

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**“MEJORA EN SISTEMA DE MEDICIÓN DE NIVEL EN PISCINA DE SUCCIÓN DE BOMBAS DE
AGUA DE MAR, PLANTA GNL QUINTERO”**

Trabajo de Titulación para optar al Título
Profesional de Ingeniero de Ejecución en
CONTROL E INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

Alumno:

Felipe Rubén Muñoz Moreno

Profesor Guía:

Ing. Loreto Marín Carcey

2018

RESUMEN

KEYWORDS: TRABAJO DE TÍTULO, SUBSISTEMA DE CAPTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN AGUA DE MAR, GNL QUINTERO, INSTRUMENTACIÓN DE NIVEL, PISCINA DE RECEPCIÓN Y ALMACENAMIENTO, BOMBAS DE AGUA DE MAR.

El proyecto que se presenta a continuación expone un problema existente en el subsistema de captación y recepción de agua de mar de la planta GNL Quintero, específicamente en la instrumentación de nivel de la piscina de recepción y almacenamiento de agua de mar. Actualmente este subsistema se ve afectado por las constantes fallas que presentan los sensores y transmisores de nivel que provocan la activación de la lógica de seguridad que controla a este subsistema, produciendo detención e inhibición de equipos que conllevan a interrupción del proceso de producción de GNL Quintero.

En base a esto se ha realizado un estudio en el que se busca y propone una solución idónea para solucionar este problema para de esta forma mejorar el funcionamiento y rendimiento de la instrumentación asociada, por ende la disponibilidad y confiabilidad de este subsistema y del terminal.

ÍNDICE

RESUMEN 1

ÍNDICE 2

ÍNDICE DE FIGURAS 3

ÍNDICE DE TABLAS..... 4

SIGLAS Y SIMBOLOGIA 5

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES 3

1. ANTECEDENTES GENERALES 3

1.1. GNL QUINTERO 3

1.1.1. Accionistas GNL Quintero 4

1.1.2. Organigrama de la empresa 4

1.2. GAS NATURAL 6

1.2.1. Proceso 6

1.2.2. Importancia del Gas Natural 7

1.2.3. Ventajas del Gas Natural como combustible 8

1.2.4. Desventajas en el empleo del gas natural como combustible 8

1.3. USUARIOS GAS NATURAL..... 9

1.4. TERMINAL GNL QUINTERO 9

1.4.1. Terminales de Recepción..... 10

1.4.2. Diseño de terminal GNL Quintero 10

1.4.3. Composición general terminal GNL Quintero 11

1.4.4. Proceso de operación del Terminal..... 13

1.4.4.1. Recepción y descarga de GNL..... 13

1.4.4.2. Almacenamiento de GNL..... 14

1.5 SUBSISTEMA DE CAPTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA DE MAR 14

1.5.1. Piscina de agua de mar 15

1.5.2. Sistema de filtrado de piscina de agua de mar 16

1.5.2.1. Limpia reja (Trash Rake) 16

1.5.2.2. Filtro Rotatorio 18

1.5.3. Bombas de agua de mar 18

1.5.4. Instrumentación en subsistema de captación y distribución de agua de mar 19

1.6. IMPORTANCIA DE LA MEDICIÓN DE NIVEL EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES..... 20

1.7.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
1.8.	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	21
1.9.	IMPORTANCIA DE RESOLVERLO	23
1.10.	INVOLUCRADOS	23
1.11.	SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	24
1.12.	REQUERIMIENTOS	24
1.13.	ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	25
1.13.1.	Alternativa N°1: “Hacer nada”	25
1.13.2.	Alternativa N°2: “Inhibir la lógica de seguridad existente”	26
1.13.3.	Alternativa N°3: “Realizar montaje de nuevo tablero de comunicaciones, reparación de instrumentos y nuevo cableado de señales, mejorando condiciones actuales” ..	26
1.13.4.	Alternativa N° 4: “Adquisición, montaje y puesta en marcha de nueva tecnología para el sistema de medición y control de nivel”	26
1.14.	EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	27
1.15.	ALTERNATIVA SELECCIONADA	28
1.16.	VALOR AGREGADO	28
1.17.	OBJETIVOS	29
1.17.1.	Objetivo general	29
1.17.2.	Objetivos específicos	29
CAPÍTULO 2: DESARROLLO TÉCNICO DE LA SOLUCIÓN		
2.	DESARROLLO TÉCNICO DE LA SOLUCIÓN	31
2.1.	ETAPA 1: CONFECCIÓN, DISEÑO Y MONTAJE DE NUEVO TRAZADO DE CABLEADO Y TABLERO DE COMUNICACIONES.	33
2.1.1.	Elementos a utilizar	34
2.2.	ETAPA 2: MICROPILOT M FMR240, REPARACIÓN Y/O REEMPLAZO DE ELEMENTOS DAÑADOS, CONFIGURACIÓN Y PARAMETRIZACIÓN DE TRANSMISOR DE NIVEL TIPO RADAR	38
2.2.1.	Transmisores de nivel de líquidos tipo radar	38
2.2.2.	Aplicación de los transmisores de nivel tipo radar en piscina agua mar GNL Quintero	39
2.2.3.	Especificaciones técnicas del instrumento Micropilot M FRM240	41
2.2.4.	Principio de funcionamiento	43
2.2.5.	Protocolo de comunicación HART	45
2.2.6.	Tecnología asociada al equipo	46
2.2.7.	Reparación de elementos dañados	48
2.2.8.	Configuración de los transmisores de nivel	51

2.3.	ETAPA 3: IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS EN LAZO DE CONTROL	52
2.3.1.	Dispositivo Protector de sobre tensión	56
2.3.2.	Barrera intrínsecamente segura	57
2.3.3.	Terminal board.....	58
2.4.	DESARROLLO FINAL DE LA SOLUCIÓN	59
2.4.1.	Diagrama de funcionamiento lógico del sistema	59
2.4.2.	Diagrama conexionado lazo control estandarizado	60
CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE COSTOS		
3.	ESTUDIO DE COSTOS.....	66
3.1.	COSTOS DE EQUIPOS	67
3.2.	COSTOS DE MATERIALES E INSUMOS.....	68
3.3	COSTOS DE RECURSOS HUMANOS	74
3.3.1.	Empresa MIES.....	75
3.3.2.	Supervisor instrumentista	75
3.3.3.	Técnico instrumentista “M1”	76
3.3.4.	Técnico instrumentista “M2”	76
3.3.5.	ITO GNLQ.....	77
3.3.6.	Costo total asociado a Recursos Humanos	78
3.4.	CÁLCULO FINAL DE COSTOS ASOCIADOS AL PROYECTO.....	78
3.5.	RESUMEN DE COSTOS	79
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		80
BIBLIOGRAFÍA		81
ANEXOS		82
ANEXO A: CONFIGURACIÓN DE LOS EQUIPOS		83
ANEXO B: COTIZACIONES EQUIPOS EN BASE A SAP		93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- 1. Terminal GNL Quintero.....	3
Figura 1-2. Gráfico de Participación de Inversionistas en GNL Quintero	4
Figura 1-3. Diagrama Organigrama de la empresa.....	5
Figura 1-4. Diagrama Organigrama de la gerencia de planta.....	5
Figura 1-5. Vista general de la planta	10
Figura 1-6. P&ID Esquema General Proceso GNL Quintero	12
Figura 1-7. Esquema de operación del terminal GNL Quintero	13
Figura 1-8. Ingreso agua de mar a piscina	15
Figura 1-9. Piscina de agua de mar.....	16
Figura 1-10. Limpia Reja “Trash Rake”	17
Figura 1-11. Filtro Rotatorio	18
Figura 1-12. Bombas de agua de mar.....	19
Figura 1-13. P&ID instrumentación nivel piscina agua de mar	20
Figura 1-14. Diagrama Ishikawa	22
Figura 2-1. Diagrama implementación propuesta seleccionada.....	31
Figura 2-2. Nuevo trazado de cableado y tablero de comunicaciones	33
Figura 2-3. Escalerilla FRP	34
Figura 2-4. Unión Eclisa	35
Figura 2-5. Tablero Inoxidable Rittal	36
Figura 2-6. Cable Belden HART	37
Figura 2-7. Tabla comparativa medidores de nivel en líquidos.....	40
Figura 2-8. Condiciones del proceso almacenamiento agua mar	41
Figura 2-9. Transmisor de Nivel Micropilot M FMR240	42
Figura 2-10. Funcionamiento TOF – Envío pulso electromagnético	43
Figura 2-11. Funcionamiento TOF – Pulso electromagnético reflejado.....	44
Figura 2-12. Modo de transmisión de datos HART.....	46
Figura 2-13. Señal del eco con tecnología “Multiecho Tracking”	47
Figura 2-14. Señal de salida con tecnología “Multi-Echo Tracking”	47
Figura 2-15. Módulo HF	48
Figura 2-16. Módulo electrónica principal	49
Figura 2-17. Display LCD	50

Figura 2-18.DCS “Centum VP” de Yokogawa.....	53
Figura 2-19. Diagrama conexión lazo estándar	54
Figura 2-20. Conexión actual lazo control fuera de estándar	55
Figura 2-21. Dispositivo protección contra sobre tensión	56
Figura 2-22. Barrera intrínsecamente segura.....	57
Figura 2-23. Tarjeta Terminal	58
Figura 2-24. Diagrama de funcionamiento lógico transmisores nivel.....	60
Figura 2-25. Diagrama de conexión lazo del equipo LT-4001_1 estandarizado.....	61
Figura 2-26. Diagrama de conexión lazo del equipo LT-4001_2 estandarizado.....	62
Figura 2-27. Diagrama de conexión lazo del equipo LT-4001_3 estandarizado.....	63
Figura 3-1. Terminal “gland”.....	69
Figura 3-2. Terminal tipo puntilla	69
Figura 3-3. Amarra cables.....	70
Figura 3-4. Borneras de conexión.....	71
Figura 3-5. Riel DIN	71
Figura 3-6. Cable puesta tierra	72
Figura 3-7. Carta Gantt	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Requerimientos del proyecto. 24

Tabla 1-2. Continuacion de requerimientos del Proyecto. 26

Tabla 1-3. Calificacion de alternativas 27

Tabla 1-4. Exhibición de los resultados obtenidos en la comparación de alternativas.....28

Tabla 1-5.Continuación de Exhibición de los resultados obtenidos en la Comparación de alternativas.....29

Tabla 2-1. Elementos de anclaje y fijaciones.....36

Tabla 2-2. Constantes dieléctricas de algunos materiales 45

Tabla 3-1. Costos equipos.....68

Tabla 3-2. Costos materiales e insumos 73

Tabla 3-3. Costos supervisor instrumentista 76

Tabla 3-4. Costos técnico instrumentista “M1” 76

Tabla 3-5. Costos técnico instrumentista “M2” 77

Tabla 3-6. Costos ITO GNLQ.....77

Tabla 3-7. Resumen costos asociados a Recursos Humanos 78

Tabla 3-8. Costos finales del proyecto.....78

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

SIGLA

AC	: Alternate Current (Corriente alterna)
AISI	: American Iron and Steel Institute (Instituto Americano del Hierro y el Acero)
ANSI	: American National Standard Institute (Instituto Nacional Americano de Normalización)
AWG	: American Wire Gauge (Medida de cable Americana)
ATEX	: Appareils destinés à être utilisés en Atmosphères Explosives (Aparatos para uso en Atmosferas Explosivas)
CLP	: Chilean Pesos (Pesos Chilenos)
DC	: Direct Current (Corriente continua)
DCS	: Distributed Control System (Sistema de Control Distribuido)
FC	: Factor de conversión
FMCW	: Frequency Modulated Continuous Wave (Onda Continua de Frecuencia Modulada)
FRP	: Polymer Reinforced Fibers (Polimérico Reforzado con Fibras)
GN	: Gas Natural
GNL	: Gas Natural Licuado
FSK	: Frequency Shift Keying (Modulación por saltos de Frecuencia)
HART	: High-way Adressable Remote Transducer (Transmisor remoto direccionable)
HF	: High Frequency (Alta Frecuencia)
HP	: High Pressure (Alta Presión)
IEC	: International Electrotechnical Commision (Comisión Electrotécnico International)
IP	: Índice de protección
IPC	: Índice per cápita
ISA	: International Society of Automation (Sociedad internacional de automatización)
ITO	: Inspector Técnico de Obra
IVA	: Impuesto de Valor Agregado

LP	: Low Pressure (Baja Presión)
LRV	: Lower Range Value (Valor más bajo del rango)
LT	: Level Transmitter (Transmisor de Nivel)
MIR	: Main Instrument Room (Sala de instrumentos principal)
OPEX	: Operating Expense (Gasto Operativo)
ORV	: Open Rack Vaporizer (Vaporizador de Panel Abierto)
PLC	: Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programable)
P&ID	: Piping and Instrument Diagram (Diagrama de Instrumentos y Tuberías)
RMS	: Root Mean Square (Media cuadrática – Valor eficaz)
RRHH	: Recursos Humanos
SCV	: Submerged Combustion Vaporizer (Vaporizador de Combustión Sumergida)
SIC	: Sistema Interconectado central
SIF	: Safety instrumented function (Función Instrumentada de Seguridad)
SIL	: Safety instrumented level (Nivel instrumentado de seguridad)
SS	: Stainless Steel (Acero Inoxidable)
SW	: Sea Water
TOF	: Time Of Flight (Tiempo De Vuelo)
UF	: Unidad de Fomento
URV	: Upper Range Value (valor más alto del rango)
USD	: United States Dollar (Dólares Estado Unidenses)
ZP	: Zero Point (Punto Cero)

SIMBOLOGÍA

A	: Ampere
cc	: Centímetros Cúbicos
dB	: Decibel
ft	: Feet (pies)
F/m	: Faradios por metro
GHz	: Giga-Hertz
HP	: Horse Power (Caballos de Fuerza)
inch	: Inches (pulgadas)
Kg	: Kilógramos

Km : Kilómetros

KV : Kilo-Volts

m : Metros

mA : Mili-amperes

mm : Milímetros

m/s : Metros por segundo

m³ : Metros Cúbicos

m³/h : Metros Cúbicos por hora

MJ : Mega Joule

MW : Mega Watt

NA⁻² : Newton-Ampere

Nm : Newton-Metros

Ns/m³ : Newton-segundos/Metro cúbico

Rpm : Revoluciones por minuto

s : Segundos

V : Volts

W : Watts

°C : Grados Celsius

INTRODUCCIÓN

Debido a la incertidumbre generada desde el año 2004 en el suministro y constante variación en los precios del gas natural traído desde Argentina vía gasoducto, se comenzaron a desarrollar proyectos para contar con fuentes independientes y asequibles de gas natural para Chile, que le permitieran acceder a un suministro confiable y seguro, pudiendo de esta forma abastecerse desde cualquier fuente productora en el mundo.

El desarrollo de esta nueva arista para la matriz energética de Chile trajo consigo nuevos desafíos para el sector industrial nacional, lo que incluye el desarrollo de especialistas para la operación y mantención de estos terminales. Es en este marco, donde se hace de suma importancia el desarrollo de estudios y metodologías en lo que se refiere al mantenimiento de terminales de gas natural licuado, donde garantizar una operación confiable y segura está íntimamente ligado a la ejecución de las actividades de mantenimiento en cada uno de los sistemas del proceso productivo del terminal. Esto se logra en la medida en que se tengan claramente identificados y controlados los diferentes factores externos e internos que interactúan en la operación.

Dado este contexto es que se ha considerado diseñar un plan de mejora para el sistema de medición de nivel de la piscina de captación y distribución del Terminal GNL Quintero S.A. debido a que este subsistema es fundamental para el proceso de producción del Terminal.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1. ANTECEDENTES GENERALES

El presente capítulo tiene por objetivo dar a conocer el problema que da origen al diseño del presente proyecto, las alternativas de solución posibles que permiten solucionar el problema y la alternativa de solución escogida que representa el mayor beneficio para la mejora del sistema de medición de nivel en piscina de succión de bombas de agua de mar, planta GNL Quintero.

