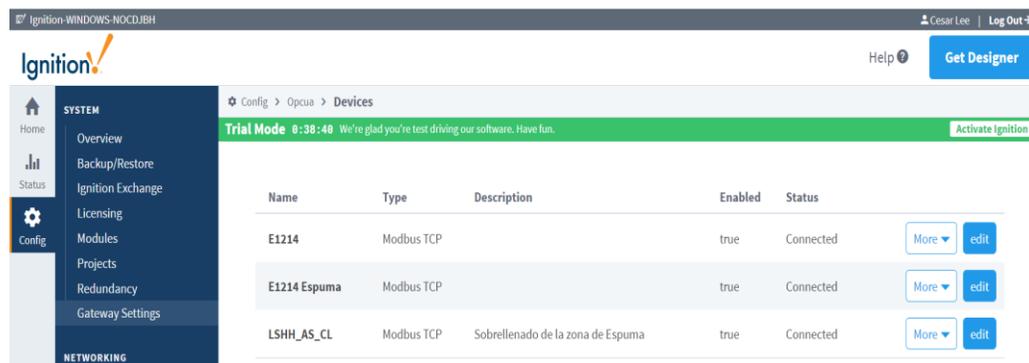
Con la finalidad de explicar mejor lo anteriormente mencionado, se presenta a continuación de manera detallada las conexiones y configuraciones realizadas para los elementos de la etapa de procesamiento.

## Ignition.

Se utilizó la plataforma Ignition como elemento de procesamiento de datos del sistema, de esta manera se toman los datos cargados en los registros Modbus del Gateway, se procesan y se muestran según las tareas diseñadas para el HMI propuesto.

Para lograr esto, al instalar la plataforma Ignition SCADA, se creó un Gateway virtual de Ignition y se instalaron una serie de módulos necesarios para establecer tanto conexiones con los dispositivos periféricos, como para crear interfaces de Humano-Máquina, entre otras funciones.

Una vez instalada la plataforma con los módulos necesarios, se establecieron las conexiones con dispositivos periféricos, como los son los Gateways, base de datos, Switch ioLogic de la caseta de la zona de Espuma y también el Switch ioLogic de la caseta de los operadores de OffSite, a continuación, se presentan las conexiones de los instrumentos de control para la zona de Espuma.



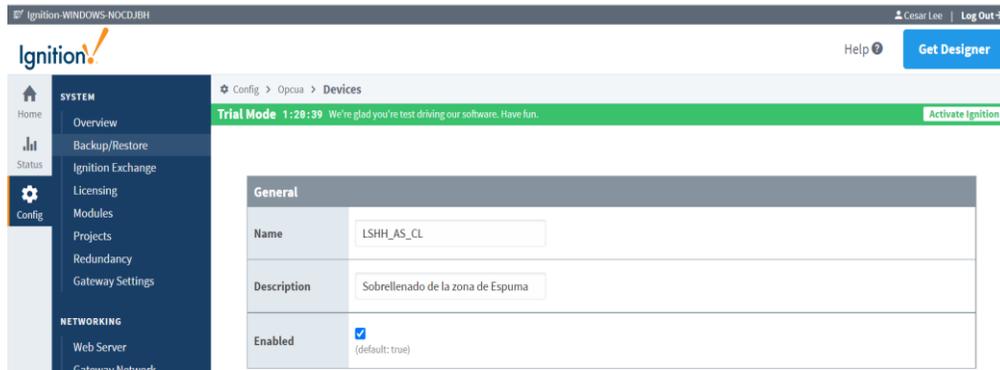
Name	Type	Description	Enabled	Status	
E1214	Modbus TCP		true	Connected	More edit
E1214 Espuma	Modbus TCP		true	Connected	More edit
LSHH_AS_CL	Modbus TCP	Sobrellenado de la zona de Espuma	true	Connected	More edit

*Ilustración 36- Conexiones OPC UA con dispositivos*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

## Conexión con Smart Gateway.

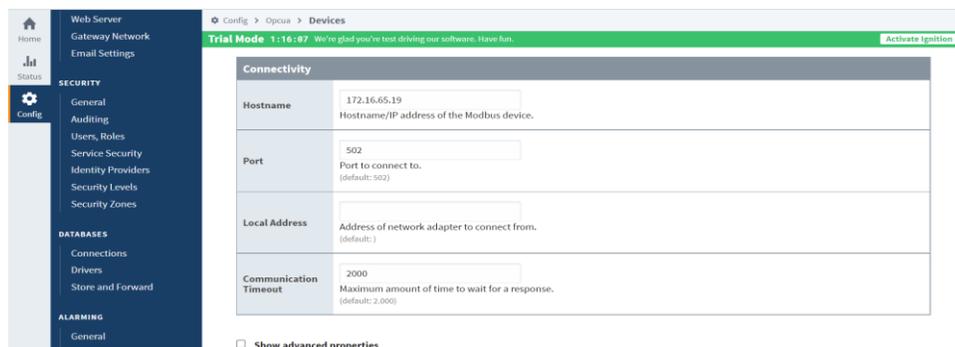
En la pestaña de Configuración-OPC UA-Devices Connections, se creó un dispositivo nuevo con driver Modbus TCP, se estableció un nombre y una descripción del dispositivo como se muestra en la siguiente imagen.



*Ilustración 37- Configuración de conexión OPC UA.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

A demás en el apartado de Connectivity, se estableció la dirección IP correspondiente al Gateway al que se desea conectar, con el puerto 502 por default y un máximo de tiempo de respuesta de 2000.



*Ilustración 38- Configuración de dirección y puerto de la conexión OPC UA.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

Para lograr la transmisión exitosa de datos entre el Smart Gateway y la plataforma Ignition, se necesita acceder a la configuración avanzada del dispositivo creado, a continuación, se muestran los parámetros para la configuración respectiva en la siguiente tabla.

<b>Advanced</b>			
<b>Concurrent Requests</b>	1	<b>Allow Write Multiple Registers Request</b>	True
Max Holding Registers Per Request	125	<b>Force Multiple Register Writes</b>	False
<b>Max Input Registers Per Request</b>	125	<b>Allow Write Multiple Coils Request</b>	True
<b>Max Coils Per Request</b>	2000	<b>Allow Read Multiple Registers Request</b>	False
<b>Max Discrete Inputs Per Request</b>	2000	<b>Allow Read Multiple Coils</b>	True
<b>Reverse Word Order</b>	True	<b>Allow Read Multiple Discrete Inputs</b>	True
<b>Zero-based Addressing</b>	False	<b>Reconnect After Consecutive Timeouts</b>	True
<b>Span Gaps</b>	True	<b>Max Retry Count</b>	1

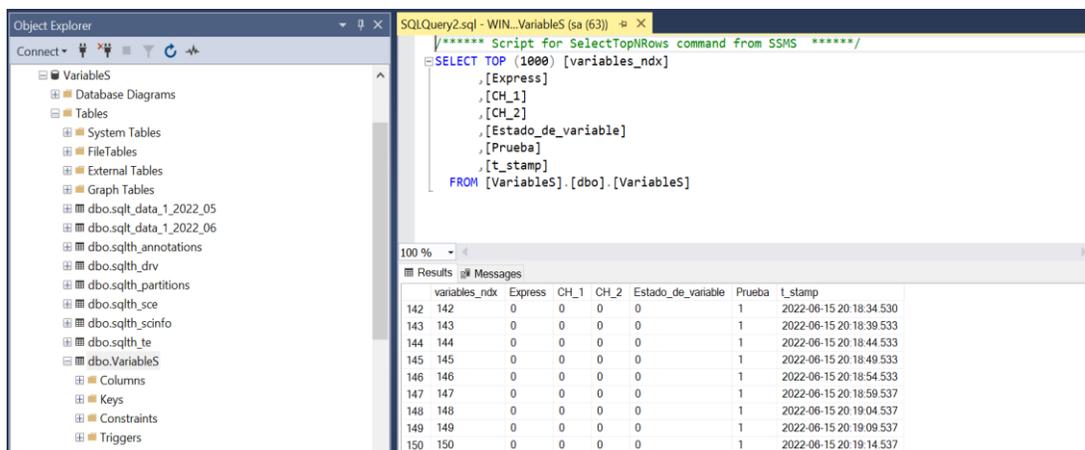
Tabla 5- Configuración avanzada de Smart Gateway.

Fuente: Elaborado por el autor.

## Base de datos.

A demás se instaló el sistema de gestión de base datos Microsoft SQL Server en el cual se creó una base de datos con el nombre de VariableS para almacenar un histórico de las variables fundamentales que corresponden a la activación de la alarma del sistema de sobrellenado de del presente proyecto.

En dicha base de datos se crearán de manera automática las tablas que contendrán las variables del sistema de manera mensual. De esta manera podrán ser consultadas aun cuando el HMI del sistema no tenga la información almacenada.

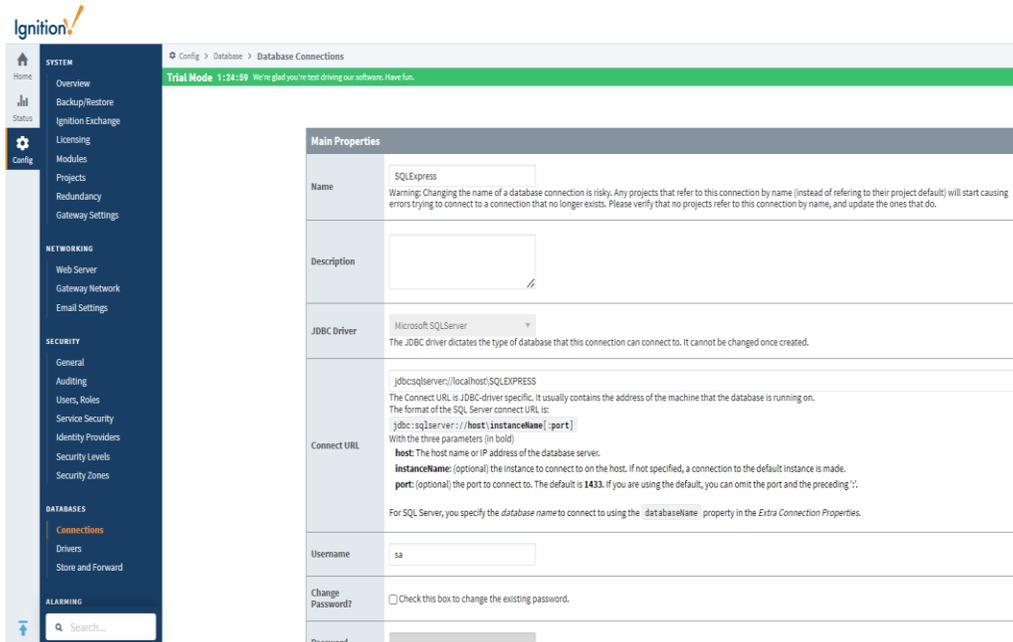


*Ilustración 39- Base de datos SQL.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

Para tener conexión con la base de datos creada con el SQL Server, fue necesario crear una conexión a la misma en la interfaz gráfica de Ignition, propiamente en la pestaña de DATABASES-Connections. Creando la conexión con el driver Microsoft SQL Server, se procedió a configurar parámetros como nombre, URL de

conexión, usuario, clave entre otros. A continuación, se muestra parte de la configuración realizada para la conexión con la base de datos:



*Ilustración 40- Configuración de conexión de la base de datos.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

## Conexión con Moxa ioLogic.

Para tener una conexión satisfactoria con el switch 1214 de la marca MOXA instalado en la caseta del departamento de Procesos (OFF SITE), con la finalidad de lograr habilitar las salidas a los relays, se creó y configuró la conexión al dispositivo en la pestaña de Configuración - OPC UA - Devices Connections, con driver Modbus TCP, al cual se le estableció un nombre y la dirección IP del dispositivo como se muestra en la siguiente imagen.

The screenshot shows the configuration page for a device named 'E1214'. The interface is divided into two main sections: 'General' and 'Connectivity'. In the 'General' section, the 'Name' field is set to 'E1214', the 'Description' field is empty, and the 'Enabled' checkbox is checked. In the 'Connectivity' section, the 'Hostname' is '172.16.65.27', the 'Port' is '502', the 'Local Address' field is empty, and the 'Communication Timeout' is '2000'.

General	
Name	E1214
Description	
Enabled	<input checked="" type="checkbox"/> (default: true)

Connectivity	
Hostname	172.16.65.27 <small>Hostname/IP address of the Modbus device.</small>
Port	502 <small>Port to connect to. (default: 502)</small>
Local Address	 <small>Address of network adapter to connect from. (default: )</small>
Communication Timeout	2000 <small>Maximum amount of time to wait for a response. (default: 2000)</small>

*Ilustración 41- Configuración MOXA ioLogic caseta de OFF SITE.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

De la misma manera se creó un tercer dispositivo el cual se encarga de realizar la misma función, el mismo se encuentra instalado en la zona, propiamente en la caseta de Espuma. De esta manera el sistema propuesto cuenta con dos alarmas audiovisuales que pueden ser captadas por los operarios, tanto en el campo como en la oficina.

The screenshot shows the configuration page for a device named 'E1214 Espuma'. The interface is divided into two main sections: 'General' and 'Connectivity'. In the 'General' section, the 'Name' field is set to 'E1214 Espuma', the 'Description' field is empty, and the 'Enabled' checkbox is checked. In the 'Connectivity' section, the 'Hostname' is '172.16.65.5', the 'Port' is '502', the 'Local Address' field is empty, and the 'Communication Timeout' is '2000'.

General	
Name	E1214 Espuma
Description	
Enabled	<input checked="" type="checkbox"/> (default: true)

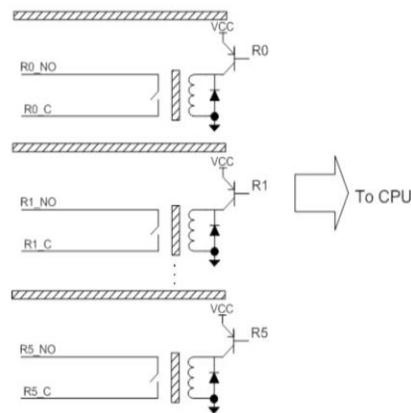
Connectivity	
Hostname	172.16.65.5 <small>Hostname/IP address of the Modbus device.</small>
Port	502 <small>Port to connect to. (default: 502)</small>
Local Address	 <small>Address of network adapter to connect from. (default: )</small>
Communication Timeout	2000 <small>Maximum amount of time to wait for a response. (default: 2000)</small>

*Ilustración 42. Configuración MOXA ioLogic caseta de Espuma.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

## Moxa ioLogic.

El switch ioLogic 1214 de la marca Moxa, tiene entre sus funciones leer o escribir datos, dependiendo del tipo de este, a través de sus direcciones Modbus, esta información fue interpretada según la hoja de datos del fabricante para la activación de las salidas a relay del instrumento. A continuación, se presenta el circuito correspondiente a las salidas de relay del ioLogic 1214:



*Ilustración 43- Circuito interno de salidas a Relay.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

Tomando como referencia el manual del instrumento se establecen las salidas digitales DO-00 y DO-01 como las necesarias para la activación de las salidas a relay, las cuales son asociadas a las direcciones Modbus en función coil (con permisos de lectura y escritura). De la misma manera se realizó la misma configuración para el MOXA ioLogic de la caseta de Espuma. A continuación, se muestra la ilustración referente al direccionamiento del MOXA ioLogic.

The screenshot shows the MOXA ioLogic Remote Ethernet I/O Server web interface. At the top, there is a header with the MOXA logo, the product name 'ioLogic Remote Ethernet I/O Server', and the website 'WWW.MOXA.COM'. Below the header, there is a status bar with various system information: Model (E1214 Ethernet IO Server), Name, Location, IP (172.16.65.27), Serial No. (08104), System Elapsed Time (565:27:30), MAC Address (00-90-e8-36-77-ae), and Firmware (V1.8 Build11092917).

The main content area is titled 'User-defined Modbus address' and contains a table with 11 rows of configuration data. The table has the following columns: No., Description, User-defined Start Address (DEC), Function Code, Read/Write, Reference Address (DEC), Total Channels, and Data Type. The table is titled 'User-defined Modbus address' and has a checkbox 'Enable User-defined Modbus Addressing' above it.

No.	Description	User-defined Start Address (DEC)	Function Code	Read/Write	Reference Address (DEC)	Total Channels	Data Type
1	DO (Relay) Value	0000	01:COIL STATUS	RW	00001	6	1 bit
2	DO (Relay) Pulse Status	0016	01:COIL STATUS	RW	00017	6	1 bit
3	DO (Relay) Value All Channel (Ch0-Ch5)	0032	03:HOLDING REGISTER	RW	40033	1	1 WORD
4	DI Value	0000	02:INPUT STATUS	R	10001	6	1 bit
5	DI Counter Value (Double Word)	0016	04:INPUT REGISTER	R	30017	6	2 WORD
6	DI Value All Channel (Ch0-Ch5)	0048	04:INPUT REGISTER	R	30049	1	1 WORD
7	DI Counter Start/Stop	0256	01:COIL STATUS	RW	00257	6	1 bit
8	DI Counter Clear	0272	01:COIL STATUS	RW	00273	6	1 bit
9	P2P Connect Status	4096	01:COIL STATUS	RW	04097	6	1 bit
10	P2P Output Safe Status	4112	01:COIL STATUS	RW	04113	6	1 bit
11	Clear P2P Output Safe Status	4128	01:COIL STATUS	RW	04129	6	1 bit

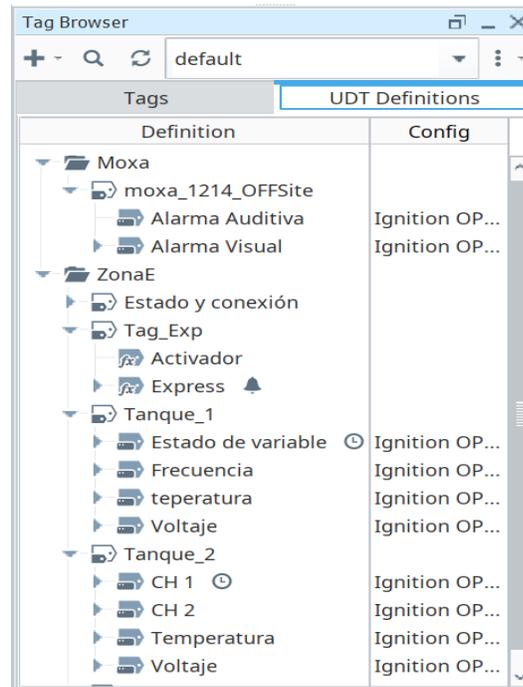
*Ilustración 44- Direcciones Modbus del ioLogic.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

## Procesamiento de variables

Para trabajar con los datos obtenidos de los sensores de campo y los equipos de comunicación enlazados a la red, se crearon una serie de UDTs (User Defined Types por sus siglas en ingles), con la finalidad de capturar los datos obtenidos por medio de las conexiones con los dispositivos periféricos haciendo uso del protocolo OPC UA. El principio de la utilización de cada UTD radica, en la facilidad de replicar sus instancias para los elementos con las mismas características que conformen la red. En base a lo anterior, se crearon UDTs para las conexiones con equipos como el MOXA ioLogic y Gateway de la zona, de la misma manera se crearon UDTs para los diferentes instrumentos que se encuentran instalados en los tanques y una UDT con tags de expresión.

Para tener un orden de visualización de elementos, se crearon dos carpetas que contienen elementos de su misma función. A continuación, se muestra la sección de UDT.

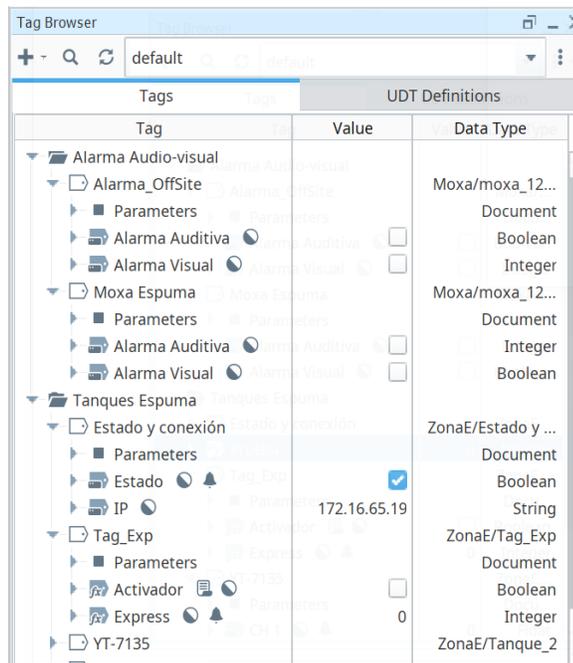


*Ilustración 45- Creación de las UDT del sistema.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

Una vez creadas las UDTs respectivas, se procedió a realizar la creación de las instancias y tags que corresponden a los instrumentos descritos para el presente proyecto. Para esto se creó una carpeta con el nombre de Tanques Espuma, haciendo referencia a los tanques e instrumentos de la zona. En ella se crearon las instancias con el nombre de cada tanque, Estado y conexión y Tag\_Exp. También se crearon las instancias que corresponden a los MOXAS ioLogic tanto de la caseta de Espuma, como el de la caseta de OFF SITE.

Una vez creadas las instancias con sus respectivas etiquetas, se asignaron a cada una de las etiquetas las direcciones OPC, en la pestaña OPC item path, con esto se logró la comunicación satisfactoria entre los dispositivos de campo y la plataforma de Ignition.