1.1. GNL QUINTERO

GNL Quintero es el primer Terminal de recepción, descarga, almacenamiento y regasificación de Gas Natural Licuado (GNL) del hemisferio sur. Se encuentra ubicado en la bahía de Quintero en la Quinta Región (Figura 1-1) y tras su puesta en marcha en 2009, abastece de forma segura y confiable la demanda de gas natural (GN) de la zona central de Chile, contribuyendo así, a la diversificación y seguridad energética del país.

Cuenta con una instalación de clase mundial que requirió una inversión de US\$1.080 millones y cumple con los más exigentes estándares de seguridad, calidad y eficiencia. El Terminal permite acceder al mercado global del GNL y poner a disposición del mercado chileno, a través de GNL Chile (www.gnlchile.com), este combustible, más limpio, seguro y económico, a diversos segmentos como el residencial, comercial, industrial, de transporte y generación eléctrica, con grandes beneficios para el desarrollo de Chile, su medio ambiente y la calidad de vida de sus habitantes.

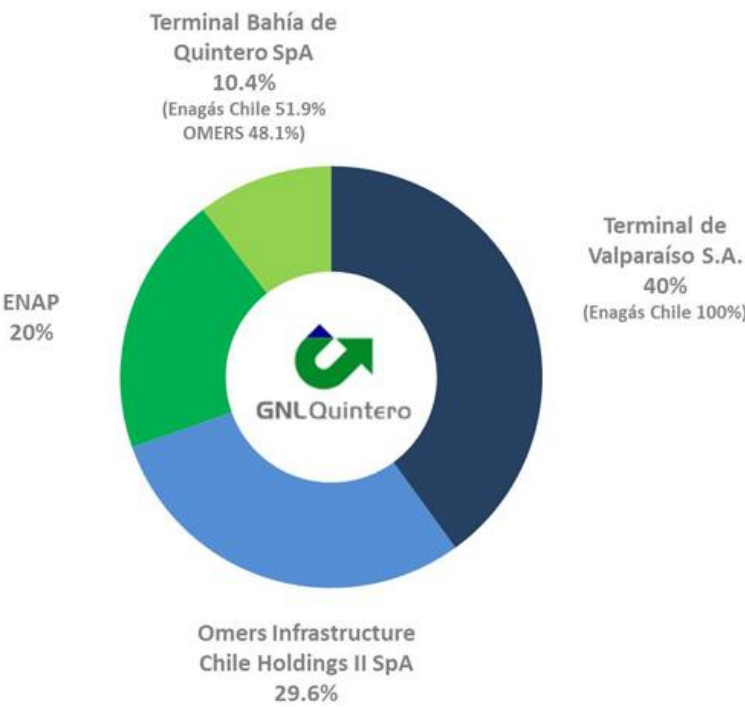


Fuente: www.gnlquintero.com

Figura 1- 1. Terminal GNL Quintero

1.1.1. Accionistas GNL Quintero

GNL Quintero es una Sociedad Anónima cuyos accionistas son Terminal de Valparaíso S.A. (Enagás Chile), Omers Infrastructure Chile Holdings II SpA, ENAP, y Terminal Bahía de Quintero SpA (Enagás Chile – OMERS), empresas de prestigio y trayectoria en la industria energética y de infraestructura. Para una mejor comprensión de la estructura de los propietarios de GNL Quintero, se presenta la siguiente figura 1-2.



Fuente: www.gnlquintero.com

Figura 1-2. Gráfico de Participación de Inversionistas en GNL Quintero

1.1.2. Organigrama de la empresa

La empresa está conformada principalmente por una Gerencia General, encargada de liderar la compañía hacia el cumplimiento de los objetivos estratégicos de ésta. Entre sus principales tareas se encuentran: coordinar la planificación estratégica, determinar los factores críticos de éxito, establecer los objetivos, metas y prioridades para la empresa.

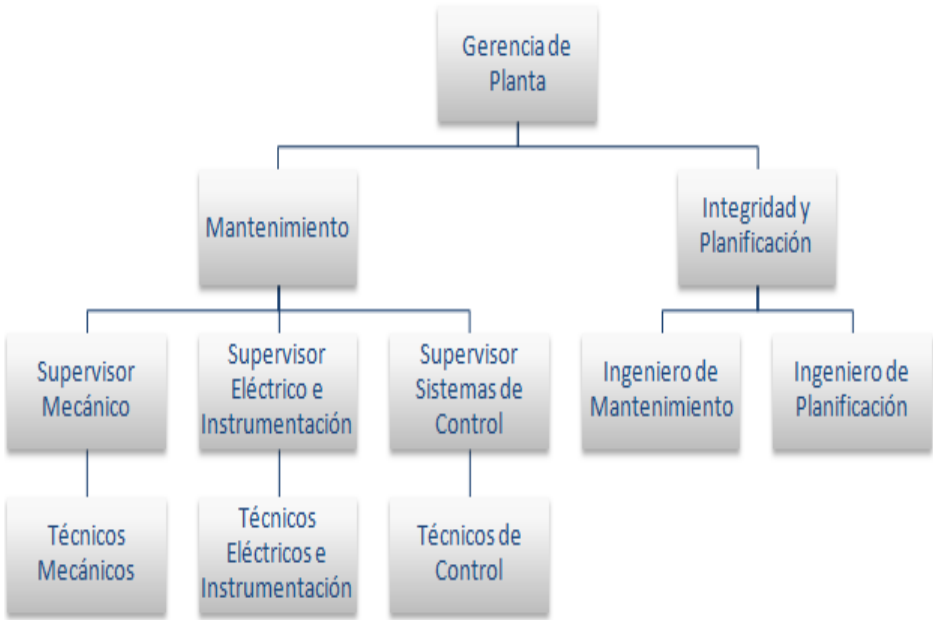


Fuente: Gerencia de planta de GNL Quintero.

Figura 1-3.Diagrama Organigrama de la empresa

De la Gerencia General se desprenden las diferentes áreas mostradas en la figura 1-3, siendo la gerencia de planta la encargada de la operación y el mantenimiento del terminal.

En la figura 1-4, se muestra la constitución de la gerencia de planta indicando solamente las áreas de responsabilidad directa con la mantención del terminal. La función de esta área es lograr que los sistemas y equipos de la planta alcancen y mantengan los niveles de seguridad, desempeño y confiabilidad de diseño. Para ello se administra un plan de mantenimiento que incluye tareas preventivas, predictivas y correctivas, priorizando la seguridad, eficiencia de costos y mano de obra, cuidado del medio ambiente.



Fuente: Gerencia de planta de GNL Quintero.

Figura 1-4. Diagrama Organigrama de la gerencia de planta

1.2. GAS NATURAL

El gas natural es uno de los combustibles más importantes: genera un cuarto de toda la energía utilizada en el mundo y su consumo está aumentando rápidamente. Los principales productores de gas natural son Rusia, Qatar, Irán y Estados Unidos.

El gas natural es un hidrocarburo, los mismos son moléculas compuestas de hidrógeno y átomos de carbono principalmente (C_nH_{n+2}), pueden ser pesados o livianos. A mayor n , es decir, mayor número de átomos de carbono, más pesado el hidrocarburo. Los hidrocarburos más livianos son gases a temperatura y presión normales y se denominan *gas natural*. La composición del gas natural depende de su fuente. El componente más frecuente, entre 80% y 95%, es el metano (CH_4). El gas natural también contiene etano (C_2H_6), propano (C_3H_8), y butano (C_4H_{10}). También puede contener agua, dióxido de carbono, nitrógeno, sulfuro de hidrógeno y pequeñas cantidades de mercurio.

La cantidad de calor producida por la combustión del gas (su poder calorífico) promedia los 39 [MJ] por metro cúbico. El gas natural es más liviano que el aire; tiene una gravedad específica de aproximadamente 0,6 [-] (en comparación con el aire que tiene una gravedad específica de 1,0 [-]). Por ende, el gas natural se disipa en la atmósfera. Sin embargo, si se encierra, las concentraciones pueden llegar a mezclas explosivas y producir detonaciones devastadoras.

El gas natural es incoloro e inodoro, de manera que no es fácil detectar fugas. Por lo tanto, las normas de seguridad exigen la adición de un odorizante muy potente al gas antes que llegue al consumidor. Este odorizante es conocido como mercaptano.

1.2.1. Proceso

Para que el gas natural pueda ser consumido por los usuarios finales, debe pasar por una cadena de procesos. Su origen está en los yacimientos de gas natural (formado principalmente por metano) subterráneos o submarinos que existen en diferentes lugares del mundo.

El gas natural se extrae de los yacimientos a través de pozos y es tratado en plantas que eliminan las impurezas como: vapor de agua, helio y azufre; separan los gases como: etano, nitrógeno y CO_2 y extraen los líquidos como: propano, butano, pentano y hexano.

Luego, el gas natural es procesado en plantas de licuefacción, las que le reducen la temperatura hasta los -160 [°C], cambiando a estado líquido. De esta forma, el gas natural se

transforma en Gas Natural Licuado, reduciendo su volumen en 600 veces y haciendo viable su transporte en barco a los terminales de regasificación, ubicados en diferentes lugares del mundo, entre ellos el de GNL Quintero.

El GNL es transportado en forma líquida en barcos especialmente diseñados que mantienen el combustible a $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$. Cuando un barco de GNL recala en el terminal de regasificación, el GNL es descargado utilizando brazos de descarga, para luego ser almacenado a $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ en los 3 tanques ubicados en tierra.

Luego, el Gas Natural Licuado es bombeado al área de regasificación, donde se realiza el proceso de vaporización (por el cual el GNL se transforma nuevamente en gas natural), e inyectado a la red de gasoductos para abastecer a los clientes residenciales, comerciales, de transporte, industriales, petroquímicos y de generación eléctrica en la zona central de Chile.

1.2.2 Importancia del Gas Natural

El gas natural desempeña una función cada vez más importante en el suministro de energía en el mundo. En 2015, el 23,6% del suministro de energía del mundo se cubrió con gas natural. Se espera que su importancia aumente aún más a lo largo de los próximos 20 años, debido a varios factores:

- Las reservas de gas natural están creciendo más rápido que las reservas de petróleo.
- Los adelantos tecnológicos han permitido la extracción de gas de áreas previamente inaccesibles y la construcción de tuberías para su transporte a través de grandes distancias hasta los mercados.
- El gas natural no es dañino para el medio ambiente (contamina menos que el carbón o el petróleo).
- El uso de turbinas a gas para la generación de electricidad reduce los costos en gran medida.

1.2.3. Ventajas del Gas Natural como combustible

En este apartado, se detallarán las principales ventajas que ofrece el gas natural para ser empleado como combustible para la generación de energía.

- Ambientales: En cuanto a la combustión se considera que es de características muy limpias pues genera una reducida emisión de óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y dióxido de carbono e hidrocarburos reactivos, y además virtualmente no genera dióxido de azufre disminuyendo la lluvia ácida, características que le dan gran ventaja en relación de otros combustibles fósiles como el carbón y el petróleo, debido a todo esto es actualmente de considera uno de los combustibles más respetuosos con el medio ambiente.
- Técnicas: El GN no es corrosivo y tampoco absorbente.
- Económicas: Tiene un precio que hasta ahora y considerando su demanda sigue siendo muy competitivo comparado con otros combustibles. Reduce costos de mantenimiento de equipos de combustión e incrementa la eficiencia de los procesos de generación y cogeneración de energía.
- Seguridad: El GN es más ligero que el aire y es seguro de transportar.

1.2.4. Desventajas en el empleo del gas natural como combustible

En este apartado, se detallarán las principales desventajas que ofrece el gas natural para ser empleado como combustible para la generación de energía.

- Tiene un impacto algo superior al dióxido de carbono como gas de efecto invernadero, esto obliga a ser muy estrictos en su manejo, evitar al máximo posible las fugas y cuidar las condiciones de su combustión.
- Alto costo de las instalaciones y de la Infraestructura del sistema de distribución.
- Poder Calorífico resulta algo menor en comparación con el gas licuado.

1.3. USUARIOS GAS NATURAL

Los principales usuarios del gas natural que es procesado en el Terminal de GNL Quintero son las empresas de generación eléctrica, las industrias, las refinerías, el consumo residencial, comercial y de transporte.

El gas natural que es procesado en GNL Quintero abastece al parque de centrales eléctricas de ciclo combinado y ciclo abierto de la zona central, permitiendo una generación más limpia, eficiente y de menor costo. Desde la puesta en marcha del Terminal, alrededor del 20% de la generación eléctrica producida en el Sistema Interconectado Central (SIC), ha sido en base a este combustible.

Las industrias también han optado por las ventajas del gas natural, abasteciéndose directamente desde las redes de gasoductos o por camiones especiales que llevan el GNL hasta sus instalaciones, en las que es vaporizado y consumido como gas natural.

Por otro lado, el parque residencial ya considera al gas natural como combustible para ser utilizado en las instalaciones de baños, cocinas y calefacción. A estos usos se debe agregar la utilización del GNL como combustible vehicular, un mercado que se proyecta como un importante cambio en esta industria al poseer ventajas en precio, rendimiento y protección medioambiental.

Según un estudio realizado por la consultora Bentek Energy en el 2014, indica que la demanda de GNL en el país podría aumentar en un 50% en los próximos diez años dependiendo de la construcción de nuevas plantas y la ejecución de los proyectos de expansión.

1.4. TERMINAL GNL QUINTERO

Esta sección abarcará la composición del terminal de descarga, almacenamiento y regasificación de gas natural licuado, GNL Quintero; se ahondará en su infraestructura, su diseño y su principio de operación.

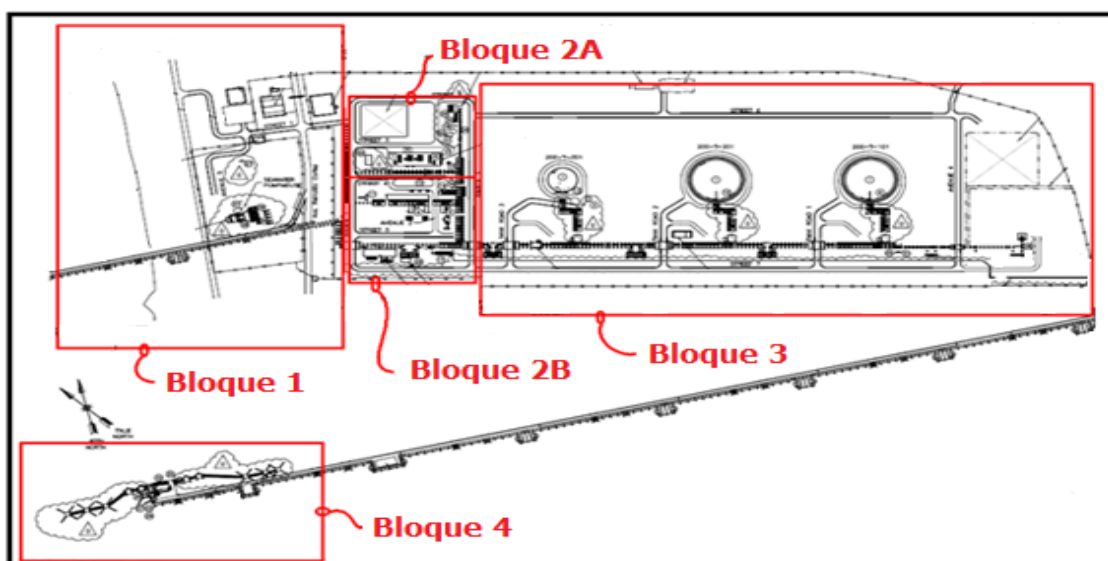
1.4.1 Terminales de Recepción

Los terminales receptores o plantas de regasificación, transforman el GNL nuevamente en gas, calentándolo y enviándolo al sistema de distribución por gasoducto. El costo de los terminales de GNL depende de varios factores: la geología, la estabilidad del suelo y la actividad sísmica, los costos de mano de obra y construcción, el medio ambiente marino, las licencias y permisos, y la construcción de tuberías de GNL hasta la planta. Los tanques de almacenamiento, que pueden estar en o por debajo de la superficie, representan el componente más caro del terminal.