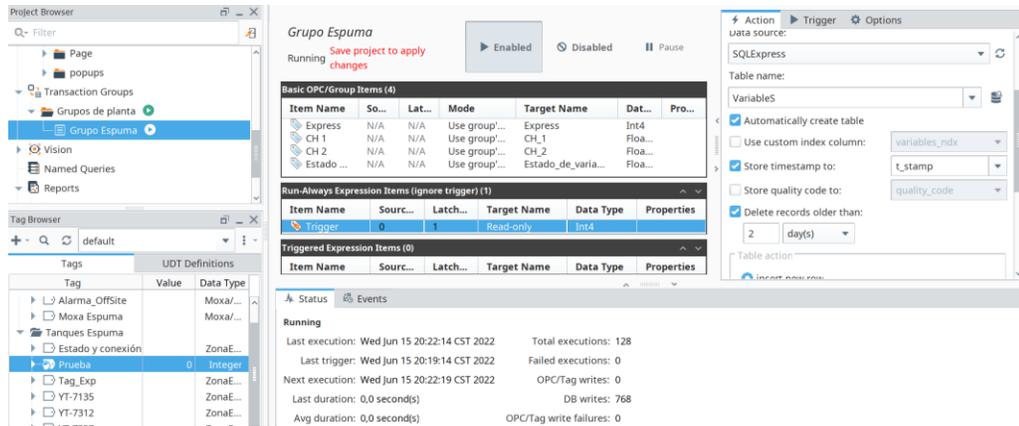


*Ilustración 46- Creación de instancias del sistema.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

Se determinó la importancia de almacenar las variables principales que cumplen la función de activar la alarma audiovisual de sobrellenado, para esto, se tomó en cuenta la optimización del espacio de almacenamiento, por lo que se utilizó el módulo SQL Brige para realizar dicha función. Se creó una carpeta con el nombre Grupos de planta y en ella un grupo de transacción con el nombre de Grupo

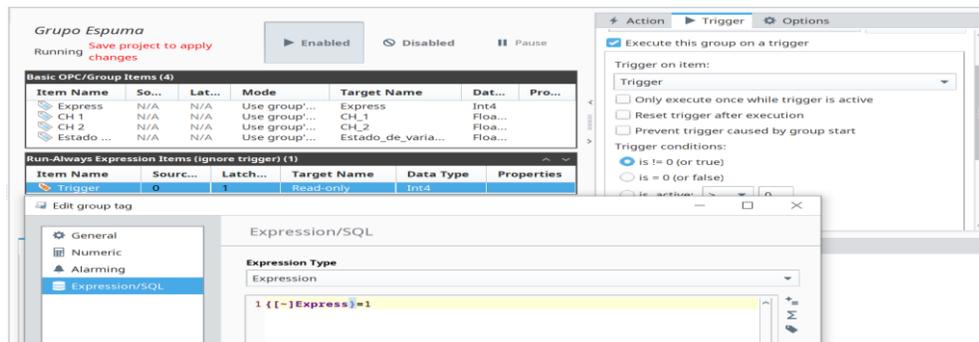
Espuma. En este grupo se introdujeron los tags principales y el tag de expresión que se definió como Trigger para la escritura en la base de datos.



*Ilustración 47- Creación y configuración del grupo de transacción.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

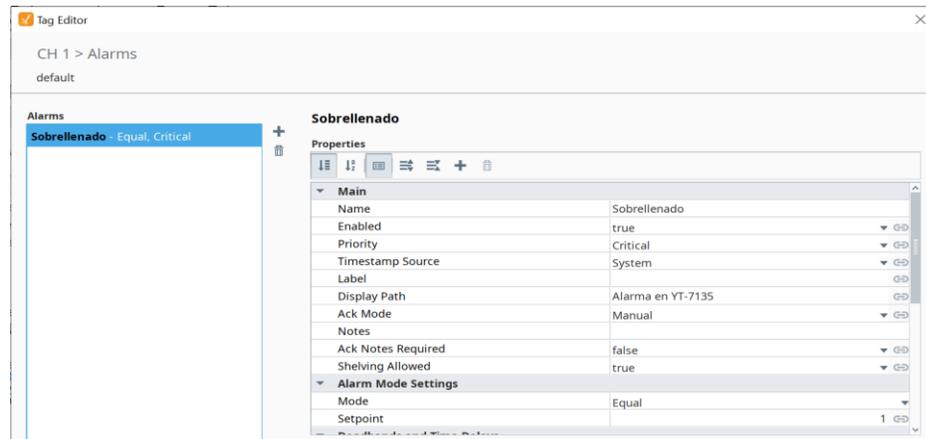
Para el Trigger se definió una expresión de comparación, la cual comprueba el estado del tag Expression, cuando este se activa, ejecuta las escrituras de los tags que conforman el grupo en la base de datos VariableS cada cinco segundos, en la tabla configurada y creada automáticamente en la base de datos, por el sistema.



*Ilustración 48- Configuración del Trigger.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

Se crearon alarmas independientes para cada tag principal con la intención de mostrar en pantalla de manera apropiada y veraz, la información relacionada al evento. Para ello se realizó la respectiva configuración en la pestaña de Alarms de cada tag, comparando el valor en tiempo real de éste, con un uno lógico. A continuación, se presenta la configuración realizada para el Tag CH 1 del YT-7135:



*Ilustración 49- Configuración de alarma.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

También se creó una carpeta con el nombre de Alarma Audio-visual en donde se tienen las instancias y los tags correspondientes a los registros Coil de los switch ioLogic tanto de la zona de espuma, como el de la caseta de los operadores del departamento de Proceso. A continuación, se presenta la sección de creación de tags para las alarmas del presente proyecto:

The screenshot shows a 'Tag Browser' window with a search bar containing 'default'. Below the search bar are two tabs: 'Tags' and 'UDT Definitions'. The 'Tags' tab is active, displaying a tree view on the left and a table on the right. The tree view shows a hierarchy of tags: 'Alarma Audio-visual' (expanded), 'Alarma\_OffSite' (expanded), 'Parameters' (expanded), 'Alarma Auditiva' (expanded), 'Alarma Visual' (expanded), 'Moxa Espuma' (expanded), 'Parameters' (expanded), 'Alarma Auditiva' (expanded), 'Alarma Visual' (expanded), and 'Tanques Espuma'. The table on the right has three columns: 'Tag', 'Value', and 'Data Type'. The 'Value' column contains the number '0' for several tags, and the 'Data Type' column contains 'Integer' for those tags. Other tags have values like 'Moxa...' and 'Docu...'.

Tag	Value	Data Type
Alarma Audio-visual		
Alarma_OffSite		Moxa...
Parameters		Docu...
Alarma Auditiva	0	Integer
Alarma Visual	0	Integer
Moxa Espuma		Moxa...
Parameters		Docu...
Alarma Auditiva	0	Integer
Alarma Visual	0	Integer
Tanques Espuma		

*Ilustración 50- Tags de las alarmas audiovisuales.*

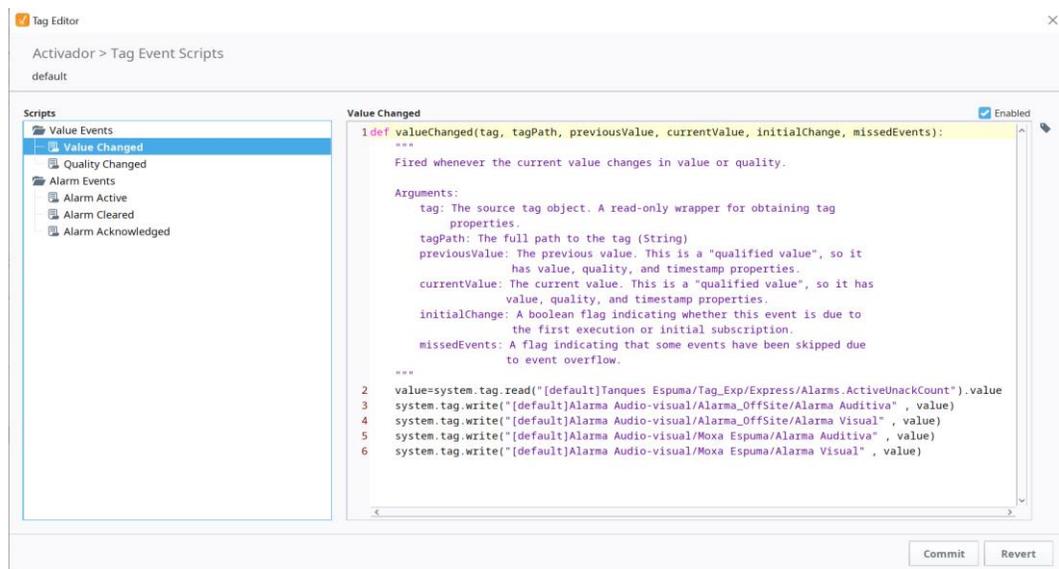
*Fuente: Elaborado por el autor.*

Una vez tomados los datos de las variables de cada instrumento de campo, se procedió a configurar y programar la relación entre los dispositivos de medición y los dispositivos de las alarmas audiovisuales. Esto se logró por medio de dos etiquetas que pertenecen a la instancia Tag\_Exp, en ella se crearon dos tags de expresión, el primero, con el nombre Express, tiene la función de cambiar valor de un uno a un cero o viceversa, tomando una expresión que cumple la función OR de todos los valores de las variables principales de activación de un evento de sobrellenado, con esto se logra el cambio de estado cuando se dé un evento en cualquier tanque. A esta etiqueta se le asignó una alarma de sobrellenado con una leyenda de Alarma en zona de Espuma.

El segundo tag de expresión tiene el nombre de Activador y cumple la función de cargar en las direcciones Modbus de cada MOXA ioLogic, el bit necesario para

que estos activen sus salidas a Relay, permitiendo así la activación de la estación de alarmas. Esta función se logró por medio de un Script realizado en sus propiedades, en la que se programó la lectura de un estado de alarma del tag Express y escritura de el mismo estado en las direcciones Modbus de cada MOXA.

Se presenta a continuación, el Script realizado para lograr el cambio de valor de las etiquetas mencionas anteriormente.