1.4.2 Diseño de terminal GNL Quintero

La Figura 1-5 es una vista general del diseño de la planta. Para facilidad de revisión, la planta se describe en bloques:

- El Bloque 1 es el área de control, administración y de entrada de agua salada (subsistema de succión de agua de mar). Incluye los edificios relacionados con la administración de la planta.
- El Bloque 2 (A y B) es el área de proceso donde está ubicada la mayor parte de los equipos de proceso de la planta.
- El Bloque 3 es el área del estanque de almacenamiento.
- El Bloque 4 es el muelle donde atracan los barcos y descargan su contenido de GNL.



Fuente: Manual operaciones GNL Quintero

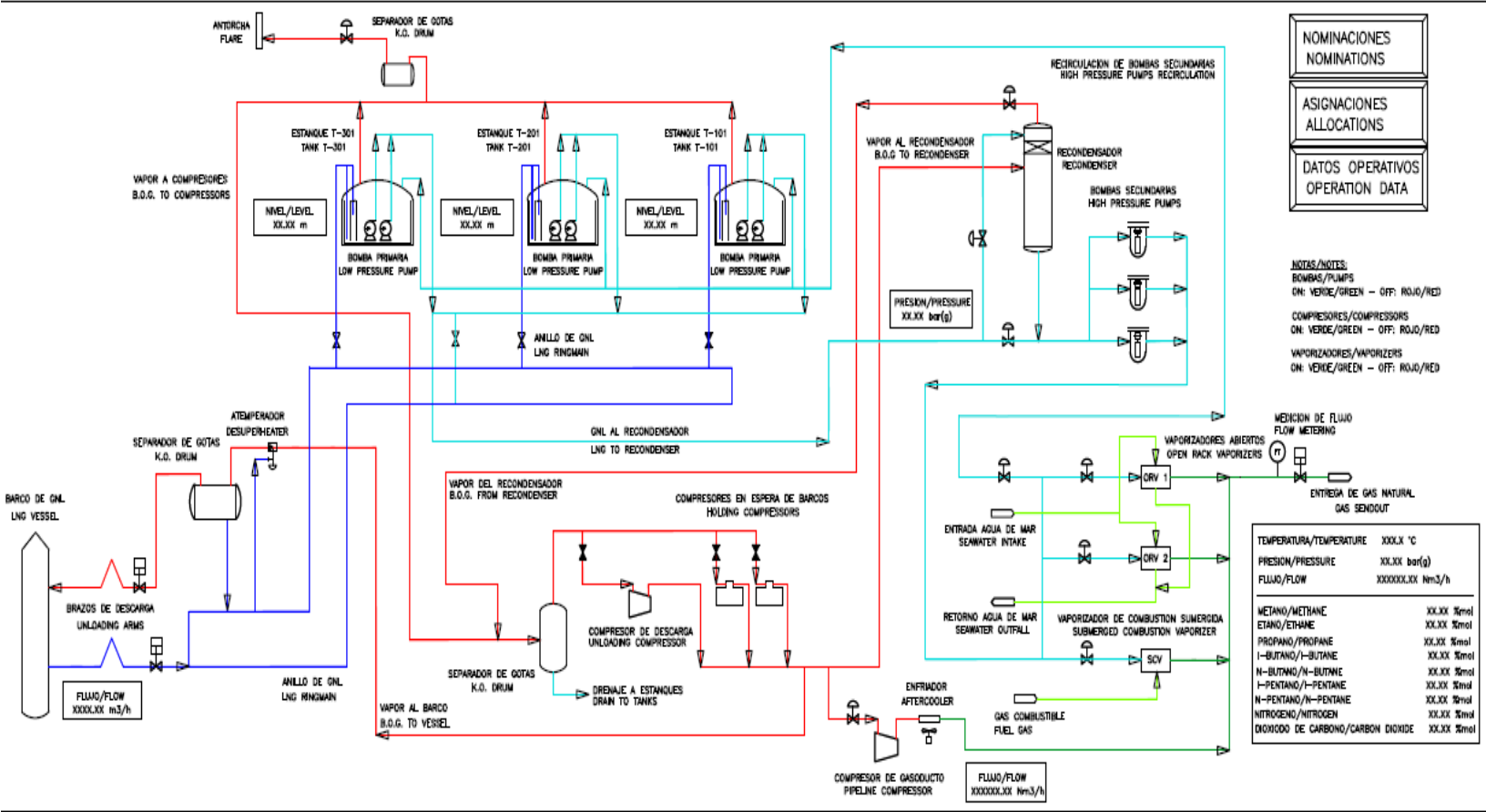
Figura 1-5. Vista general de la planta

1.4.3. Composición general terminal GNL Quintero

La composición general del terminal es de:

- 3 Estanques en tierra con 3 Bombas de baja presión (LP) al interior de cada estanque.
- 4 Compresores de Gas.
- 5 Bombas de alta presión (HP)
- 4 Vaporizadores, 3 vaporizadores de panel abierto (ORV) y 1 vaporizador de combustión sumergida (SCV).
- 5 brazos de descarga de GNL, ubicados en el muelle de descarga.
- 4 Bombas succión agua mar (SW Pump), ubicadas en una piscina de succión de agua de mar (subsistema de succión de agua de mar).

La producción de gas natural se divide en 3 trenes de vaporización, cada tren es formado por una bomba de agua de mar, una bomba baja presión, una bomba alta presión y un vaporizador, elementos que en conjunto y dentro de un proceso de operación específico alcanzan una producción de 5 millones de metros cúbicos de gas natural por día, es decir, una producción total de 15 millones de metros cúbicos de gas natural por día, permitiendo satisfacer la demanda de la zona central del país. La Figura 1-6 representa el P&ID general del proceso GNL Quintero.

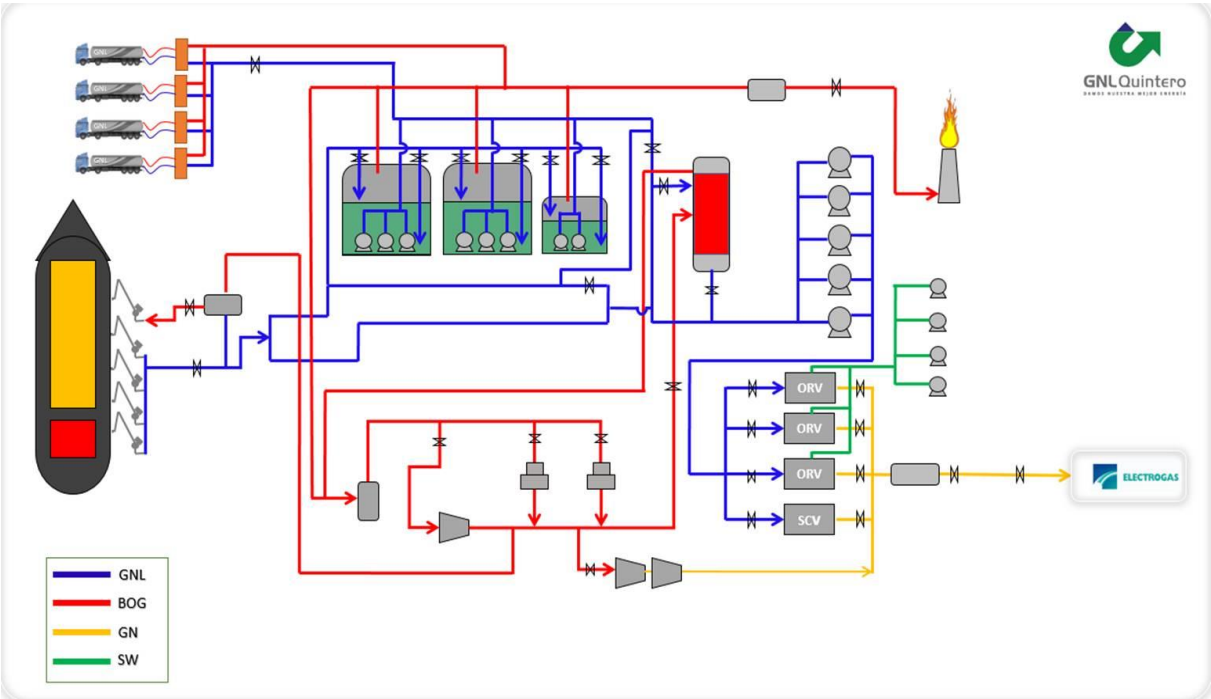


Fuente: Manual operaciones GNL Quintero

Figura 1-6. P&ID Esquema General Proceso GNL Quintero

1.4.4 Proceso de operación del Terminal

En la sección anterior se describieron la composición y principales activos del terminal GNL Quintero. En esta parte se explicarán los dos grandes procesos de operación del terminal de GNL Quintero: el proceso de “Recepción y descarga de GNL” y el proceso de “Almacenamiento de GNL”. El esquema general de operación del terminal se muestra en la figura 1-7.



Fuente: Manual operaciones GNL Quintero.

Figura 1-7. Esquema de operación del terminal GNL Quintero

1.4.4.1. Recepción y descarga de GNL

El gas natural se recibe en fase líquida (GNL) desde las plantas de licuefacción en barcos metaneros. Estos barcos atracan en el muelle del terminal donde se realiza la descarga mediante brazos específicos para líquidos criogénicos y otro brazo para el retorno de vapor.

1.4.4.2. Almacenamiento de GNL

El gas natural licuado se almacena en tres tanques a una temperatura de $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$. La presión en el interior de los tanques se controla mediante los vapores que se generan por evaporación del gas natural (Boil Off Gas), vapores generados por la ganancia de calor del estanque de almacenamiento. Estos vapores se extraen de los tanques y se recuperan mediante unos compresores que envían el BOG al Recondensador para devolverlo al estado líquido y enviarlo a las bombas de alta presión, que impulsan el GNL hacia los vaporizadores. Cuando por circunstancias de la planta no es posible recuperar estos vapores, se desvían a la antorcha, donde se produce una combustión controlada de los mismos.

1.5 SUBSISTEMA DE CAPTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA DE MAR

Es en este subsistema del Terminal GNL Quintero en donde se concentrará este proyecto de titulación, específicamente en la instrumentación de nivel que lo opera, ya que es una parte fundamental del proceso general del terminal. A continuación se presenta brevemente el subsistema de captación y distribución y los componentes de este para comprender el entorno en que opera la instrumentación de nivel a desarrollar

Un subsistema del proceso general de producción de gas natural en el terminal GNL Quintero, es el proceso de captación y distribución de agua mar. Este subsistema es de vital importancia para el proceso productivo del Terminal, ya que tiene como fin proporcionar agua de mar a la etapa de vaporización del proceso general del terminal, para poder transformar el gas natural licuado (GNL) a gas natural (GN) por medio de la transferencia de temperatura entre el agua de mar $11\text{ }^{\circ}\text{C}$ y el GNL $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Este subsistema está compuesto por:

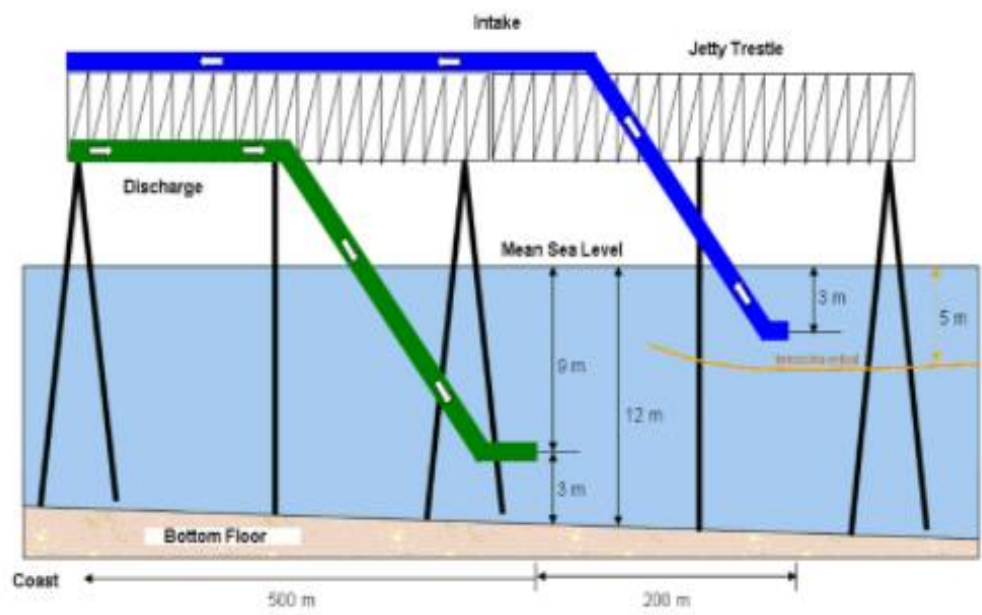
- 1 piscina de agua de mar, representada en figura 1-9. “piscina agua de mar”.
- 1 sistema de filtrado, representado en las figuras 1-10. “Limpia reja” y 1-11. “Filtro rotatorio”.
- 4 bombas de succión, representadas en la figura 1-12. “Bombas de agua de mar”.
- Instrumentación de proceso, representada en la figura 1-13- “P&ID instrumentación de nivel de piscina de agua de mar”.

1.5.1. Piscina de agua de mar

La piscina de agua de mar es la encargada de recepcionar y almacenar el agua de mar proveniente del océano, 700 [m] mar adentro transportada por medio de una tubería. Posee una altura de 15,85 [m] y un nivel de trabajo normal entre 50% y 55%. Dentro de sus principales características destacan:

- Capacidad de admisión: 19.828 [m³/h]
- Dimensiones:
Ancho: 19 [m]
Largo: 14 [m]

Las figuras 1-8 y 1-9 representan una descripción gráfica del ingreso del agua de mar y la piscina de almacenamiento respectivamente.



Fuente: Manual operaciones GNL Quintero

Figura 1-8. Ingreso agua de mar a piscina



Fuente: Manual operaciones GNL Quintero

Figura 1-9. Piscina de agua de mar

1.5.2. Sistema de filtrado de piscina de agua de mar

Es un sistema de limpieza y filtrado de agua de mar compuesto por 2 equipos llamados “limpia reja” y por 2 equipos llamados “filtros rotatorios”. Su función es disminuir el material no deseado que ingresa por la toma de agua de mar hasta la piscina de succión de las bombas para que estos elementos no ingresen hacia el cabezal de distribución de agua de mar.

1.5.2.1. Limpia reja (Trash Rake)

Consiste en una rejilla móvil (Figura 1-7.) que desciende hasta el fondo de la piscina donde recoge restos o material considerable.



Fuente: Manual operaciones GNL Quintero

Figura 1-10. Limpia Reja “Trash Rake”

1.5.2.2. Filtro Rotatorio

Consiste de una rejilla rotatoria (Figura 1-8.) que llega al fondo de la piscina recogiendo material de un tamaño menor que el equipo limpia reja. En su parte superior posee dosificadores de agua que la limpian y filtran, enviando los objetos no deseados a un canal que va a dar a canastillos de desechos.



Fuente: Manual operaciones GNL Quintero

Figura 1-11. Filtro Rotatorio

1.5.3. Bombas de agua de mar

El terminal GNL Quintero cuenta con 4 bombas de agua de mar que succionan el agua desde la piscina de recepción y almacenamiento para impulsarla a un cabezal común de distribución de agua de mar a una presión de 7 [bar].

Sus principales características son que es una bomba vertical de desplazamiento no positivo, posee un motor de 1500 [rpm] energizado con 6.6 [KV] y tiene una capacidad de entregar un flujo de descarga máximo de 6000 [m³/h]. La potencia nominal de este equipo es de 1.3 [MW]. La figura 1-9 representa una bomba de agua de mar y sus principales características de operación.



Fuente: Manual operaciones GNL Quintero

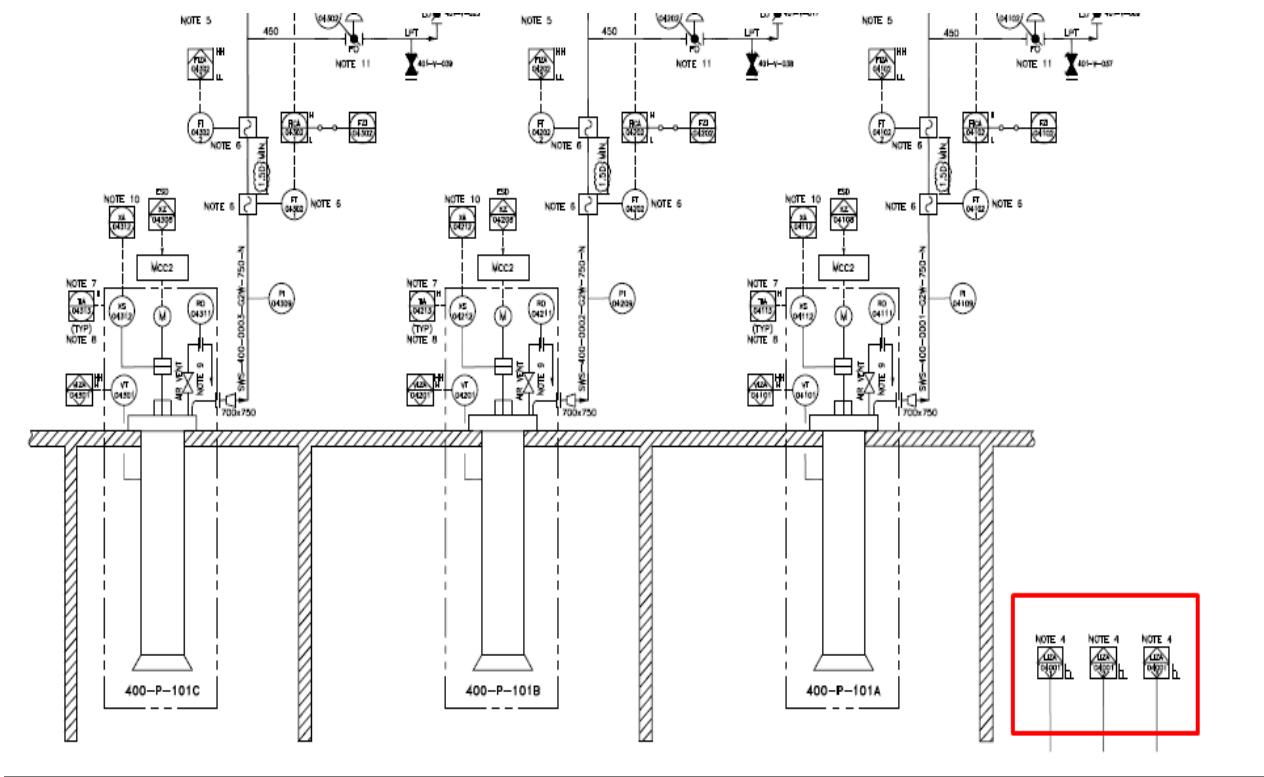
Figura 1-12. Bombas de agua de mar

1.5.4. Instrumentación en subsistema de captación y distribución de agua de mar

El subsistema de captación y distribución de agua de mar posee instrumentación de diversas variables destinada a medir, monitorear, controlar y proteger los activos de este subsistema, elementos descritos anteriormente.

Entre las variables que interactúan en este subsistema se pueden encontrar temperatura, vibración, flujo, presión y nivel, siendo esta última de las más relevantes debido a su gran impacto en la operación de este subsistema y del terminal.

En el desarrollo de este trabajo, se dará énfasis a la instrumentación de la variable nivel que opera este subsistema, ya que su buen funcionamiento juega un rol fundamental en la medición y monitoreo del nivel en piscina de captación de agua de mar para controlar el arranque y/o detención de bombas que impulsan este suministro a equipos Vaporizadores, encargados de realizar la regasificación de gas natural licuado (GNL) a gas natural (GN). Esta instrumentación está compuesta por 3 transmisores de nivel redundantes del tipo radar, específicamente los equipos “Micropilot M FMR240” de la marca “Endress+Hauser” denominados LT-4001_1, LT-4001_2 y LT-4001_3. La figura 1-13 muestra un extracto de un P&ID de las bombas de agua de mar de la piscina del terminal con los transmisores de nivel mencionados anteriormente (destacados en un recuadro color rojo).



Fuente: Data Sheet bombas agua mar GNL Quintero

Figura 1-13. P&ID instrumentación nivel piscina agua de mar

1.6. IMPORTANCIA DE LA MEDICIÓN DE NIVEL EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES

Entre los distintos tipos de industrias, la medición continua de nivel juega un rol fundamental principalmente en dos ámbitos: la consideración del balance adecuado de productos o materias primas almacenadas en estanques y/o recipientes y el funcionamiento correcto del proceso como tal.

Hoy en día existen centenares de productos que a diario se almacenan en estanques y/o recipientes para su posterior intervención. Debido a la gran variedad de productos que es posible encontrar, existen varios principios de medición de nivel acordes a cada tipo de producto, entre éstos se encuentran: transmisores de nivel ultrasónicos, radares, tele medidas, sondas guiadas, cinta métrica y plomada, presión diferencial, etc.

La implementación de transmisores de nivel “inteligentes” permite una interpretación real del nivel actual con el cual se puede eliminar o compensar errores causados por falsas alarmas activadas debido a, por ejemplo, movimientos en el producto, influencias de espuma

por sobre el nivel del producto a medir, etc. y adicionalmente permite realizar una fácil calibración del equipo en cualquier instante.

Un error en la medición de nivel en una industria puede significar riesgos de pérdidas de producto, equipos, instalaciones e incluso personal humano, es por esto que una medición de nivel correcta es fundamental al momento de una óptima producción.

1.7. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

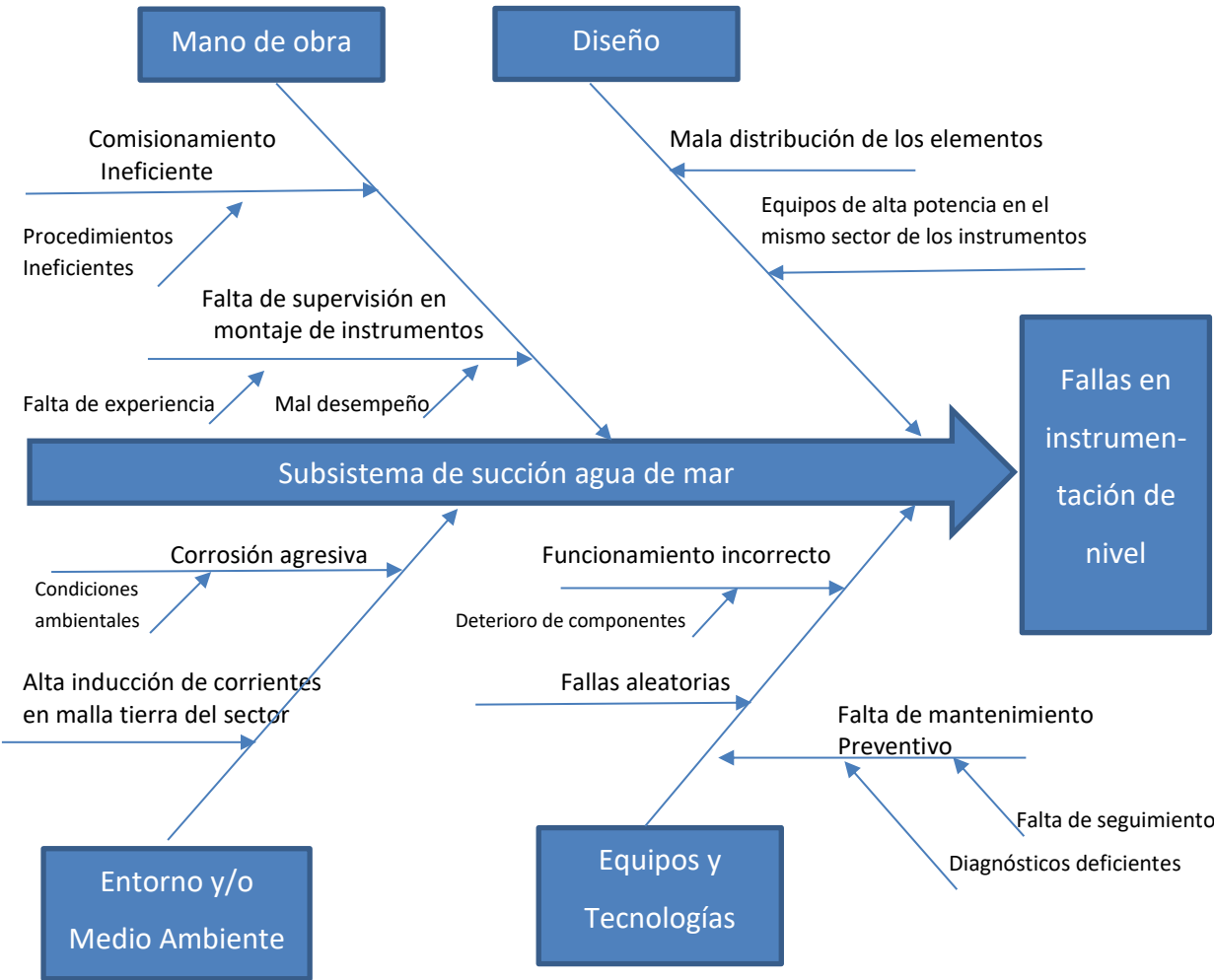
Se presentan fallas de operación intermitentes en transmisores de nivel tipo radar del subsistema de captación y distribución de agua de mar del terminal GNL Quintero, provocando inestabilidad en el lazo de control lo que desencadena detenciones e inhibiciones de equipos, trayendo como consecuencia interrupciones en el proceso de operación del terminal, afectando directamente la producción de la empresa.

1.8. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente la instrumentación de nivel que opera en el subsistema de captación y distribución de agua de mar del terminal GNL Quintero, se encuentra presentando intermitentes fallas de operación. Durante mantenimientos correctivos a dicha instrumentación, se detecta disminución de intensidad de señal de sensores y salida de corriente inestable en transmisores. Mediante la realización de mediciones, estudios y pruebas experimentales en el lazo de control de nivel, se evidencia presencia de inducción electromagnética en los instrumentos, condición anómala que se debe a equipos de alta potencia presentes en la misma área, lo que origina daño a la electrónica de los instrumentos provocando que operen de manera incorrecta, perdiendo confiabilidad.

Estos instrumentos son utilizados para medir, monitorear y controlar el nivel agua de mar en piscina para controlar el arranque y/o detención de bombas que impulsan el agua a vaporizadores encargados de realizar la regasificación de gas natural licuado (GNL) a gas natural (GN). La condición de baja intensidad de señal por parte del sensor de nivel, causa volubilidad en la señal de entrada al transmisor de nivel, provocando que este último presente salida de corriente inestable, produciendo que se alcancen valores de activación de lógica de seguridad del lazo de control, lógica que consiste en detención instantánea e inhibición de

nuevo arranque de las bombas de agua de mar, trayendo como consecuencia que estas no suministren el flujo de agua de mar necesario para el proceso de regasificación del GNL, provocando la interrupción de la emisión de gas natural, afectando directamente al proceso de producción y venta del servicio a los clientes. A continuación en la Figura 1-14 se puede observar el diagrama “Ishikawa” de la situación, en donde se pueden identificar las causas y las sub causas que originaron el problema.



Fuente: Elaboración propia basado en las causas y efectos del problema en el sub sistema de succión de agua mar.

Figura 1-14. Diagrama Ishikawa

1.9. IMPORTANCIA DE RESOLVERLO

Parte fundamental del proceso de producción del terminal GNL Quintero es la succión e impulsión de agua de mar realizada por las bombas centrífugas del terminal (subsistema de captación y distribución de agua de mar). Estos equipos adquieren el agua de mar desde la piscina de succión, la cual posee un monitoreo en línea de nivel mediante instrumentación de nivel tipo radar y un controlador con una función instrumentada de seguridad (SIF) que actúa sobre las bombas de agua de mar deteniéndolas e inhibiendo su partida en caso de tener valores predefinidos de alarma.

Como consecuencia de una falla en la medición de nivel, se provoca la detención de las bombas de succión desencadenando una detención de los equipos Vaporizadores y por ende una interrupción en el proceso de producción del terminal. Es por esta razón que la implementación de la mejora en el sistema de medición de nivel en la piscina de succión de bombas toma importancia, ya que una falla a este nivel impacta a la operación total de la empresa, reflejado directamente en la interrupción de exportación de gas natural, afectando a sus clientes y ganancias de la empresa.

1.10. INVOLUCRADOS

En este caso los Stakeholders directos son:

- Mantenimiento área Instrumentación y Control: Serán los encargados de supervisar los trabajos relacionados de la implementación de la propuesta seleccionada y los encargados de velar por el buen funcionamiento y mantenibilidad de esta en el futuro.
- Operaciones: Serán los encargados de verificar los resultados de la implementación de la mejora y su comportamiento en el tiempo.
- Terminal GNL Quintero: Se verá beneficiado de la mejora en el funcionamiento de este subsistema debido a la estabilidad en su proceso de producción logrando, una mayor eficiencia y disponibilidad del terminal.

1.11. SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Gracias a este proyecto, se intenta mejorar el funcionamiento de la instrumentación de nivel que opera en el subsistema de captación y distribución de GNL Quintero. Para desarrollar esta mejora, se diseñará e implementará una propuesta que contemple un mejoramiento real del rendimiento de la instrumentación actual con el fin de evitar que se presenten nuevas fallas para no afectar la producción de la empresa considerando factores como la factibilidad de implementación, costos del proyecto, tecnologías asociadas al proyecto, requerimientos de la empresa, entre otros.

1.12. REQUERIMIENTOS

En esta sección se analizarán los requerimientos funcionales necesarios para el desarrollo de este proyecto. Debido a que este proyecto de mejora está diseñado para implementarse en el terminal GNL Quintero, es necesario establecer ciertos requerimientos debido a las condiciones de operación, mantenibilidad y seguridad específicas del terminal. Para describir cada uno de estos requerimientos se crearon tablas, las cuales se pueden observar a continuación.

Tabla 1-1. Requerimientos del proyecto.

N°	Requerimiento	Descripción	Criterio de aceptación
1	Implementación de nueva canalización y aterramiento para los cables de poder y señal de la instrumentación a intervenir.	El diseño, confección y montaje de una nueva canalización y aterramiento para los cables de poder y señal de los instrumentos a intervenir, provocará eliminar las interferencias existentes, que infieren en el funcionamiento de los instrumentos.	El material de la nueva canalización debe ser FRP (fibra de vidrio) y sus accesorios y fijaciones, entiéndase pernos fijación, rieles, etc., deben ser de acero inoxidable SS316.
2	Instrumentación con certificación de áreas clasificadas y certificación SIL.	La instrumentación a intervenir deberá contar con un nivel de seguridad 2 para cumplir con los reglamentos y estándares por los cuales se rige y está certificado el terminal.	Certificación para áreas clasificadas ATEX grupo II. Certificación SIL 2 o superior.

Fuente: Elaboración propia basada en las necesidades del proyecto.

Tabla 1-2. Continuación de Requerimientos del proyecto.

N°	Requerimiento	Descripción	Criterio de aceptación
3	Instrumentación con salida analógica 4-20 [mA]. Protocolo comunicación Hart	La instrumentación a intervenir deberá contar con salida analógica 4-20 [mA] para realizar la comunicación con el lazo de control y DCS, además deberá contar con protocolo HART para comunicación local.	Deberá contar con protocolo HART versión 7.3 o superior. Rango mínimo del instrumento 0 – 20 [m] Precisión del instrumento +- 3 [mm]
4	Implementación de un nuevo tablero de comunicaciones.	La incorporación de un nuevo tablero de comunicaciones, provocará un mejor rendimiento de la instrumentación, ya que lo aislará de fuentes generadoras de interferencias que distorsionan la señal.	Armario 400x500x210 IP 66 NEMA 4X o equivalente. Material Acero inoxidable 316SS

Fuente: Elaboración propia basada en las necesidades del proyecto.