*Ilustración 51- Script del tag Activador.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

## 5.2.4 Visualización.

En esta etapa se detalla la propuesta del HMI que se implementó para el sistema de prevención de sobrellenado, cubriendo con esta, las necesidades requeridas por el personal para lograr una eficaz y eficiente atención de incidentes. Para

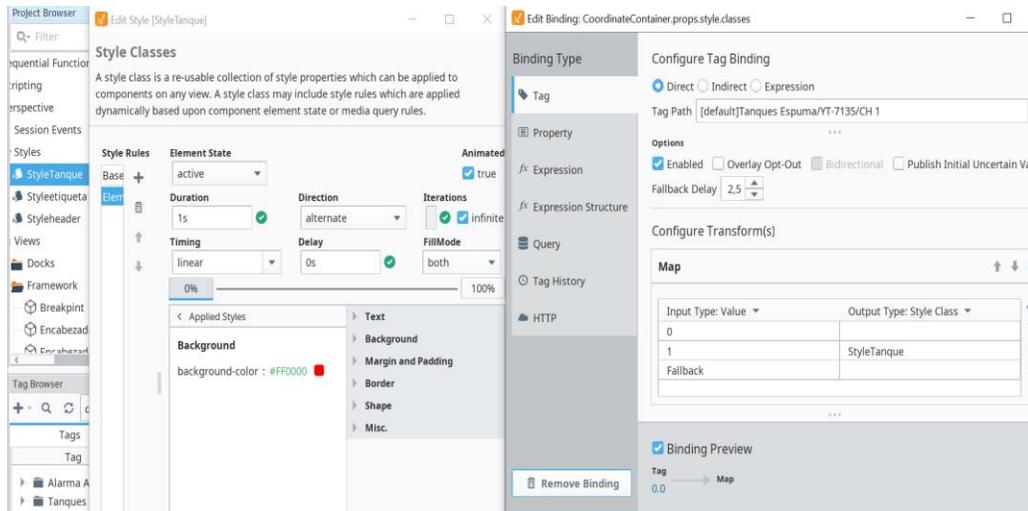
desarrollar el HMI del sistema propuesto, se utilizó el módulo Perspective de la plataforma Ignition por presentar esta un entorno moderno de visualización, así como la particularidad de poder ser ejecutado en dispositivos móviles como tabletas o teléfonos inteligentes. A continuación, se detalla la propuesta:

### **Propuesta del HMI.**

Se determinó basar el diseño del HMI del presente proyecto en la norma ANSI/ISA-101.01-2015, la cual especifica los parámetros para desarrollar interfaces humano-máquina de alto desempeño. En base a esta se diseñó el HMI del sistema de sobrellenado con una estructura bajo el concepto de “apariencia y sensación” para lograr una mejor respuesta por parte de los usuarios ante eventos de sobrellenado.

La ingeniería de factores humanos fue un concepto que se incluyó en el diseño de las pantallas del HMI con características como funciones intuitivas, controles apropiados, admisión de situaciones anormales o terminología aplicada.

Con base en lo expuesto en la norma ANSI/ISA-101.01-2015, se escogieron colores neutros por defecto para el espacio de trabajo del HMI, así como se escogió el color rojo (código #FF0000 en la escala de color del Ignition) como el color único y reservado para determinar la condición de alarma de sobrellenado de tanques en el HMI agregando la función de parpadeo a 1 segundo a transparencia de 100%. Para lograr esto, se diseñó un estilo al cual se llamaría cuando se cumpla un estado de alarma y se cargaría en el espacio de trabajo de cada tanque. Este formato se diseñó para los siguientes tanques del sistema.



*Ilustración 52- Configuración para alarma visual del HMI.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

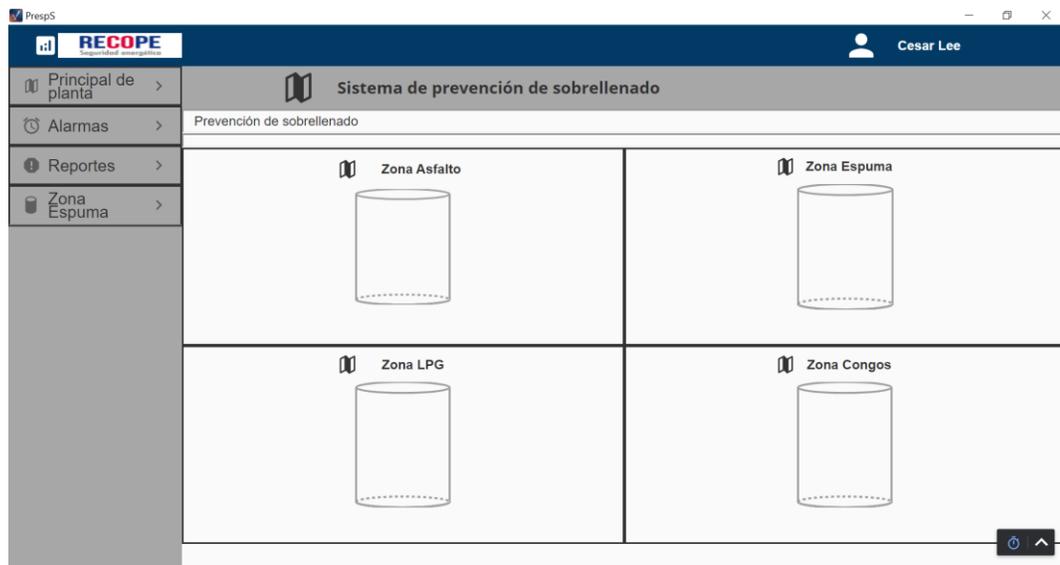
### **Jerarquía de pantallas.**

Con base en lo expuesto en la norma ANSI/ISA-101.01-2015, se determinó una jerarquía de hasta cuatro niveles para las pantallas del HMI del sistema propuesto. Con la finalidad de tener una navegación intuitiva, se diseñó un menú desplegable al costado izquierdo de la pantalla, con este se puede acceder a las pantallas principales del HMI. Esto se logró creando una vista con el nombre Docks el menú con relación a las pantallas creadas y añadiéndolas al costado izquierdo de la configuración de página de Perspective del HMI.

De esta misma forma se crearon dos vistas para el encabezado de la página, con diferentes tamaños que cumplen la función de mostrarse cada una cuando se ajuste el tamaño de la pantalla, abonado a esto se utilizó como base los contenedores flexibles, esto para efectos de ejecutar el HMI del proyecto en un dispositivo móvil.

- **Pantallas nivel 1**

Para el HMI del sistema de prevención de sobrellenado, se crearon dos pantallas de nivel 1, la primera de ellas tiene el nombre Principal de planta, en la cual se presentan cuatro tanques. Para la zona de espuma se relacionó el tag Express que corresponde a la activación de la alarma para la zona Espuma, con esto se logra tener una vista general de la activación de la alarma de la Zona.

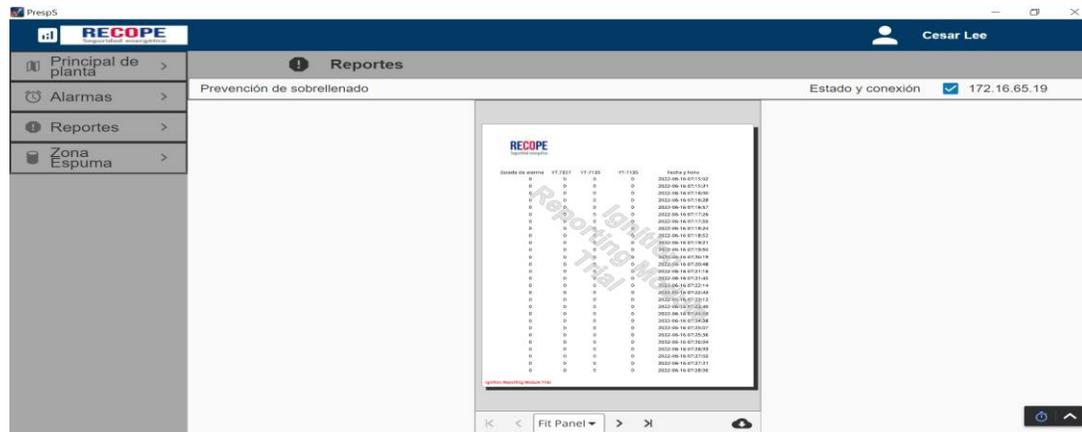


*Ilustración 53- Nivel 1, Pantalla principal de planta.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

La segunda pantalla de nivel 1 corresponde a una visualización de los reportes generados de las variables principales de activación de la alarma de sobrellenado que corresponden a cada tanque con la intención de obtener la información de cualquier evento en un formato apropiado y rápido, para esto se diseñó la vista con el nombre Reportes, en la que se incluyó una tabla con los datos de las

variables antes mencionadas. Esto se logró con el módulo Repots en el cual se diseñó la vista que se muestra a continuación:



*Ilustración 54- Reportes, pantalla nivel 1.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

- **Pantalla nivel 2.**

Para la pantalla nivel 2, se diseñó una vista que incluye los dos tanques de la zona que se incluyeron en el presente proyecto, con la respectiva etiqueta y la relación de variables que activa en el contenedor el estilo StyleTanque, con esto se logra la activación visual de alarma de sobrellenado para cada tanque respectivo. Abonado a esto, se tiene la visualización del estado de la conexión con el Smart Gateway de la Zona de Espuma, con su respectiva dirección IP. De esta manera se tiene información para verificar el buen estado de la transmisión de los datos desde los instrumentos de campo hasta el HMI del sistema.

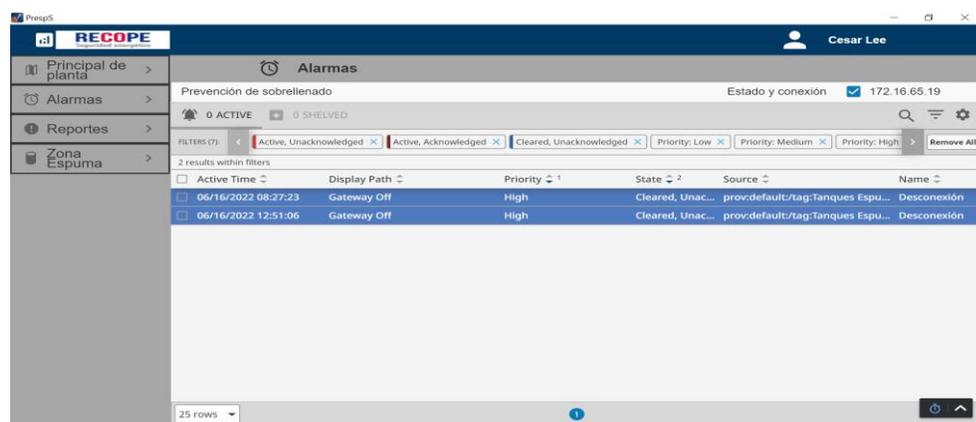


*Ilustración 55- Pantalla nivel 2.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

- **Pantalla nivel 3.**

La pantalla nivel 3 del sistema corresponde a una vista detallada de todas las alarmas de todo el sistema, en la cual se tienen funciones de reconocimiento de estas, así como opciones de visualización para el tipo de alarmas.



*Ilustración 56- Alarmas del sistema, pantalla nivel 3.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

- **Pantallas nivel 4.**

Las pantallas nivel 4, son ventanas emergentes que se programaron con la finalidad de mostrar de forma específica las variables que proporcionan los sensores instalados en los tanques. De esta manera se tiene una vista detallada del instrumento y la alarma se sobrellenado correspondiente a cada tanque. A continuación, se muestran las ventanas emergentes para cada tanque.



*Ilustración 57- Ventanas emergentes- pantallas nivel 4.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

### 5.3 IMPLEMENTACIÓN DEL DISPOSITIVO

Para la implementación del presente proyecto se cuenta con la licencia de prueba de la plataforma Ignition, la cual tiene una duración de dos horas, misma que debe ser reiniciada una vez concluya dicho tiempo.

Se presentaron dos opciones para realiza las pruebas del sistema diseñado, en basándose en la información enviada por los sensores de medición instalados en los tanques.

La primera opción consiste en desinstalar el sensor 2160 de la brida de conexión del tanque, e introducir la punta del sensor en un recipiente con agua para que este detecte el cambio de material y haga el cambio de estado en la frecuencia de oscilación y la salida de este.

Así mismo se debe desinstalar el interruptor magnético Morbey instalado en el techo del tanque YT-7135, y permitir que por la acción del resorte las salidas correspondientes a los dos canales del transmisor cambien de estado a un uno.

Con esto se tienen las dos salidas de ambos sensores en uno, lo que interpretaría el sistema como un sobrellenado de tanque y activaría las alarmas configuradas.

La segunda opción consiste en cambiar la configuración de la salida de ambos canales del transmisor discreto 702, negando ambas con la intención de que esta simule un fallo por sobrellenado, de esta manera transmitirá por ambos canales un uno, que llegaría hasta el Gateway.

Así mismo se plantea cambiar el modo de operación del sensor de horquilla 2160, para que este entre en fallo aun cuando esté en estado seco.

Se determinó conveniente utilizar el segundo método por simplicidad de ejecución, y por temas de asignación de personal del departamento de instrumentación para realizar labores de desmontaje de instrumentos.

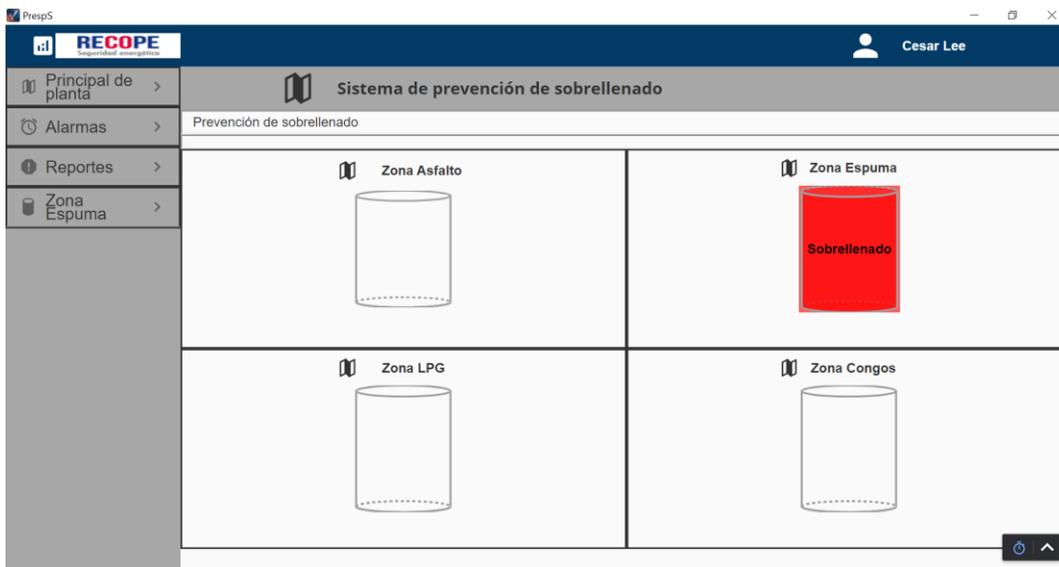
Se procedió a cambiar la configuración de salida de los dos canales del transmisor discreto 702 y la salida del sensor de horquilla 2160. Para efectos de prueba del sensor de horquilla, configuración de la salida de este sólo puede ser cambiada a la condición de fallo, lo cual implica tener un dato distinto en la salida del sensor. A continuación, se presenta la imagen del cambio en la configuración del transmisor discreto 702.



*Ilustración 58- Cambio de configuración, transmisor discreto 702.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

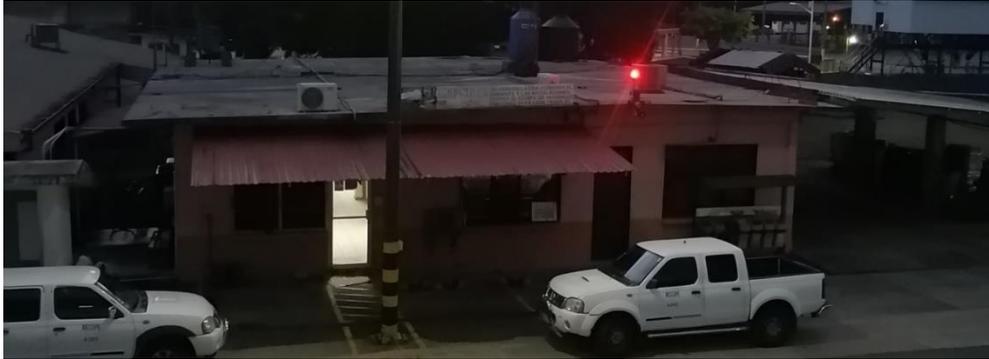
Una vez hecho el cambio en ambos canales del transmisor discreto, se habilitó el sistema de prevención de sobrellenado el cual procesó las variables enviadas por el transmisor y ejecutó las funciones programadas como escritura en base de datos y activación de alarmas audiovisuales. Una vez reconocidas y desactivadas las alarmas desde el HMI, se procedió a cambiar la configuración de la salida del transmisor discreto. A continuación, se presenta la imagen de la activación de la alarma en la pantalla principal del HMI propuesto.



*Ilustración 59- Proceso de pruebas, Pantalla Principal de planta.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

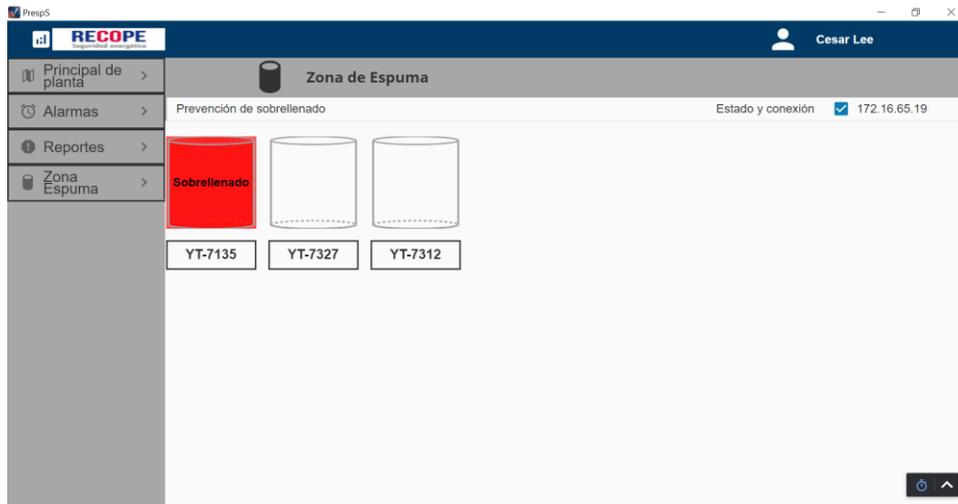
Abonado a esto se presenta a continuación la imagen correspondiente a la activación la estación de alarma Detcon AV2 instado en la caseta de OFF SITE del departamento de procesos.



*Ilustración 60- Proceso de pruebas, activación de estación de alarmas.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

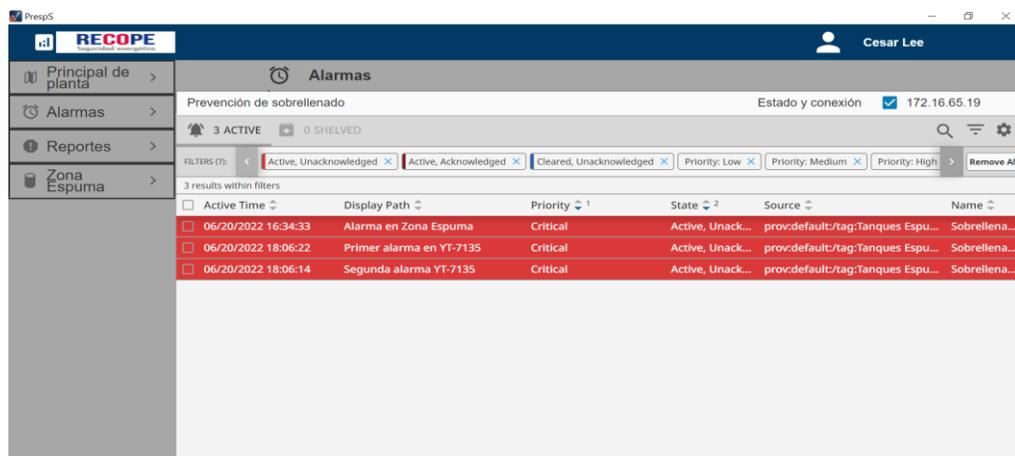
Como parte de las funciones del sistema propuesto, se tiene la alarma visual configurada en la pantalla de Zona Espuma del HMI propuesto, activando la función de parpadeo en el color rojo, y la visualización de la etiqueta con la leyenda Sobrellenado sobre el tanque que presenta el evento. A continuación, se presenta la imagen correspondiente a la pantalla descrita con la activación de la alarma en proceso de pruebas.



*Ilustración 61- Proceso de pruebas, pantalla Zona de Espuma.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

Durante el proceso de pruebas del sistema propuesto, se obtuvieron datos de la pantalla de alarmas, la cual reconoce el estado de alarma de cada canal del transmisor discreto. A continuación, se presenta la visualización de la pantalla de alarmas en proceso de pruebas.