1.13. **ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN**

Se proponen 4 alternativas para solucionar el problema en el funcionamiento y operación de la instrumentación de nivel de piscina de succión bombas de agua de mar, terminal GNL Quintero. A continuación se describe cada una de las alternativas propuestas.

1.13.1. **Alternativa N°1: “Hacer nada”**

Si se opta por la opción de “hacer nada”, es decir no ejecutar un proyecto de mejora, se tendrá como consecuencia el mantener el estado actual de funcionamiento del sistema de medición de nivel, es decir, con probabilidad alta de falla por parte del elemento sensor y del transmisor, por lo que se continuaría con la incertidumbre respecto a la confiabilidad y la eficiencia en la utilización de este sistema de medición con las consecuencias que traería una nueva falla.

1.13.2. Alternativa N°2: “Inhibir la lógica de seguridad existente”

Al inhibir la lógica de seguridad existente, el sistema de medición de nivel a nivel físico (instrumento) seguiría operando en las mismas condiciones actuales, es decir, con una alta probabilidad de falla, sin embargo, de presentar fallas no actuarían sobre la lógica de seguridad de las bombas de succión de agua, es decir, no provocarían su detención y prohibición de nuevo arranque ya que esta lógica estaría bloqueada.

Con esta opción se logra operar las bombas de agua de mar sin probabilidad de que se detengan, alcanzado la disponibilidad esperada de éstas, pero se corre el riesgo de que ante una falla real (aumento o disminución de nivel) estos activos sufran un daño físico significativo (ruptura de componentes internos, deterioro, entre otros) pudiendo provocar que quede fuera de servicio, lo que conllevaría a una pérdida total de disponibilidad del equipo lo que significaría la pérdida total de producción.

1.13.3. Alternativa N°3: “Realizar montaje de nuevo tablero de comunicaciones, reparación de instrumentos y nuevo cableado de señales, mejorando condiciones actuales”

Al optar por esta opción, se estaría cumpliendo el objetivo de mejorar la condición actual del sistema de medición, dejándolo operativo en su totalidad a nivel físico (instrumentación de terreno) y a nivel de programación (lógica de seguridad).

En esta alternativa se considera implementar una solución que ataca el problema raíz (inducción electromagnética) que provoca las condiciones actuales y contempla utilizar los mismos elementos actuales (sensor, transmisor, cables de señal) en una nueva disposición en terreno, es decir nuevo trazado de cableado, montaje de nuevo tablero de comunicaciones aislado de la fuentes que provocan el problema, puesta a tierra independiente de los instrumentos (nuevo aterramiento) y recuperación de elementos defectuosos del lazo de control mediante mantenimientos correctivos y cambio de componentes dañados.

1.13.4. Alternativa N° 4: “Adquisición, montaje y puesta en marcha de nueva tecnología para el sistema de medición y control de nivel”

El optar por esta alternativa, contemplaría implementar un sistema de medición y control de nivel completamente nuevo, reemplazando el existente, que podría dar solución al problema existente, sin embargo el optar por ella implica la adquisición de nuevos instrumentos, retiro del antiguo sistema y montaje y puesta en marcha del nuevo sistema,

siendo todas actividades que requieren de un mayor número de horas hombres, recursos y costos haciendo que la propuesta sea menos ventajosa.

1.14. EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Las formulaciones propuestas previstas para este proyecto son descritas en la tabla 1-3, basada en una escala de competencias, que se puede apreciar en la tabla 1-2.

Tabla 1-3. Calificación de alternativas.

Nivel de desarrollo	Valor
Muy deficiente	0
Deficiente	1
Aceptable	2
Bueno	3
Óptimo	4

Fuente: Elaboración propia basada en escala de competencias.

Tabla 1-4. Exhibición de los resultados obtenidos en la comparación de alternativas.

Alternativa	Innovación	Beneficios	Factibilidad	Sumatoria de valores
1. “Hacer Nada”	0	0	0	0
2. “Inhibir lógica de seguridad existente”	0	2	2	4
3. “Realizar montaje de tablero nuevo de comunicaciones, reparación de instrumentos y nuevo cableado de señales, mejorando condiciones actuales”	2	4	4	10

Fuente: Elaboración propia basada en comparación de alternativas

Tabla 1-5. Continuación de Exhibición de los resultados obtenidos en la comparación de alternativas.

Alternativa	Innovación	Beneficios	Factibilidad	Sumatoria de valores
4. “Adquisición, montaje y puesta en marcha de nueva tecnología para el sistema de medición y control de nivel.”	4	3	1	8

Fuente: Elaboración propia basada en comparación de alternativas

1.15. ALTERNATIVA SELECCIONADA

De acuerdo a los valores entregados por la tabla 1.3 “Exhibición de los resultados obtenidos en la comparación de alternativas” y los argumentos estipulados en el desarrollo de las alternativas propuestas, se selecciona la alternativa n°3: “Realizar montaje de nuevo tablero de comunicaciones, reparación de instrumentos y nuevo cableado de señales, mejorando condiciones actuales.”, debido a que es la opción más factible a desarrollar, la que ofrece más beneficios e implica un menor costo de implementación para la empresa.

1.16. VALOR AGREGADO

El valor agregado de implementar la alternativa “Realizar montaje de nuevo tablero de comunicaciones, reparación de instrumentos y nuevo cableado de señales, mejorando condiciones actuales”, es que ésta es la única que ataca la raíz del problema, poniendo énfasis en las causales con el fin de eliminar el origen de las fallas existentes y no solo eliminar las consecuencias que éste trae. Otro punto relevante que sin duda hace resaltar la alternativa seleccionada, es que su implementación es factible, ya que ofrece los mismos beneficios que por ejemplo, cambiar la tecnología existente por otra pero a un costo menor, por lo tanto hace que el proyecto sea más atractivo para la empresa.

1.17. OBJETIVOS

En todo proyecto es indispensable fijar objetivos tanto específicos como uno general, los cuales sirven como pequeñas metas para lograr alcanzar una meta final. A continuación se exponen tanto los objetivos específicos como el objetivo general.

1.17.1 Objetivo general

Diseñar un proyecto de mejora en sistema de medición de nivel de subsistema de captación y distribución de agua de mar en planta GNL Quintero.

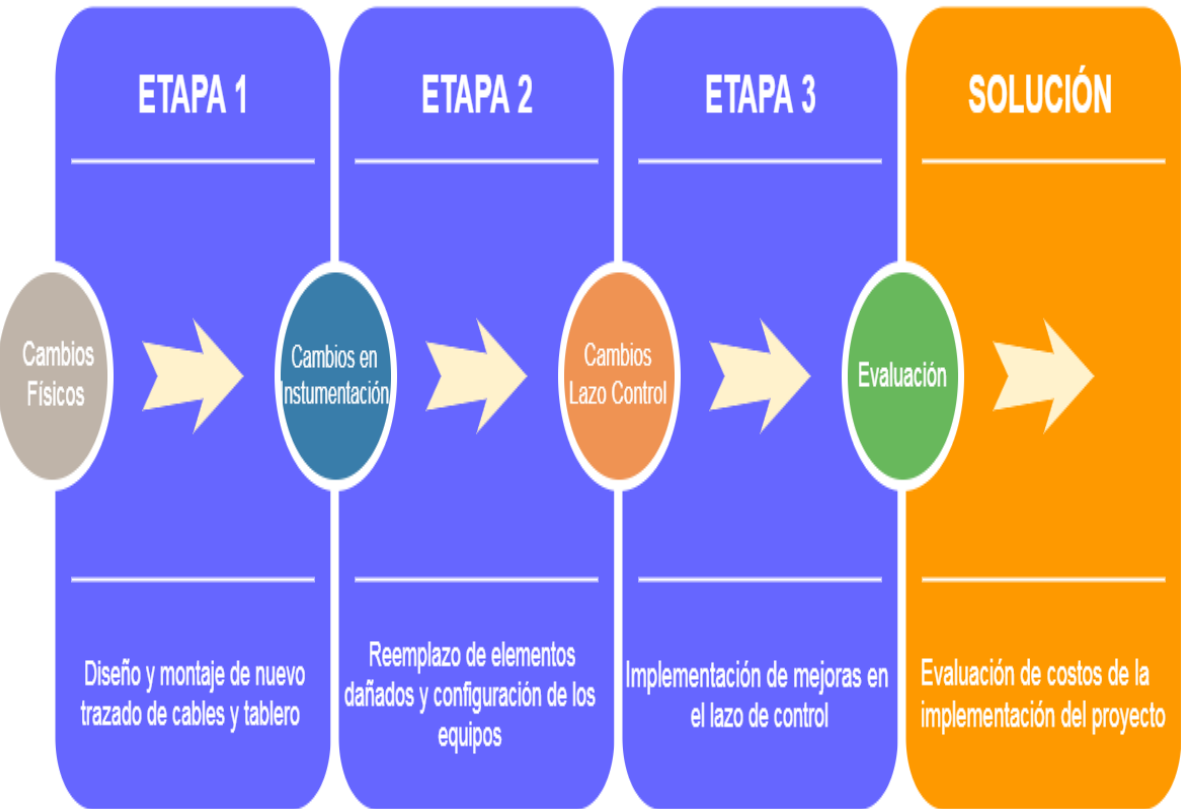
1.17.2 Objetivos específicos

- Presentar a la empresa GNL Quintero S.A. la problemática actual respecto a la medición de nivel en subsistema de captación y distribución de agua de mar.
- Evaluar la factibilidad económica de la implementación de la mejora.
- Instruir sobre la descripción y especificaciones técnicas de los equipos, entregando un valor agregado al mantenimiento.
- Determinar materiales, insumos, activos y tecnologías a utilizar para mejorar el funcionamiento de los sensores y transmisores de nivel del subsistema de captación y distribución de agua de mar.
- Aumentar el indicador de confiabilidad de los equipos y sus sistemas de control asociados para alcanzar la disponibilidad esperada del terminal.

CAPÍTULO 2: DESARROLLO TÉCNICO DE LA SOLUCIÓN

2. DESARROLLO TÉCNICO DE LA SOLUCIÓN

En este capítulo se dará a conocer la solución propuesta para ser implementada en la piscina de succión de agua de mar perteneciente al subsistema de captación y distribución del Terminal GNL Quintero. Esta ha sido representada a través de un diagrama respectivo tal como se observa en la siguiente figura 2-1.



Fuente: Elaboración propia basada en solución elegida.

Figura 2-1. Diagrama en bloques de implementación de la propuesta seleccionada

La idea principal de este proyecto es implementar una modificación a la estructura de la instrumentación de nivel de la piscina de succión del Terminal GNL Quintero, con el fin de eliminar la causante de la problemática existente manifestada en fallas intermitentes en la instrumentación, producto del deterioro de ésta provocado por la inducción electromagnética en su aterramiento. Para desarrollar este proyecto se realizará el diseño y montaje de un nuevo tablero de comunicaciones, el cual contendrá exclusivamente las señales asociadas a la instrumentación de nivel a intervenir, aislándolos de las fuentes que provocan interferencias; se diseñará y confeccionará un nuevo trazado de los cables de alimentación y señal de comunicación de los transmisores a intervenir mediante el montaje de una nueva canalización independiente de éstos y, además, se realizará la reparación de la instrumentación realizando el reemplazo de los componentes electrónicos dañados, realizando una nueva configuración y parametrización de estos aplicando las mejoras correspondientes para alcanzar un óptimo rendimiento. Para desarrollar este proyecto, se separará en 3 etapas:

- Etapa 1: Confección, diseño y montaje de nuevo trazado de cables y tablero de comunicaciones.
- Etapa 2: Micropilot M FMR 240, reparación y/o reemplazo de elementos dañados, configuración y parametrización de transmisores de nivel tipo radar.
- Etapa 3: Implementación de mejoras en lazo de control.

2.1. **ETAPA 1: CONFECCIÓN, DISEÑO Y MONTAJE DE NUEVO TRAZADO DE CABLEADO Y TABLERO DE COMUNICACIONES.**

A continuación, se realizará una descripción técnica de los elementos a utilizar en la implementación de la mejora en el subsistema de captación y distribución de agua mar correspondientes a la etapa de confección, diseño y montaje del nuevo trazado de cableado y tablero de comunicaciones. La figura 2-2, representa al subsistema de captación y distribución de agua de mar del terminal GNL Quintero, en donde se destaca, mediante color rojo, la disposición final del nuevo trazado del cableado y del nuevo tablero de comunicaciones.

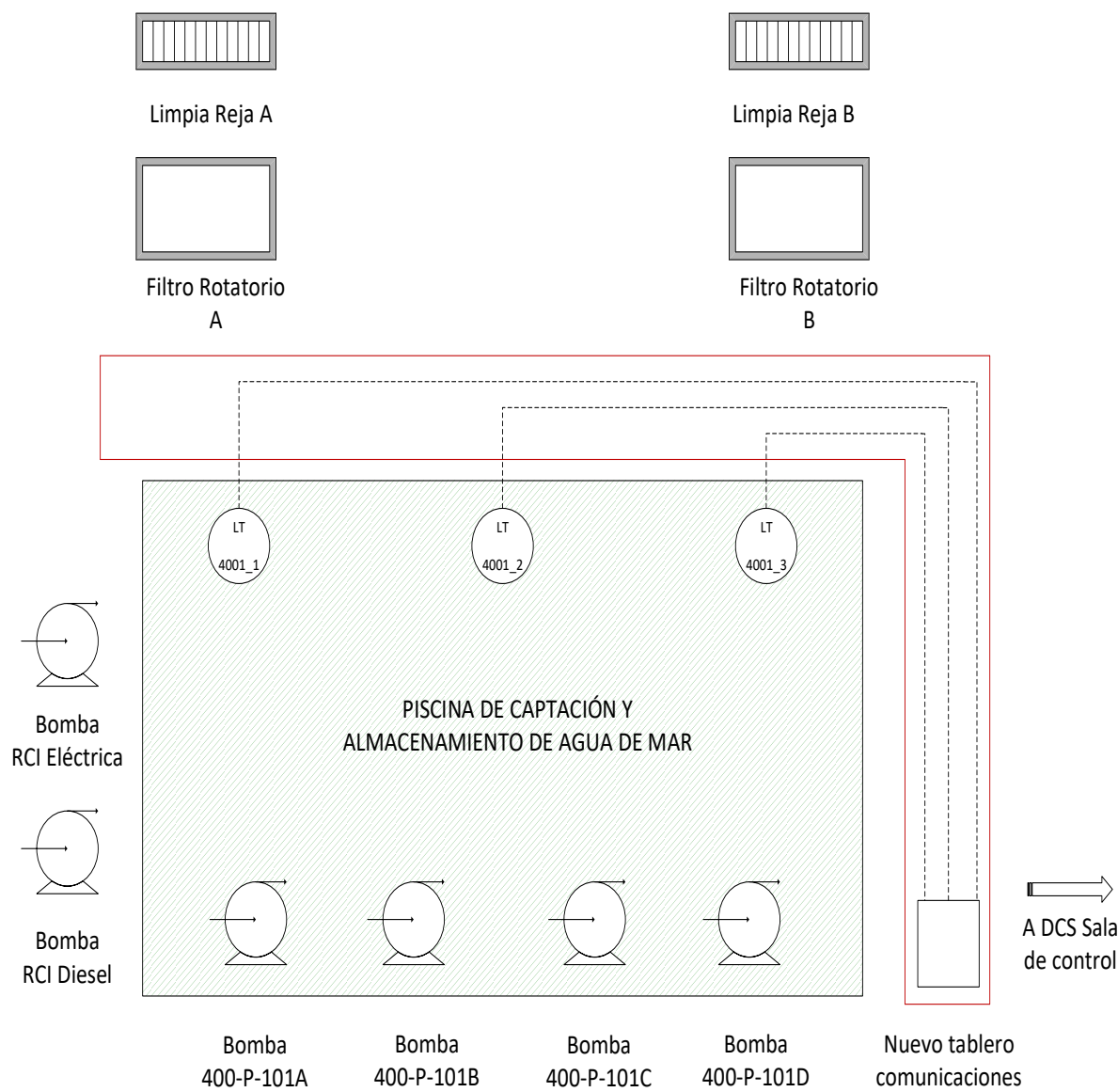


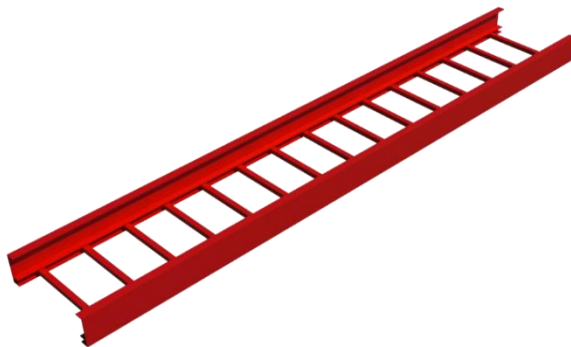
Figura 2-2. Nuevo trazado de cableado y tablero de comunicaciones

2.1.1. Elementos a utilizar

Debido a los requisitos establecidos por el cliente, terminal GNL Quintero, los materiales e insumos a utilizar en la implementación del proyecto, se deben regir según lo estipulado en la tabla 1.1 “Requerimientos del proyecto”.

a. Escalerillas porta conductores

Para realizar la nueva configuración de la disposición de los equipos y su cableado en campo, es necesario realizar un nuevo trazado de escalerillas porta conductores que contempla escalerillas rectas, curvas, derivaciones “Tee”. Para implementar este nuevo trazado, se requiere utilizar escalerillas de material “FRP” por lo tanto se optó por escalerillas de la marca “Femoglas”, ya que su adquisición es de fácil alcance al ser una marca nacional con distribuidor local. En la figura 2-3 se puede apreciar un tipo de escalerilla escogida.