*Ilustración 62- Proceso de pruebas, pantalla de Alarmas.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

## 5.4 CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO

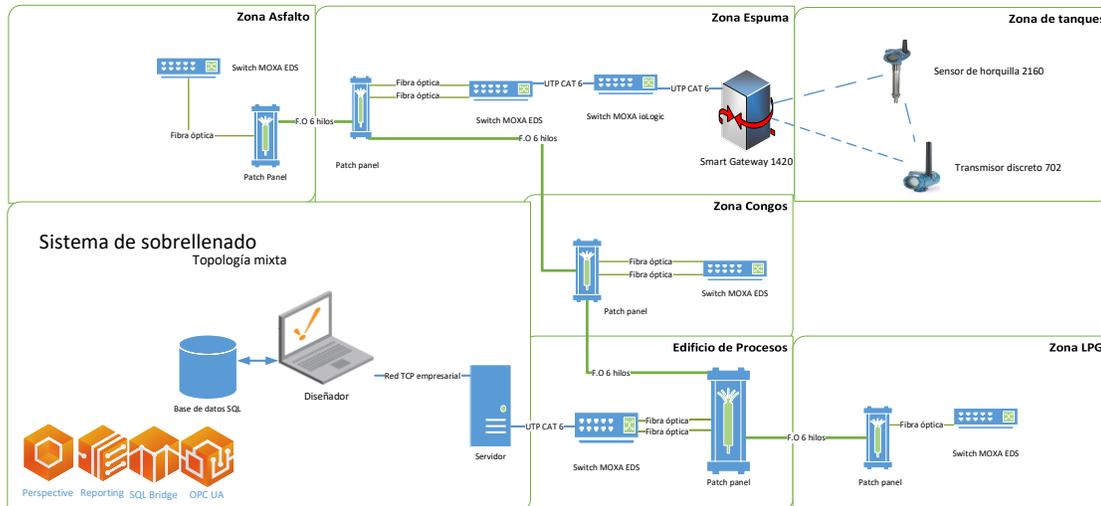
Actualmente el sistema sigue en operación por medio de la licencia de prueba, la cual tiene una duración de dos horas y deberá ser reiniciada una vez concluya dicho lapso de tiempo. Se queda a la espera de la autorización de parte de la empresa para el ingreso al servidor de la planta, el cual cuenta con la respectiva licencia de la plataforma Ignition.

Se determinó la red del sistema de sobrellenado que comprende la comunicación de las casetas de las zonas de Asfalto, Espuma y los Congos como una red de topología en cascada, debido a que cada estación contiene un Switch MOXA EDS que se conecta por fibra óptica con siguiente switch de la siguiente zona, formando una topología tipo árbol con el nodo principal de la red que se encuentra en el edificio del departamento de Procesos y que al mismo tiempo se conecta con el Switch MOXA EDS de la caseta de LPG. Cada uno de estos Switches funge como nodo principal la siguiente ramificación como en el caso de las casetas de las zonas de Asfalto, Espuma y Los Congos. Y en cada nodo se presentan conexiones con elementos como Gateways y MOXAS ioLogic de cada zona.

Abonado a esto también se tiene la topología tipo malla que comprende la zona de Espuma, comprendida por todos los instrumentos de medición y transmisores discretos que se comunican por medio del protocolo WirelessHart, estos a su vez se conectan con los Switches de la caseta de la zona de Espuma.

Por lo anterior descrito, se determina que la red general del sistema de prevención de sobrellenado presenta una topología mixta debido a la conexión de ambas redes. A

continuación, se presenta la imagen de la topología de red del sistema de prevención de sobrellenado:



*Ilustración 63- Topología de red del sistema*

Fuente: Elaborado por el autor.

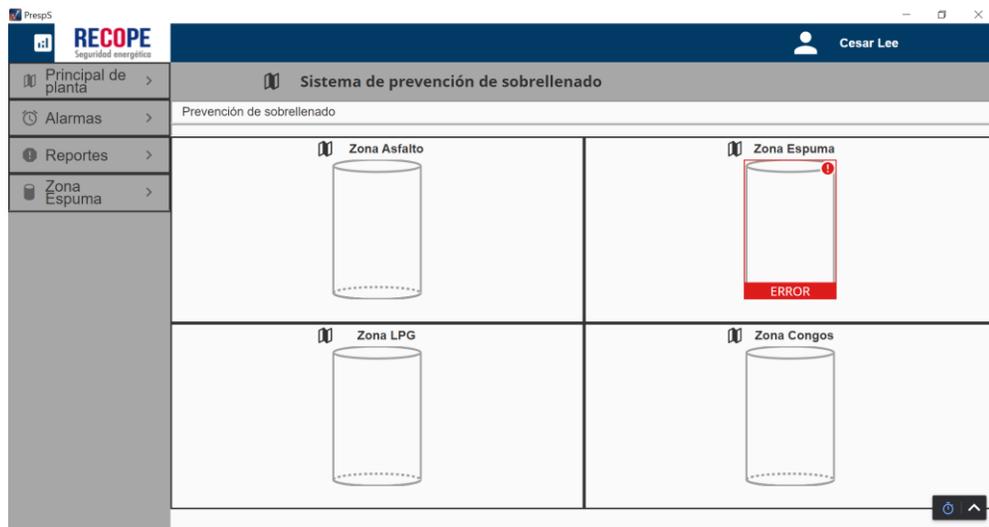
Cabe mencionar que, para asegurar la efectividad del sistema propuesto, todas las etiquetas que cumplen la de activación de las alarmas, deben tener una conexión satisfactoria al sistema, debido a que todas están relacionadas por medio del tag Express.

### **Condiciones de pérdida de comunicación.**

En condiciones normales de funcionamiento, en el HMI del sistema de prevención de sobrellenado no se deben visualizar fallos ni alarmas, pero se toma en cuenta que existen posibles condiciones anormales de funcionamiento, y la más crítica corresponde a la pérdida de comunicación con el Gateway de la zona.

Cuando se presentan pérdidas de comunicación, estas pueden darse por fallos en alguno de los nodos principales de la red, por fallos en comunicación con los equipos instalados en el gabinete de la zona de Espuma, o por la ruptura de la fibra óptica de la red. Por la razón que sea, la pérdida de comunicación será el resultado. Por esta razón, para detectar esto se configuró una alarma en el tag correspondiente al estado de la conexión con el Gateway de la zona de Espuma, con esto se visualizará en la pantalla de alarmas del HMI, la alarma correspondiente al Gateway de la zona, así como la indicción de la casilla deshabilitada que corresponde a la conexión del sistema con el Gateway.

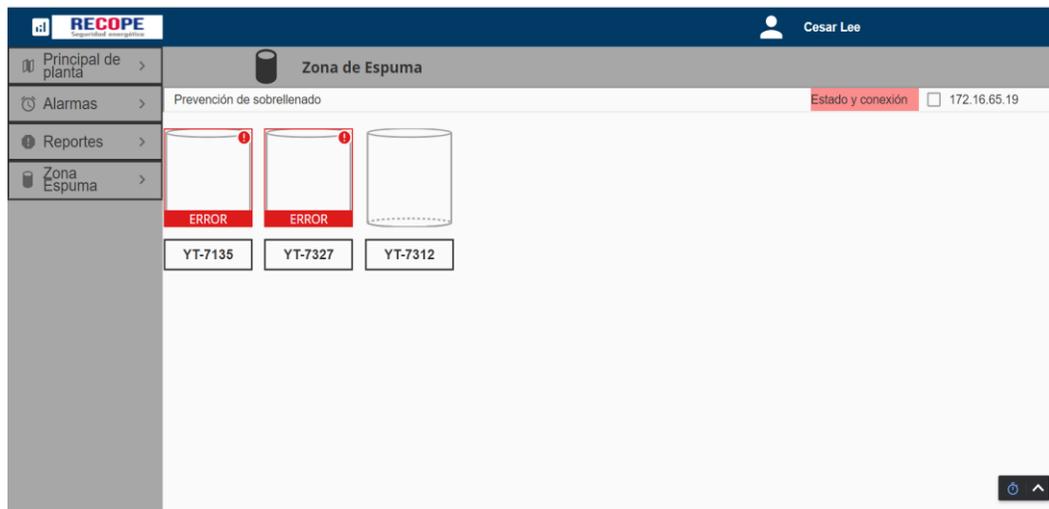
Con la intención de mostrar lo anteriormente descrito, se presenta la pantalla principal de la planta en donde se visualiza el fallo de conexión con la zona, presentándose en de manera automática la condición de error en el tanque que corresponde a la zona.



*Ilustración 64- Condición de fallo, pantalla principal.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

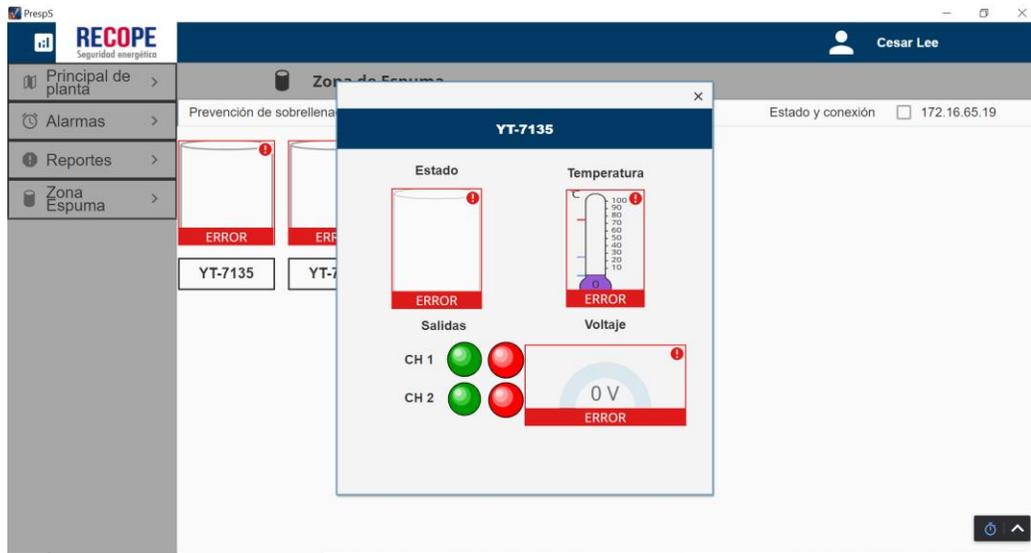
Abordando el mismo fallo, también se presenta la misma leyenda de ERROR en los objetos del HMI en la pantalla Zona Espuma. También se logra observar la función de parpadeo en rojo en la etiqueta con la leyenda Estado y conexión, así como el estado deshabilitado de la casilla de check de la dirección IP correspondiente al Gateway de la zona, ambas cosas haciendo referencia al fallo en la conexión con el Gateway.



*Ilustración 65- Condición de fallo, pantalla Zona Espuma.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

Así mismo se presenta la misma condición de error en cada uno de los datos que se obtienen de los sensores instalados en los tanques que conforman el proyecto, dicha condición de error se ve reflejada en las ventanas emergentes que se visualizan por medio de la navegación en el HMI del sistema. A continuación, se muestra la ventana emergente del tanque YT- 7135 en condición de fallos en la red.



*Ilustración 66- Condición de fallo, pantalla emergente.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

## 5.5 ANÁLISIS DE COSTOS

Tal y como se solicitó por parte de la empresa, para la ejecución del presente proyecto se desestima la compra de equipo debido a que se logró reutilizar el 100% de los equipos y materiales que presentaba el sistema anterior. No obstante, el desarrollo del HMI se planteó utilizando el módulo Perspective de la plataforma Ignition, para lo cual se requiere la compra de dicho módulo. A continuación, se presenta en la Tabla 6- Precio del módulo Perspective, el costo del módulo mencionado.