Fuente: www.femoglas.com

Figura 2-3. Escalerilla FRP

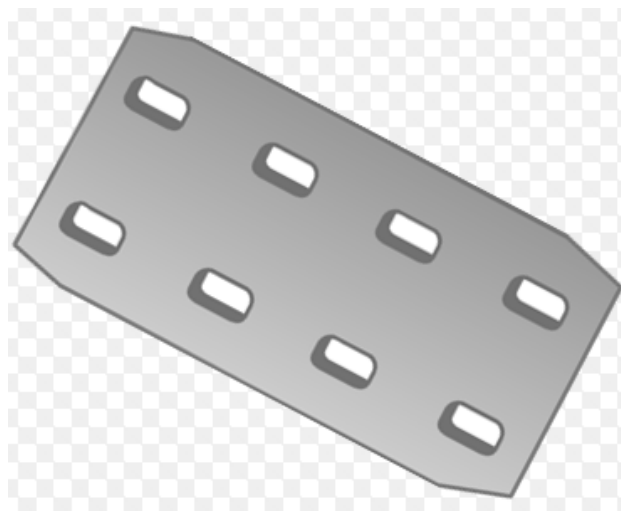
Especificaciones técnicas:

- Material : Polímero reforzado en fibra de vidrio “FRP”
- Dimensiones: 3000x100x100 [mm]

b. Uniones Eclisas

Para realizar el montaje del nuevo trazado de escalerillas porta conductores, es necesario la implementación de uniones eclisas para poder unir las escalerillas y poder dar forma al diseño del trazado.

Para este proyecto se han escogido las eclipsis marca “Femoglas” debido a que son compatibles con las escalerillas escogidas y son de fácil adquisición. Este elemento se puede ver en la figura 2-4.



Fuente: www.femoglas.com

Figura 2-4. Unión Eclisa

Especificaciones técnicas:

- Material : Polímero reforzado en fibra de vidrio “FRP”
- Dimensiones: 200x10x100 [mm]

c. Anclaje y fijaciones

Para poder concretar la nueva figura de trazado de escalerillas se requiere elementos de anclaje y fijación cuyo fin común es dar forma final al nuevo trazado diseñado. A continuación en la tabla 2-1 se describe en forma general los elementos de anclaje y fijación a utilizar con su respectiva función específica.

Tabla 2-1. Elementos de anclaje y fijaciones

Elemento	Función
Perno Hilti 316SS	Anclar soportes a base de hormigón
Perno coche 316SS	Fijación eclisa a escalerilla
Tuerca exagonal 316SS	Fijación eclisa a escalerilla
Golilla Plana 316SS	Fijación eclisa a escalerilla
Tuerca romboidal con resorte 316SS	Anclar escalerilla a soportes
Perno hexagonal 316SS	Anclar escalerilla a soportes
Perno auto perforante 316SS	Fijación tapa escalerilla

Fuente: Elaboración propia basada en requisitos de implementación del proyecto

d. Tablero de comunicaciones

Con el fin de separar los elementos asociados a los transmisores de nivel correspondientes al sistema de filtrado del agua de mar, se instalará un nuevo tablero que contendrá solo los componentes asociados a la instrumentación a intervenir, separándolos de las fuentes de interferencias existentes en el actual gabinete. Para realizar el nuevo montaje del tablero, se optó por un gabinete de la marca “Rittal” debido a la calidad de sus productos y la confiabilidad que brinda a sus clientes y además al escoger este tablero, se está cumpliendo con los requerimientos del cliente. La figura 2-5 muestra el tablero seleccionado para implementar en este proyecto.



Fuente: www.rittal.com

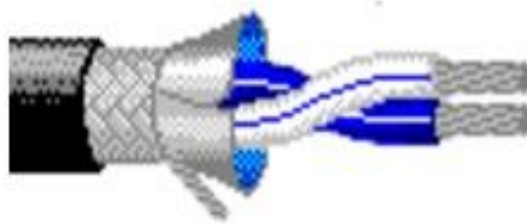
Figura 2-5. Tablero Inoxidable “Rittal”

Especificaciones técnicas:

- Material : Acero inoxidable (AISI 304)
- Espesor pared : 1.43 [cm]
- Dimensiones : Anchura: 400 [mm]
Altura: 500 [mm]
Profundidad: 210 [mm]
- Grado protección IP : IP 66 según IEC 60 529
- Protección NEMA : NEMA 4X
- Peso : 12.9 [Kg]

e. Cable Armado

Para armar el cableado del lazo de control se ha optado por un cable de instrumentación de la reconocida marca “Belden”. Se seleccionó este cable debido a que está diseñado para comunicaciones con protocolo HART, permitiendo la transmisión de señales de control, instrumentación y telemetría. En la figura 2-6, se puede ver una representación gráfica de este elemento.



Fuente: <http://www.concables.cl/productos-belden-01.php>

Figura 2-6. Cable Belden HART

Especificaciones Técnicas:

- Calibre : 14 AWG
- Aislación : Datalene
- Protección : Pantalla de Beldfoil 100% cobertura más alambre de drenaje
- Cobertura : Malla de cobre de 90% cobertura
- Voltaje : 300 V RMS (voltaje máximo operación)
- Corriente : 2.7 [A] (máxima corriente recomendada por conductor)
- Impedancia : 48.3 [Ohm/Km]

Su sistema de apantallado con cable de drenaje proporciona una alta seguridad frente a la adhesión de corrientes parásitas a los datos transmitidos mediante el cable, sumado a esto, su muy baja impedancia por metro (0.0483 Ohm/metro) no genera problemas de impedancia del lazo, lo que permite obtener una medida bastante exacta.

2.2 ETAPA 2: MICROPILOT M FMR240, REPARACIÓN Y/O REEMPLAZO DE ELEMENTOS DAÑADOS, CONFIGURACIÓN Y PARAMETRIZACIÓN DE TRANSMISOR DE NIVEL TIPO RADAR

A continuación, se realizará una descripción técnica de la instrumentación empleada en el subsistema de captación y distribución de agua de mar, dando énfasis al tipo de instrumentos utilizados, su aplicación, las tecnologías asociadas al equipo, sus características y la configuración de parámetros de trabajo dispuestos.

2.2.1. Transmisores de nivel de líquidos tipo radar

El sistema de radar emplea la propagación de una onda electromagnética que no necesita de un medio para propagarse y por lo tanto pueden hacerlo incluso en el vacío. Gracias a sus condiciones físicas, las ondas electromagnéticas son casi independientes de las fases gaseosas que pudiesen existir por encima del medio, de las variaciones de temperatura, de variaciones de densidad e incluso de los ruidos de llenado, de este modo, la espuma es transparente a la señal de radar y deja de ser un problema como ocurría en otros tipos de medidores. Un oscilador de estado sólido genera señales de frecuencia de barrido de entre 10 a 30 GHz y

enfoca la señal sobre el líquido por medio de una antena. Estas señales normalmente se propagan a la velocidad de la luz, sin embargo, su velocidad está dada por la siguiente fórmula:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}}$$

Donde v es la velocidad de la luz en un medio expresada en m/s, ϵ es la constante dieléctrica del medio expresado en F/m y μ es la permeabilidad magnética expresada en NA^{-2} . Durante el desarrollo de este documento, se interiorizará en la constante dieléctrica ϵ debido a que es la clave para el funcionamiento de este tipo de instrumentos.

Como la constante dieléctrica de los vapores sobre el líquido es casi la unidad, la variación de la velocidad es despreciable, de modo que la señal de velocidad de radar es más constante que, por ejemplo, medidores del tipo ultrasónico.

2.2.2. Aplicación de los transmisores de nivel tipo radar en piscina agua mar GNL Quintero

La instrumentación actual del proceso consta de 3 transmisores del tipo radar, específicamente el equipo Micropilot M FRM240, instrumentos que se presentarán y detallarán a continuación. Estos equipos operan bajo condiciones denominadas “agresivas” encontrando por ejemplo condiciones como turbulencia, medio inestable, presencia de espuma, incrustaciones de fauna marina en paredes del depósito, entre otros; condiciones que afectarían el correcto funcionamiento de cualquier otro tipo de instrumentación “inteligente”, ya que provocan que el eco de retorno de señal se vea alterado y por ende la medición de nivel no sería real; es por esta razón que no se cambia de tecnología en la solución presentada para este proyecto, ya que este tipo de instrumentos es el que presenta un mejor comportamiento ante estas condiciones. En la figura 2-7 se presenta una tabla comparativa entre los diferentes medidores de nivel y las ventajas y desventajas que éstos presentan ante las diferentes condiciones de procesos.

TABLA 5.1 Medidores de nivel de líquidos

Instrumento	Campo de medida	Precisión % escala	Pres. máx bar	Temp. máx. fluido ° C	Desventajas	Ventajas
Sonda	Limit.	0,5 mm	Atm.	60	Manual, sin olas. Tanques abiertos	Barato, preciso
Cristal	»	»	150	200	Sin transmisión	Seguro, preciso
Flotador	0-10 m	± 1-2 %	400	250	Posible agarrotamiento	Simple, indep. naturaleza líq.
Manométrico	Alt. tanque	± 1 %	Atm.	60	Tanques abiertos, fluidos limpios	Barato
Membrana	0-25 m	± 1 %	»	60	Tanques abiertos	Barato
Burbujeo	Alt. tanque	± 1 %	400	200	Mantenimiento, contaminación líquido	Barato, versátil
Presión diferencial	0,3 m	± 0,15 % a ± 0,5 %	150	200	Posible agarrotamiento	Interfase líquido
Desplazamiento	0-25 m	± 0,5 %	100	170	Expuesto a corrosión	Fácil limpieza, robusto, interfases
Conductivo	Ilimitado	—	80	200	Líquido conductor	Versátil
Capacitivo	0,6 m	± 1 %	80-250	200-400	Recubrimiento electrodo	Resistencia, corrosión
Ultrasónico	0,30 m	± 1 %	400	200	Sensible a densidad	Todo tipo tanques y líquidos
Radar	0-30 m	± 2,5 mm	—	—	Sensible a la constante dieléctrica	» y líquidos con espuma
Radiación	0-2,5 m	± 0,5-2 %	—	150	Fuente radiactiva	» y sin contacto líquido
Láser	0-2 m	± 0,5-2 %	—	1500	Láser	» y sin contacto líquido

Fuente: Instrumentación Industrial Creus (6ta Edición)

Figura 2-7. Tabla comparativa medidores de nivel en líquidos

Las condiciones del proceso de almacenamiento de agua de mar en la piscina del terminal GNL Quintero en las que operan los instrumentos en estudio, se pueden apreciar en la figura 2-8.



Fuente: Registro fotográfico propio

Figura 2-8. Condiciones del proceso almacenamiento agua mar

2.2.3. Especificaciones técnicas del instrumento Micropilot M FRM240

El instrumento utilizado en la medición continua de nivel en la piscina de agua de mar del terminal GNL Quintero es el equipo Micropilot M FRM240, ilustrado en la figura 2-9, de la reconocida marca internacional de equipos de instrumentación Endress-Hauser. Este equipo es un transmisor de nivel por radar del tipo medición continua sin contacto por pulsos, es necesario aclarar esto ya que existen tres tipos de transmisores de nivel por radar: sin contacto por pulsos, sin contacto FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) y con contacto guiados.



Fuente: <https://www.cl.endress.com>

Figura 2-9. Transmisor de Nivel Micropilot M FMR240

Especificaciones Técnicas:

- Modelo : Micropilot FMR240 15EAP5AB2W
- Tipo : Radar sin contacto por pulsos
- Sensor : Antena 100 [mm]
- Span instrumento : 40 [m]
- Frecuencia operación: 26 [GHz]
- Alimentación : 24 [VDC]
- Comunicación : 4-20 [mA] 2 hilos
- Protocolo : HART / Profibus PA / Foundation Fieldbus
- Precisión : +/- 3 [mm]
- Certificación : ATEX II 1/2 G EEx ia IIC T6
Sil 2 según IEC 61508

2.2.4. Principio de funcionamiento

El Micropilot es un sistema de medición “descendente” que opera bajo el principio de funcionamiento de “Tiempo de vuelo” o “Time of Flight” (TOF), el cual es medido de la siguiente forma: como se puede apreciar en la figuras 2-10 y 2-11, un pulso electromagnético de 2.6 [GHz] es enviado desde el transmisor, mediante su antena, en dirección hacia el producto. Cuando este pulso detecta un cambio en la constante dieléctrica del producto a medir, es decir, toca el pulso toca el líquido, éste es reflejado de vuelta hacia el transmisor.



Fuente: <https://www.cl.endress.com>

Figura 2-10. Funcionamiento TOF – Envío pulso electromagnético



Fuente: <https://www.cl.endress.com>

Figura 2-11. Funcionamiento TOF – Pulso electromagnético reflejado

Para el caso específico de aplicación en la piscina de agua de mar del terminal GNL Quintero, una vez que el transmisor de nivel por Radar envía una señal electromagnética, esta avanza hasta que encuentra una interface entre dos medios cuyas constantes dieléctricas son distintas, produciéndose la reflexión de esta, volviendo al transmisor. Dado que la constante dieléctrica del aire es 1 y la constante dieléctrica de la espuma presente en el medio es 1.1, el pequeño eco producido por esta pequeña diferencia es ignorado por el transmisor, sin embargo, al producirse el contacto con el agua de mar, cuya constante dieléctrica es 58.2, y frente a la del aire (1) se produce una reflexión mayor, produciendo un eco que si es asumido como el nivel real del producto. En la tabla 2-2 se muestran distintos valores de constantes dieléctricas de una variedad de materiales.