<b>Precio del material utilizado</b>		
<b>Módulo</b>	<b>Cantidad de usuarios</b>	<b>Precio</b>
<b>Perspective</b>	5	<b>₡ 5 976 025,00</b>

*Tabla 6- Precio del módulo Perspective.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

Además, se debe tomar en cuenta el costo en manufactura por hora referente a las etapas de ejecución y control del proyecto para las cuales se determinaron un número de horas efectivas por tarea realizada. La etapa de ejecución del proyecto comienza con la revisión de las condiciones de los sensores de campo, determinando sus medida y configuraciones, seguido de la configuración de los dispositivos de comunicación de la red. Una vez concluidas las anteriores tareas, de procedió a diseñar el HMI propuesto en la plataforma Ignition, junto con todas sus funciones y seguidamente la etapa de pruebas en la que se verificó el funcionamiento de las instancias del sistema. Y finalmente se realizaron las correcciones para optimizar el funcionamiento del sistema propuesto.

Referente a lo anterior descrito, se presenta en la Tabla 7- Costos de implementación, la descripción de las actividades realizadas durante las etapas de Ejecución y Control, así como la cantidad de horas invertidas en cada una de estas actividades.

<b>Costos de implementación</b>			
<b>Actividad</b>	<b>Costo por hora</b>	<b>Horas</b>	<b>Costo por etapa</b>
<b>Ejecución</b>	₪ 32 200,00		
<b>Medición de instrumentos</b>		5	₪ 161 000,00
<b>Configuración de dispositivos de medición</b>		5	₪ 161 000,00
<b>Configuración de dispositivos de comunicación</b>		8	₪ 257 600,00
<b>Diseño del HMI</b>		12	₪ 386 400,00
<b>Implementación del sistema</b>		12	₪ 386 400,00
<b>Pruebas del sistema</b>		12	₪ 386 400,00
<b>Subtotal:</b>			₪ 1 932 000,00
<b>Control</b>			
<b>Correcciones del sistema</b>		8	₪ 257 600,00
<b>Total:</b>			₪ 1 996 400,00

*Tabla 7- Costos de implementación.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

Conociendo los montos de inversión tanto de implementación, como el precio del material necesario para la ejecución del proyecto, se presenta en la Tabla 8- Costo total del proyecto, el monto total de inversión con el que debe incurrir la empresa para lograr la ejecución del proyecto.

<b>Costo total del proyecto</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Precio</b>
<b>Módulo Perspective</b>	₴ 5 976 025,00
<b>Costo de implementación</b>	₴ 1 996 400,00
<b>Total:</b>	<b>₴ 7 972 425,00</b>

*Tabla 8- Costo total del proyecto.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

### **Beneficios del proyecto.**

Por temas de privacidad de información de la empresa, se desestima realizar el análisis de beneficios económicos, no obstante, se plantean beneficios cualitativos que comprenden el desarrollo e implementación del presente proyecto como una alternativa de comparación con respecto al costo del mismo. Dentro de los beneficios que se pueden mencionar están los siguientes:

- Monitoreo.

Se conoce que actualmente no se encuentra en operación un sistema dedicado para la prevención de sobrellenado de tanques, dicho esto, con la implementación

de este proyecto la empresa tendrá con una herramienta importante para las labores de importación y trasiego de los productos que se almacenan en el plantel.

- Optimización de recursos.

Como bien se conoce, la instrumentación implementada se encuentra en desuso, lo cual lleva a un desaprovechamiento de ellos lo cual cambia en sentido contrario el presente proyecto, haciendo uso de cada uno de estos activos en función de las tareas del presente proyecto.

- Control de activos.

Uno de los beneficios con los que cuenta la empresa con la implementación de la presente propuesta, es el control de todos los activos que conforman la red del sistema, esto representa una mejora en la información del proyecto, lo cual beneficia directamente al departamento de instrumentación.

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 6.1 CONCLUSIONES

Mediante las técnicas para recolección de información referente a las características con las que contaba el sistema de prevención de sobrellenado actual, haciendo uso de una entrevista enfocada a dos operarios de la planta con distintos perfiles y funciones, fue posible determinar el estado del sistema de prevención de sobrellenado implementado anteriormente, así mismo se utilizó el método de observación para documentar el estado y funcionamiento de los instrumentos de campo.

En base a lo anterior se concluye que los instrumentos de medición instalados en el campo cumplen la función de detección de eventos de sobrellenado, así mismo con las características que estos deben tener para operar en ambientes peligrosos contando la certificación I5, la cual indica que estos sensores son intrínsecamente seguros, no inflamables y a prueba de polvos combustibles.

En relación a la revisión del planeamiento que se realizó en el proyecto instalado anteriormente y haciendo uso de la plataforma Snap ON proporcionada por la empresa, tomando como referencia lo mostrado en las Ilustraciones 33- Planeamiento de la red WirelessHart e Ilustración 34- Estabilidad de caminos de comunicación, y basando esta revisión en documento System Engineering Guidelines IEC 62591 WirelessHart, se concluye según las cuatro reglas de diseño recomendadas presentes en este documento que:

- En base a “la regla de los cinco mínimos” se tiene un incumplimiento de esta, la cual especifica que cada red WirelessHart debe tener un mínimo de cinco dispositivos WirelessHart dentro del alcance efectivo del Gateway y como bien se

observa en las imágenes correspondientes, sólo se cuenta con tres dispositivos dentro de dicho rango.

Como se menciona en este documento, la red WirelessHart del presente proyecto funciona correctamente incumpliendo esta regla, no obstante, no se obtienen los beneficios de la redundancia intrínseca de una red de malla autoorganizada.

- Se tiene un cumplimiento en base a “la regla de los tres” la cual especifica que cada dispositivo WirelessHart de la red debe tener un mínimo de tres vecinos dentro del alcance efectivo, lo cual asegura que, aunque se presenten problemas de conexión con uno de los vecinos, los datos serán enviados al Gateway por medio de los otros dispositivos vecinos.
- La regla del 25% indica que toda red WirelessHart que cuente con más de cinco dispositivos WirelessHart debe tener un mínimo de un 25 por ciento dentro del alcance efectivo del Gateway. Conociendo lo anterior se concluye que la red cumple con dicha regla, teniendo la garantía de un adecuado ancho de banda, tomando en cuenta una tasa de actualización de los dispositivos de campo de 32 segundos.
- Para el caso del presente proyecto, no es aplicable la “regla de la distancia mínima” debido a que los dispositivos de campo no necesariamente pueden tener tasas de actualización por debajo de los 8 segundos.

En base a la información recolectada de los sensores durante la etapa de recolección de datos y haciendo uso del instrumento de observación, se conocen las longitudes que presentan los sensores de detección de nivel instalados en los tanques, en base a esto se realizó una comparación con respecto a las tablas de calibración certificadas

encontrando incongruencias, no se realizaron los ajustes en las alturas de los sensores, no obstante la información se pasó a la empresa para que realizaran por medio del departamento encargado el debido ajuste.

Mediante el diseño creado en base a los estándares para el diseño de HMI para sistemas de automatización de procesos, y tomando en cuenta las opiniones del usuario principal del HMI del anterior sistema mediante el instrumento de entrevista, se logró diseñar una interfaz humano-máquina que cumple con las necesidades de la empresa para la pronta atención de eventos, utilizando todos los recursos brindados por la empresa.

Fue posible evaluar en funcionamiento del sistema de prevención de sobrellenado tanto en condiciones normales de operación, así como en condiciones de fallos en la red, determinando así las vulnerabilidades de sistema, comparando los datos obtenidos en el HMI con los datos que se obtienen en el entorno web del Gateway.

## 6.2 RECOMENDACIONES

El alcance del presente proyecto abarca tres tipos de instrumentos, de los cuales uno de ellos no se incluyó debido a las modificaciones realizadas a este y se queda a la espera del procedimiento brindado por fábrica, para lo cual se recomienda seguir dicho procedimiento para incluir los tanques que tienen instalados la combinación de instrumentos adaptador Thum, Tank Hub y antena de radar.

Con relación a lo anterior se queda a la espera de la información brindada por fábrica con respecto a la configuración de la redundancia en los Gateways de la caseta de la zona de Espuma, una vez obtenida dicha información, se debe proceder con el procedimiento descrito por fábrica para aumentar la fiabilidad de la red WirelessHart.

Con la intención de aumentar el tiempo de vida útil de los dispositivos que conforman la red WirelessHart se recomienda brindarles el mantenimiento preventivo a todos los dispositivos WirelessHart instalados en las cuatro zonas del plantel.

Con respecto a la información obtenida durante el proceso de investigación del proyecto, se tomaron las medidas de las longitudes de los sensores reutilizados, dichas medidas afectan directamente el tiempo de respuesta de los operadores del departamento de Procesos, por lo que se recomienda al departamento de Procesos tramitar los avisos y permisos respectivos para ajustar las medidas de los instrumentos de campo.

El proceso de análisis de costo beneficio del proyecto, se planteó este con un enfoque mixto, el cual deberá ser planteado por la empresa tomando los datos confidenciales que involucran las pérdidas anuales por la falta de operación de este proyecto.

En base a lo demostrado en las conclusiones del presente proyecto, haciendo referencia a el funcionamiento de la red WirelessHart de la zona de Espuma, se recomienda el mantenimiento y la revisión del estado de los instrumentos que cumplen la función de repetidores instalados en la zona.

Para el diseño y desarrollo del HMI del proyecto, se utilizó el módulo Perspective de la plataforma Ignition. Realizando este diseño se cuenta con la facilidad de operar el sistema desde dispositivos móviles, los cuales a futuro beneficiarán económicamente a la empresa en temas de operación, y de compra y mantenimiento de equipos, por lo cuál recomienda la compra de dicho módulo.

El presente proyecto fue diseñado para recibir la información proveniente de dos tanques de la Zona de Espuma, no obstante, durante la etapa de diseño se planteó la futura inclusión de los demás tanques de la zona. De la misma manera se planteó replicar el trabajo realizado para las demás zonas de la planta para lo cuál se dejaron previstas en el HMI diseñado.