Tabla 2-2. Constantes dieléctricas de algunos materiales

Material	Constante dieléctrica
Aire	1
Espuma	1.1
Agua	80.3
Agua de mar	58.2
Aceite de petróleo	2.1
Óxido de Zinc	2.3
Ácido sulfúrico	21.9
Nitro-glicerina	19

Fuente: Aplicación android de Endress-Hauser “DC Values”

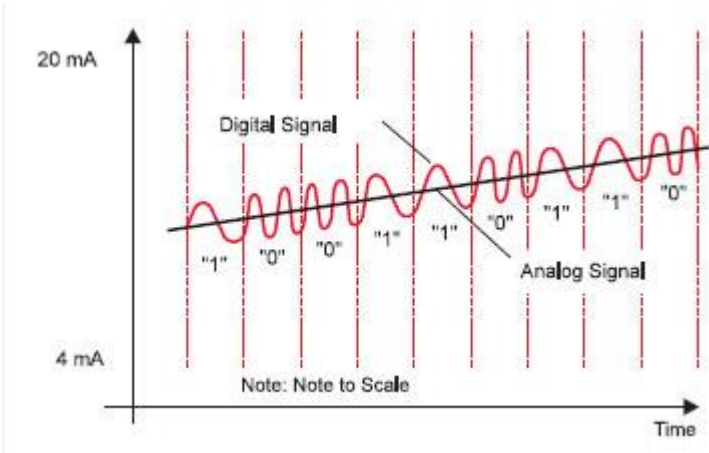
Considerando que la velocidad de propagación de una onda electromagnética es prácticamente la velocidad de la luz, y que se ha medido el tiempo que tomó al pulso ser emitido y volver hacia el transmisor, entonces se puede calcular la distancia entre el transmisor y el producto a medir. Finalmente, y una vez ingresados previamente al transmisor el dato de la distancia entre el fondo del depósito y el transmisor, éste equipo entrega una medida equivalente a la altura del producto dentro del depósito.

2.2.5. Protocolo de comunicación HART

El terminal GNL Quintero cuenta con un robusto sistema de control distribuido “DCS”, en el cual toda la instrumentación interactuante a nivel de campo cuenta con el protocolo de comunicación HART, es por este motivo que entre los requisitos propuestos para el proyecto se estipula esta condicionante. Dada la importancia y relevancia de este protocolo de comunicación en el terminal, a continuación se presenta brevemente el “Protocolo Hart”.

En lo que respecta a las comunicaciones de equipos a nivel industrial, hoy en día existen los denominados Buses de campo, que son sistemas de transmisión de información, algunos propietarios de marcas en particular y otros universales como son Modbus RTU, Profibus PA, Profibus DP, Fieldbus Foundation, DeviceNET y el ya mencionado HART. El Protocolo HART, acrónimo de “High-way Addressable Remote-Transducer”, es un protocolo para bus de campo soportado por la Hart Communication Foundation y la Fieldbus Foundation, agrupa la información digital sobre la señal analógica típica de 4-20 [mA] DC. La señal digital utiliza una modulación por frecuencia FSK (Frequency shift keying) representando los “1” lógicos con una frecuencia de 1200 [Hz] y los “0” lógicos con una frecuencia de

2200 [Hz] y que en conjunto forman una onda sinusoidal que se superpone al lazo de corriente de 4-20 [mA] DC. Este conjunto de señales se puede apreciar en la figura 2-12.



Fuente: <https://www.instrumentacionycontrol.net>

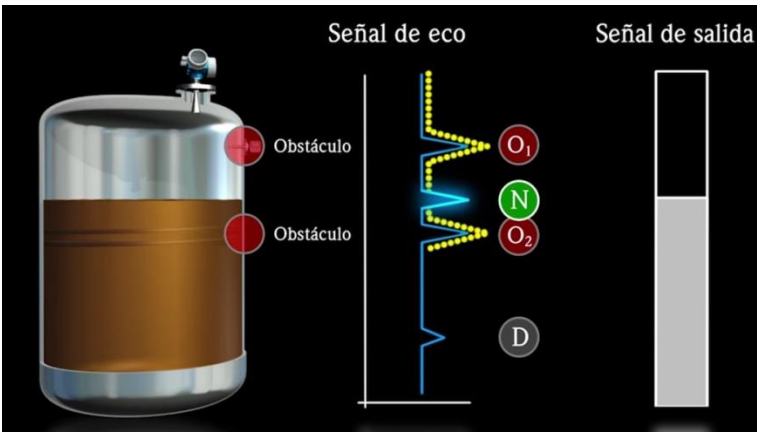
Figura 2-12. Modo de transmisión de datos HART

La señal analógica se utiliza para transmitir en forma continua la variable de proceso en cuestión, la cual no se ve afectada por la señal digital, dado que la señal promedio de una onda sinusoidal es cero, por ende no se agrega ninguna componente DC a la señal análoga. Por su parte la señal digital representa valores de alarmas, avisos, y configuración del dispositivo.

2.2.6. Tecnología asociada al equipo.

Los transmisores de nivel del tipo radar de Endress + Hauser, poseen una tecnología propia del fabricante que lo caracteriza y lo destaca de su competencia. Esta tecnología es llamada “Multi-echo Tracking”, la cual funciona de la siguiente forma: Una vez instalado el equipo, se procede a realizar un “mapeo”, acción que consta de instalar el equipo con el depósito en ausencia de producto, es decir, con el depósito en vacío y luego activar la función de “mapeo”. Al ejecutar esta acción el equipo comienza a registrar todos los ecos que el dispositivo detecte debido a alguna interferencia en el depósito, por ejemplo, rebabas de soldaduras, serpentines, calefactores y todo elemento que pudiese estar presente en el recipiente. En la figura 2-13 se puede apreciar una comparación de la señal de salida de nivel,

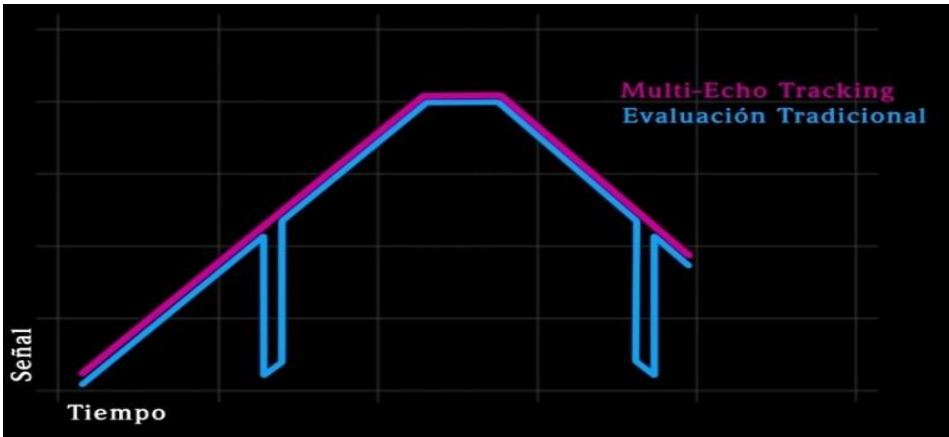
frente al nivel actual dentro del depósito y el análisis del eco considerando el mapeo (línea punteada amarilla).



Fuente: <https://www.cl.endress.com>

Figura 2-13. Señal del eco con tecnología “Multiecho Tracking”

Una vez realizado el “mapeo” e ingresado el producto, el equipo utiliza su nuevo algoritmo de rastreo de ecos mediante “Multi-echo Tracking”, el cual se basa en el análisis de todos los ecos tomados por el sensor, incluyendo los que representan a obstáculos e incluso los que están por debajo del mapeo registrado anteriormente, permitiendo analizar con total fiabilidad todos los ecos recibidos en el equipo. A continuación en la figura 2-14 se ilustra una comparación gráfica de la salida de señal con y sin el algoritmo “Multi-echo Tracking” en donde es posible apreciar que el equipo ignora los ecos producidos por los obstáculos (línea color morado) obteniendo así una señal de salida estable y sin la incidencia de falsos ecos.



Fuente: <https://www.cl.endress.com>

Figura 2-14. Señal de salida con tecnología “Multi-Echo Tracking”

2.2.7. Reparación de elementos dañados

En esta sección se detallarán los elementos de los transmisores de nivel identificados como en estado defectuoso y que por lo tanto requieren ser reparados y/o reemplazados

Endress + Hauser , el fabricante de los instrumentos en cuestión, diseña sus equipos de manera tal que una intervención que implique una detención en su servicio, sea lo más breve posible. Es por esto que sus equipos son modulares, es decir está compuesto por piezas intercambiables de fácil reemplazo. Endress + Hauser pone estas partes o módulos a disposición de sus clientes como “spare parts” o repuestos, encontrando por ejemplo módulos de electrónica, módulos de terminales, módulo sensor (antena), sellos, display, accesorios, entre otros.

En el planteamiento y definición del problema, analizados en los puntos 1.8 y 1.9 del presente proyecto se presentaron y detallaron las condicionantes de la problemática a resolver con la implementación de la mejora seleccionada. En esta propuesta destaca la mejora del funcionamiento de los transmisores reparando y/o reemplazando los componentes internos dañados. Dentro del análisis realizado a los instrumentos se identificaron los componentes dañados que se presentan a continuación:

a. Módulo HF

Módulo “High Frequency” o “alta frecuencia”. Elemento que tiene por función generar los pulsos electromagnéticos de 26[GHz] con los que el equipo realizará la medición. En la figura 2-15 se puede observar el módulo HF como repuesto.



Fuente: Registro visual propio Spare Part Bodega Terminal GNL Quintero

Figura 2-15. Módulo HF

Especificaciones Técnicas:

- Modelo : HF- Modul 26 GHz + 20 dB
- N° Spare Part : 71026572
- Versión módulo : uP III.5.
- Frecuencia trabajo : 26 [GHz]
- Certificación : ATEX Ex ia IIC, T6

b. Módulo electrónica principal

Módulo que contiene la electrónica principal del equipo, de este módulo se obtiene entre otras cosas la salida de 4-20 [mA] y el módulo de protocolo HART. En la figura 2-16 se puede observar este módulo en estado de repuesto.



Fuente: Registro visual propio Spare Part Bodega Terminal GNL Quintero

Figura 2-16. Módulo electrónica principal

Especificaciones Técnicas:

- Modelo : FMR 24*/25* Hart
- N° Spare Part : 71026754
- Versión Software : 5.0
- Certificación : ATEX Ex ia IIC, T6

c. Display LCD

Indicador local estándar para todos los transmisores de nivel de Endress + Hauser, su función es ser la interfaz gráfica entre el instrumento y el operador/mantenedor ya que permite la visualización de los valores del proceso y la configuración del equipo en campo mediante un gran indicador extraíble que facilita su uso desde cualquier posición. La figura 2-17 representa el indicador local como repuesto.



Fuente: Registro visual propio Spare Part Bodega Terminal GNL Quintero

Figura 2-17. Display LCD

Especificaciones Técnicas:

- Modelo : VU331
- N° Spare Part : 52026443
- Versión dispositivo : 2.0

2.2.8. Configuración de los transmisores de nivel.

Posterior a una intervención del equipo que contemple el reemplazo del “Módulo HF” o del “Módulo de electrónica principal” implica que se debe reprogramar el instrumento, es decir, se debe configurar nuevamente, ya que el instrumento vuelve a los parámetros de fábrica. Esta condición de “desconfiguración” está claramente estipulada en la documentación oficial del fabricante suministrada en cada uno de estos “spare parts”.

El transmisor de nivel por radar Micropilot M FMR240 posee decenas de puntos a configurar que permiten que el equipo se adecue precisamente a las condiciones del proceso, sin embargo, existen 3 grandes ítems con los parámetros esenciales para una configuración avanzada del equipo con las que se alcanza un correcto rendimiento, estos parámetros son “system”, “sensor” y “output”. Esta configuración se puede realizar mediante el mismo instrumento o a través de un comunicador de campo HART. A continuación, se detallan estos 3 ítems principales que se deben configurar en los transmisores de nivel de la piscina de agua de mar del terminal GNL Quintero representados en 3 “menús” generales contando cada uno con sus respectivas sub divisiones o “sub menús”.

a. Menú SYSTEM

En este menú se puede configurar a través del sub menú “display” los parámetros de visualización del instrumento, es decir, la interfaz gráfica que presentará el instrumento en campo.

b. Menú SENSOR

En este menú se puede configurar los parámetros que involucran directamente a la medición, es decir, todos los parámetros esenciales que afectan a una correcta medición, dentro de estos parámetros destacan, propiedades del medio, condiciones del proceso, configuración de rangos, funciones de seguridad, entre otros.

c. Menú OUTPUT

En este menú se configurarán todos aquellos parámetros fundamentales correspondientes a la señal de salida del transmisor, señal que irá al “DSC” para efectuar el control de las bombas de agua de mar.

La configuración avanzada completa de los equipos, además de una explicación de cada uno de los parámetros a clasificar se puede apreciar en el ANEXO A.

2.3. ETAPA 3: IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS EN LAZO DE CONTROL

En esta etapa se presentarán los dispositivos a reemplazar y agregar a la instrumentación de nivel de la piscina de agua de mar del terminal GNL Quintero para que en conjunto con el transmisor de nivel Micropilot M FMR240 formen un lazo de control robusto. La adición de estos elementos tiene como fin mejorar el rendimiento de esta instrumentación en el ámbito operacional y de seguridad, a la vez estandarizar a la configuración de la lógica de control y protección del DCS

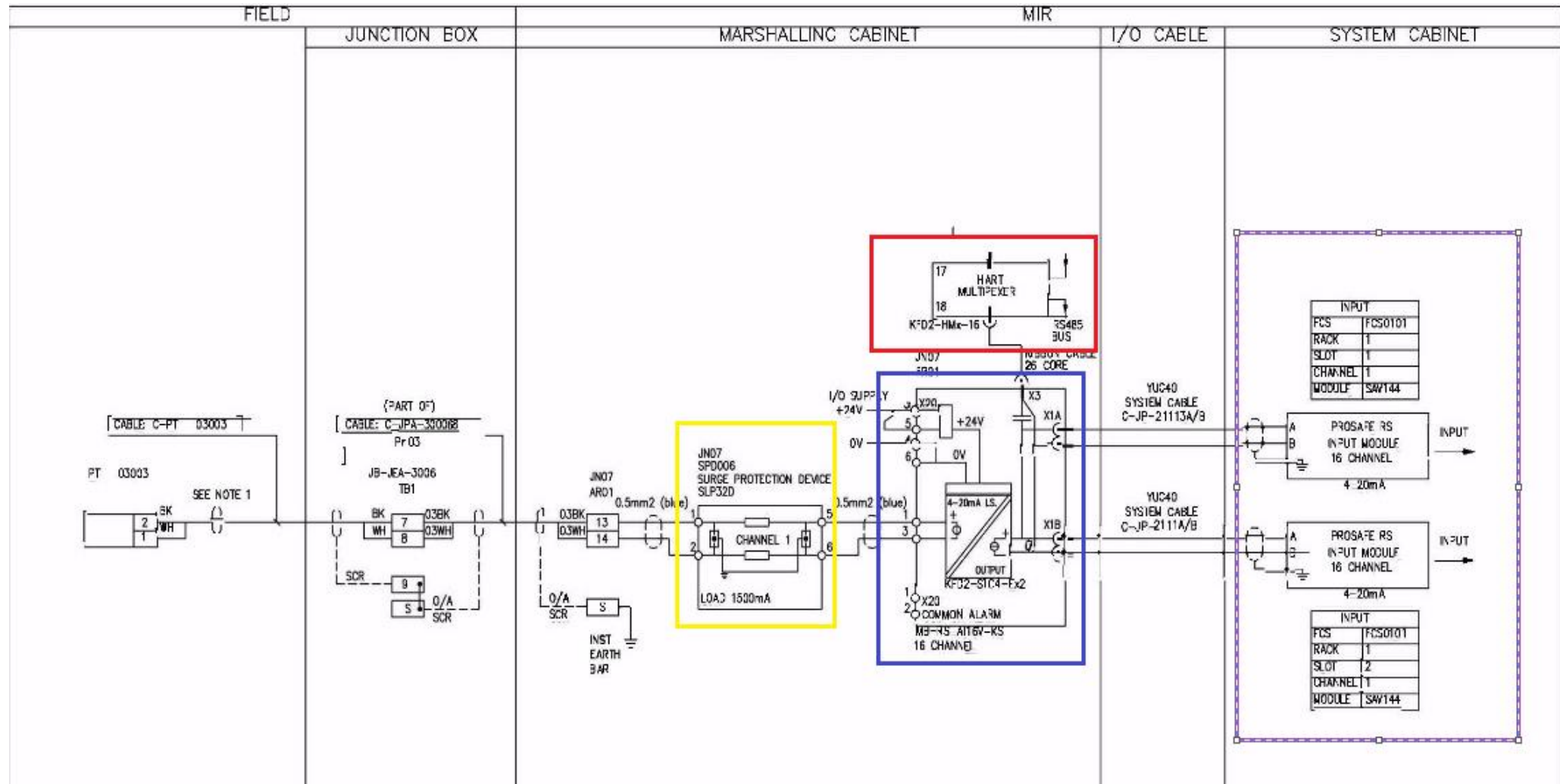
Actualmente la mayoría de la instrumentación de proceso del terminal ingresa al DCS que gobierna la lógica de control y seguridad del terminal llamado “CENTUM VP” perteneciente a la empresa “YOKOGAWA” representado en la figura 2-18. El conexionado de las señales del terminal GNL Quintero que ingresan al DCS están estandarizadas, esto se puede apreciar en la figura 2-19. Las señales provenientes de terreno (“Field”) que ingresan al DCS (sección destacada en color morado) pasan previamente por un “dispositivo de protección de sobre tensión” (sección destacada en color amarillo), luego por una “barrera intrínseca”, también conocida como “aislador intrínsecamente seguro” (sección destacada en color azul), posteriormente por un dispositivo exclusivo de este DSC denominado “terminal board”(sección destacada en color rojo) para luego ingresar al controlador; sin embargo, existen elementos que no cumplen esta secuencia de conexionado. Este es el caso de los transmisores de nivel en estudio, ya que entran al DCS pasando solamente por el “dispositivo de protección de sobre tensión” y por la “barrera intrínseca” condición que no implica directamente un mal comportamiento del equipo, pero si representa una falencia al no estar estandarizado a la configuración de lazos del terminal. La condición de conexión fuerza de estándar de los transmisores en cuestión, se puede apreciar en la figura 2-20.