### 6.3 Bibliografía

- (11 de 12 de 2019). Obtenido de RECOPE: <https://www.recope.go.cr/productos/calidad-y-seguridad-de-productos/gasolina-super/>
- Aguilar Moya, j. P., Leiva Padilla, P., Villegas Vilegas, R. E., Loría Salazar, L. G., & Zuñiga Araya, C. (2018). Módulo de los componentes del asfalto: asfaltenos y maltenos. San José, Costa Rica. Obtenido de [https://www.asefma.es/wp-content/uploads/2018/03/35\\_paguiar.pdf](https://www.asefma.es/wp-content/uploads/2018/03/35_paguiar.pdf)
- American Petroleum Institute. (Febrero de 2001). Measurement of Liquid Hydrocarbons by Hybrid Tank Measurement Systems. Washington D.C.
- American Petroleum Institute. (1966). Measurement and Calibration of Spheres and Spheroids - API Standard 2552. Washington, Estados Unidos.
- American Petroleum Institute. (Agosto de 2005). Standard Practice for the Manual. *Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter* . Washington, Washington, Estados Unidos.
- American Petroleum Institute. (Mayo de 2012). Overfill Protection for Storage Tanks in Petroleum Facilities API 2350-2012. Washington.
- Boylestad, R. L. (2004). *Introducción al análisis de circuitos (Décima edición)*. México: Person Educación.
- Cid, A. d. (2011). *Investigación Fundamentos y metodología*. Mexico: Pearson Educación de México, S.A.
- Colin Armistead, J.-P. P. (1999). Strategic Business Process. *Long Range Planning, Vol. 32, No. 1*, 96 - 106.
- FieldComm Group. (18 de Abril de 2001). C8PSK Physical Layer Specification.
- FieldComm Group. (19 de Mayo de 2016). 2.4GHz DSSS O-QPSK Physical Layer Specification.
- FieldComm Group. (27 de Mayo de 2016). FSK Physical Layer Specification.
- FieldComm Group. (3 de Diciembre de 2019). Token-Passing Data Link Layer Specification.
- FieldComm Group. (20 de Mayo de 2020). HART Communication Protocol Specification.
- FieldComm Group. (1 de Julio de 2020). Network Management Specification.
- FieldComm Group Document Number. (13 de Mayo de 2016). TDMA Data Link Layer Specification.
- Gaceta. (25 de 04 de 2008). Decreto 34482-S del 03/03/2008. *Reglamento para el registro, clasificación, importación y control de equipo y material biomédico*, pág. 2.
- Gomez, S. (2012). *Metodología de la Investigación*. Mexico: Red Tercer Milenio S.C.

- Gutierrez, H. C. (1993). *Los Elementos de la Investigación "Como Reconocerlos, Diseñarlos y Construirlos"*. Santa Fe de Bogotá: Editorial El Buho LTDA.
- HART Communication Foundation. (12 de Junio de 2012). Wireless Command Specification.
- Kaufman, R. (2004). *Herramientas prácticas para el éxito organizacional*. España: Universitat Jaume I.
- Luiz C.R. Carpinetti, T. B. (2003). Quality management and improvement: A framework and a business-process reference model. *Business Process Management Journal*, Vol. 9 Issue: 4, 543-554.
- Maytorena, G. B. (2011). *Métodos de Investigación*. México: Colegio de Bachilleres del Estado de Sonora.
- Muñoz Razo, C. (2011). *Como elaborar y asesorar una investigación de tesis*. Juarez: Pearson.
- Muñoz, C. (2011). *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis (2da ed)*. Mexico DF: Prentice Hall.
- Newbery, J. A., E. Solanas, F., Herrero, F., & C. Thierry, J. (2007). *El petróleo*. Buenos Aires, Argentina: Ediciones Colihue.
- Niño, V. M. (2011). *Metodología de la Investigación Diseño y ejecución*. Bogota, Colombia: Ediciones de la U.
- Omega*. (s.f.). Obtenido de <https://es.omega.com/prodinfo/sondas-de-nivel-medicion.html>
- Pepperl+Fuchs AG*. (s.f.). Obtenido de [https://www.pepperl-fuchs.com/global/es/classid\\_182.htm](https://www.pepperl-fuchs.com/global/es/classid_182.htm)
- RECOPE*. (12 de 11 de 2019). Obtenido de <https://www.recope.go.cr/productos/calidad-y-seguridad-de-productos/queroseno/>
- RECOPE*. (12 de 11 de 2019). Obtenido de <https://www.recope.go.cr/productos/calidad-y-seguridad-de-productos/diesel-50-automotriz/>
- RECOPE*. (09 de 07 de 2019). Obtenido de <https://www.recope.go.cr/productos/calidad-y-seguridad-de-productos/gasoleo/>
- RECOPE*. (12 de 11 de 2019). Obtenido de <https://www.recope.go.cr/productos/calidad-y-seguridad-de-productos/jet-a-1/>
- RECOPE*. (2019). *Manual de productos*.
- RECOPE*. (02 de 03 de 2020). Obtenido de <https://www.recope.go.cr/productos/calidad-y-seguridad-de-productos/bunker-c/>
- RECOPE S.A.* (12 de 11 de 2019). *Gas licuado de Petróleo (GLP)*. Obtenido de <https://www.recope.go.cr/productos/calidad-y-seguridad-de-productos/gas-licuado-de-petroleo-glp/>

RECOPE S.A. (11 de 12 de 2019). *RECOPE*. Obtenido de Gasolina Plus 91:

<https://www.recope.go.cr/productos/calidad-y-seguridad-de-productos/gasolina-plus-91-regular/>

RECOPE.S.A. (18 de 02 de 2020). Obtenido de RECOPE: <https://www.recope.go.cr/productos/gasolina-etanol/>

S. Tanenbaum, A., & J. Wetherall, D. (2012). *Redes de computadoras*. Juarez: Pearson.

Sampieri, R. H. (2014). *Metodología de la investigación (6ta ed)*. México: McGraw-Hill.

Senn, J. A. (1992). *Sistemas de Informacion*. McGraw-Hill Interamericana.

Tamayo, M. T. (2003). *El proceso de la investigación científica*. México DF: Limusa S.A.

Valdivia Miranda, C. (2015). *Redes telemáticas*. Asturias: Paraninfo.

## 6.4 GLOSARIO

**Asfaltenos:** Familia de compuestos orgánicos del petróleo crudo que representan los compuestos orgánicos más pesados y con mayor punto de ebullición.

**Destilación atmosférica:** Destilación que se realiza a una presión cercana a la atmosférica, extrayendo los hidrocarburos del crudo de manera natural sin afectar la estructura molecular de los componentes.

**Destilación fraccionada:** Proceso utilizado para separar componentes líquidos en los que su punto de ebullición difiere en menos de veinticinco grados Celsius, mediante calor con un amplio intercambio calórico y másico entre vapores y líquidos. Cada uno de los componentes a separar se denomina fracción.

**Hidrocarburo:** Compuestos orgánicos conformados únicamente por átomos de hidrógeno y carbono.

**Maltenos:** Fracción soluble en hidrocarburos saturados de bajo punto de ebullición.

**Octanaje:** Cantidad de octanos presentes en un carburante.

**Olefina:** Compuestos químicos que contienen por lo menos un doble enlace de Carbono-Carbono.

**Parafina:** Nombre técnico de los alquenos en general.

**Volatilidad:** Medida de la tendencia de una sustancia a pasar a la fase de vapor.

## 6.5 ANEXO

### Lista de anexos

01. Un sistema para prevención de sobrellenado es un estándar de mucha importancia que se publicó en la norma 2350-2012 por el Instituto Americano del Petróleo (API). En dicha norma se menciona que la forma más básica de protección empieza con la prevención, y con esto obtener los beneficios de una práctica laboral segura.

## 02. Machote de Observación.

<b>03. Interruptor de horquilla vibratoria Rosemount 2160</b>			
Evaluación del transmisor			
Modelo:			
Serie:			
Tag:			
Tanque:			
Ítem de evaluación	Bueno	Regular	Malo
Instalación del instrumento			
Estado de pantalla			
Estado de la Pila			
Acceso			
Estado del Hardware			
Barra V invertida			
Conexión en Gateway			
Comentarios:			

<b>Interruptor de horquilla vibratoria Rosemount 2160</b>			
Configuración del transmisor			
Modelo:			
Serie:			
Tag:			
Tanque:			
Configuración de red			
Network ID			
Join Key			
Modo de operación			
Estándar			
Mejorado (Fallo=DRY)			
Mejorado (Fallo=WET)			
Calibración del instrumento de medición			
Altura			
Variables			
PV			
SV			
TV			
QV			

<b>Transmisor discreto inalámbrico Rosemount 702</b>			
Evaluación del transmisor			
Modelo:			
Serie:			
Tag:			
Tanque:			
Ítem de evaluación	Bueno	Regular	Malo
Instalación del instrumento			
Entrada de cables			
Estado de pantalla			
Pila			
Acceso			
Estado del Hardware			
Barra V invertida			
Conexión en Gateway			
Comentarios:			

## Transmisor discreto inalámbrico Rosemount 702

Configuración del transmisor			
Modelo:			
Serie:			
Tag:			
Tanque:			
Configuración de red			
Network ID			
Join Key			
Conexiones de entrada			
Simple	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dual	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dual contactos de límite	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dual contacto opuesto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Variables			
PV			
SV			
TV			
QV			

## Interruptor vertical magnético Morbey

### Evaluación del interruptor

Modelo:			
Serie:			
Tipo:			
Tanque:			
Item de evaluación	Bueno	Regular	Malo
Estado de contactos			
Funcionamiento mecánico de Relays			
Acceso			
Estado físico			
Distancia del cable			
Relays en uso			
Comentarios:			

<b>Gateway Smart Wireless 1420</b>			
Evaluación inicial del Gateway A			
Modelo:			
Serie:			
Dirección IP:			
Localización:			
Ítem de evaluación	Bueno	Regular	Malo
Acceso remoto			
Respaldos			
Instalación del instrumento			
Redundancia			
Cableado			
Limpieza			
Lectura de instrumentos			
Comentarios:			

## 04. Machote de Entrevista.

## Entrevista.

**Fecha:** \_\_\_\_\_.

**Nombre y firma del entrevistador:** \_\_\_\_\_.

**Nombre y firma del entrevistado:** \_\_\_\_\_.

**Puesto que desempeña:** \_\_\_\_\_.

1. Mencione cuáles son las zonas de inventario de productos en las que se divide el plantel de Moín y ¿Cuáles son sus deferencias?
2. ¿Cuáles son los diferentes productos que se almacenan en este plantel?
3. ¿Cuáles son las distintas estructuras para el almacenamiento de productos que se tienen en este plantel?
4. ¿Cuáles son los tanques de la zona de Espuma?
5. ¿Cómo califica usted el desempeño del actual sistema de prevención de sobrellenado de tanques?
6. ¿Considera usted importante el funcionamiento apropiado del sistema de prevención de sobrellenado de tanques? explique por qué.
7. ¿Mencione cuál era el principio de funcionamiento del actual sistema se sobrellenado?
8. ¿Hace cuánto fue instalado el sistema de prevención de sobrellenado?

9. Mencione cuales son los tanques que cuentan con el sistema de prevención de sobrellenado en la zona de Espuma.
  
10. ¿Conoce usted los principales problemas del actual sistema de prevención de sobrellenado?
  
11. ¿Cuáles funciones considera usted que debe cumplir el sistema de prevención de sobrellenado de tanques?