Dada estas razones es que en este proyecto se contempla la adición de 3 “terminal board”, considerando una para cada transmisor y, además, se reemplazarán las barreras intrínsecas, actualizándolas, mutando a un nuevo modelo de gama superior.



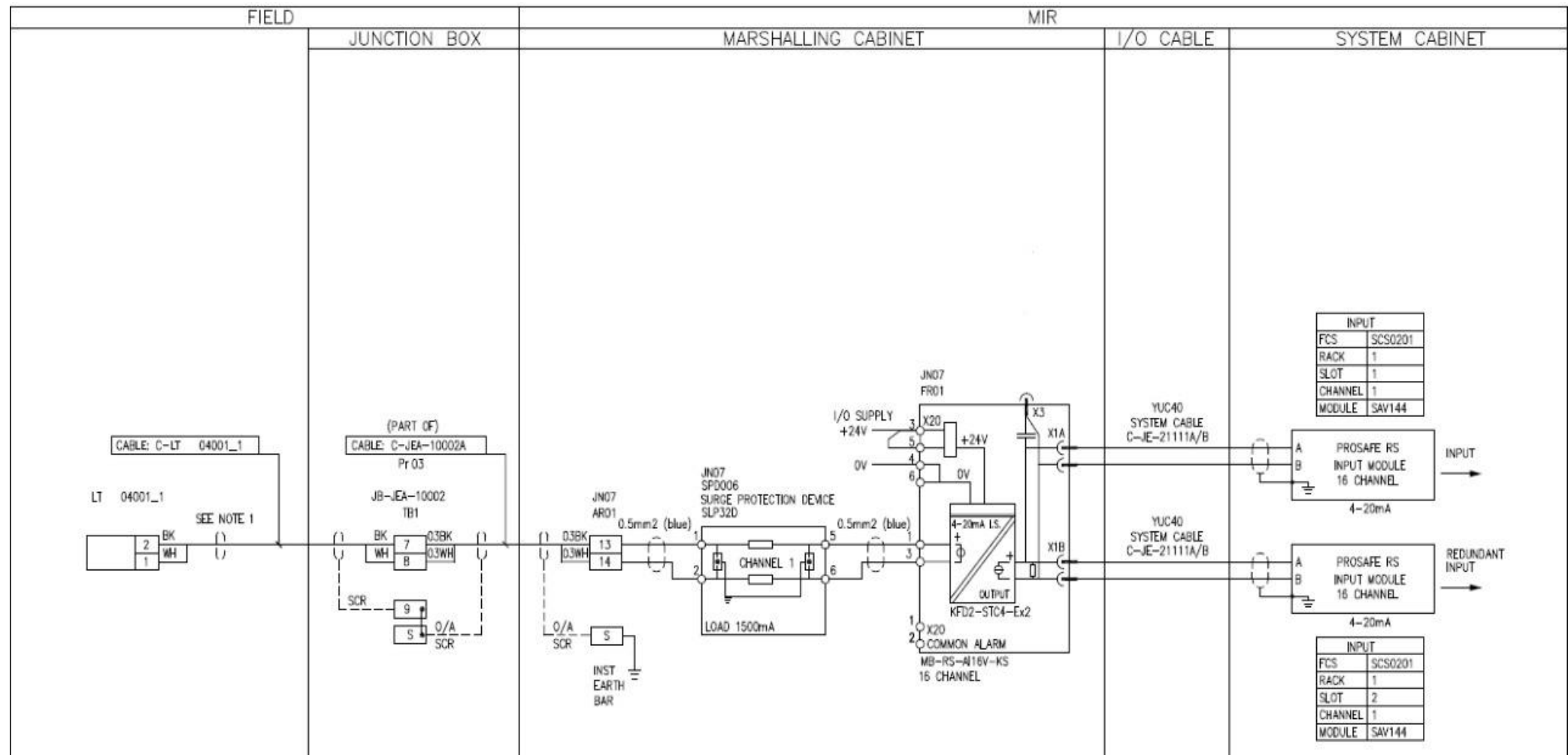
Fuente: www.yokogawa.com

Figura 2-18.DCS “Centum VP” de Yokogawa



Fuente: Data sheet PT-3003 GNL Quintero

Figura 2-19. Diagrama conexión lazo estándar



Fuente: Data sheet LT-4001_1 GNL Quintero

Figura 2-20. Conexión actual lazo control fuera de estándar

Especificaciones Técnicas:

- Modelo : SLP32D
- Corriente max. por sobretensión : 20 [KA]
- Corriente de fuga : <1 μ A
- Resistencia al lazo : 2 [ohm]
- Atenuación : -3 [dB] @50 [MHz]
- Certificación : ATEX Ex nA IIC T4

2.3.2. Barrera intrínsecamente segura

Este dispositivo también conocido como aislador intrínsecamente seguro, es un elemento fundamental para los lazos de control que operan dentro de un proceso de áreas clasificadas, ya que brinda al lazo una aislación galvánica, aislando el circuito que está adosado al área peligrosa (la señal analógica proveniente del instrumento en terreno), del circuito que está en el área segura (gabinete “marshalling”) mediante opto-acoplamiento, repitiendo la señal análoga en el circuito de área segura como un valor de corriente aislada, además de transmitir en forma bidireccional la señal digital superpuesta en el lazo de corriente. El dispositivo que actualmente se utiliza para este lazo de control es el “Smart SFD2-STC4-Ex2”, el cual se reemplazará por la versión superior llamada “Smart SFD2-STC4-Ex2-Y1” que presenta las mismas características de operación, pero se diferencia en la incorporación de un disipador de corriente interno que presta una mayor seguridad al equipo y lazo de control. En la figura 2-22 se puede apreciar dicho elemento.



Fuente: www.pepperl-fuchs.com

Figura 2-22. Barrera intrínsecamente segura

Especificaciones Técnicas:

- Modelo : SFD2-STC4-Ex2-Y1
- Señal entrada : 0/4 - 20 [mA] Transmisores inteligentes 2 hilos
- Señal salida : 0/4 - 20 [mA] (sobrecarga > 25 [mA])
- Alimentación : 24 [V] DC
- Certificación : II 3G Ex nA II T4 - SIL 2 según IEC 61508

2.3.3. Terminal board

Dispositivo denominado “Termination Board MB-RS-S-AI16-KS” diseñado por la marca “Pepperl + fuchs” única y exclusivamente para el sistema de control distribuido “Centum VP” de “Yokogawa” que gobierna el sistema de control del terminal GNL Quintero. Este dispositivo se utiliza para operar como una segunda barrera de protección, es decir, un segundo aislamiento galvánico y para ser la interfaz entre módulos, circuitos de campo y control de circuitos que interactúan en este DCS en particular , consta de una placa base con 16 módulos entre los que destacan los terminales para conexión HART (Hart socket), terminales suministro de voltaje, terminales para conexión a DCS, entre otros. En la figura 2-23 se puede apreciar la representación gráfica de este dispositivo.



Fuente: www.pepperl-fuchs.com

Figura 2-23. Tarjeta terminal

Especificaciones Técnicas:

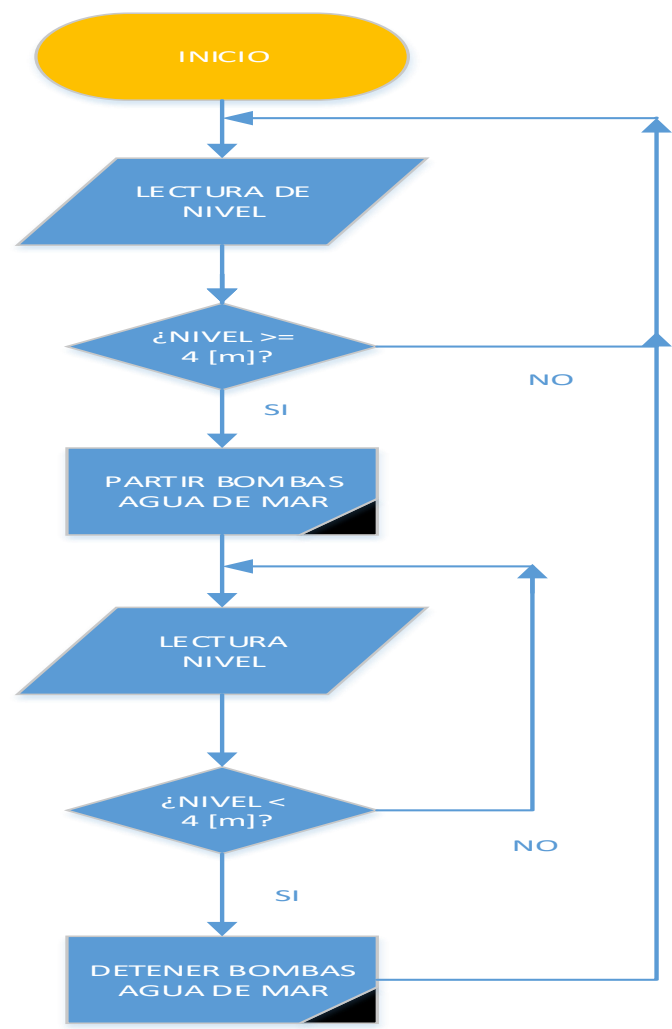
- Modelo : MB-RS-S-AI16-KS
- Alimentación : 24 [V] DC
- N° Módulos : 16
- Certificación : II 3G Ex nA II T4
: SIL 2 según IEC 61508

2.4. DESARROLLO FINAL DE LA SOLUCIÓN

Finalizado el análisis de las condicionantes relacionadas a la implementación de la alternativa presentada, se han seleccionado los elementos que formarán parte de la solución final, se han realizado todos los cálculos pertinentes y se han configurado todos los dispositivos acorde a las condiciones del proceso; se procederá a confeccionar los respectivos diagramas de flujo que expliquen en forma simple y clara el funcionamiento completo del sistema y se diseñarán los respectivos diagramas de conexión de los lazos de control. A continuación, se presentan los diagramas señalados.

2.4.1. Diagrama de funcionamiento lógico del sistema

En la figura 2-24, se presenta un diagrama que explica el funcionamiento lógico de los instrumentos que tendrá el sistema completo una vez que estén conectados todos los dispositivos entre sí y se haya establecido en forma correcta los parámetros de trabajo y el lazo de control. El diagrama presentado es válido para cada uno de los tres transmisores en estudio, es decir, los equipos LT-4001_1, LT-4001_2 y LT-4001_3.



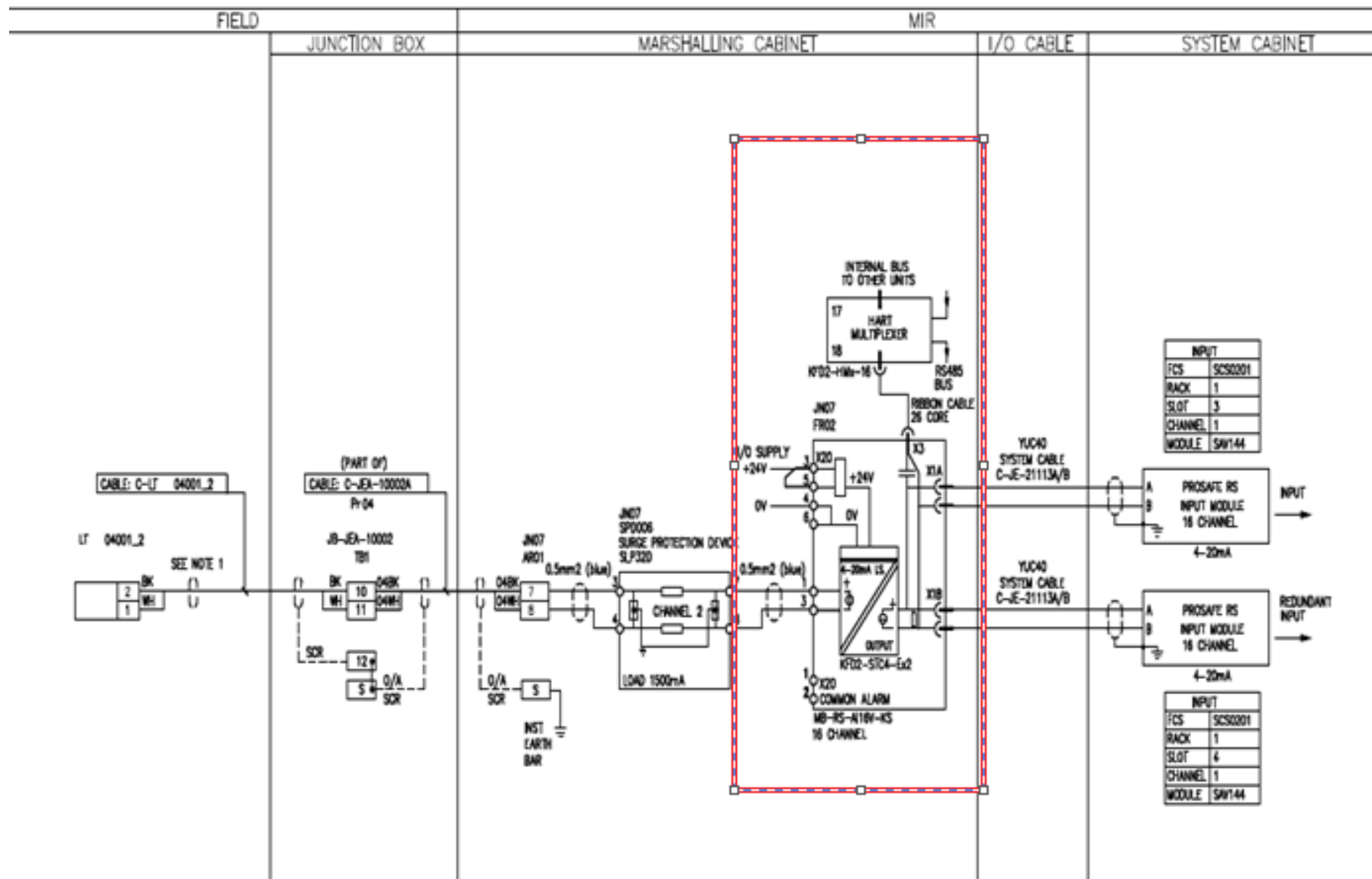
Fuente: Elaboración propia, basado en el proceso de la planta

Figura 2-24. Diagrama de funcionamiento lógico transmisores nivel

2.4.2. Diagrama conexionado lazo control estandarizado

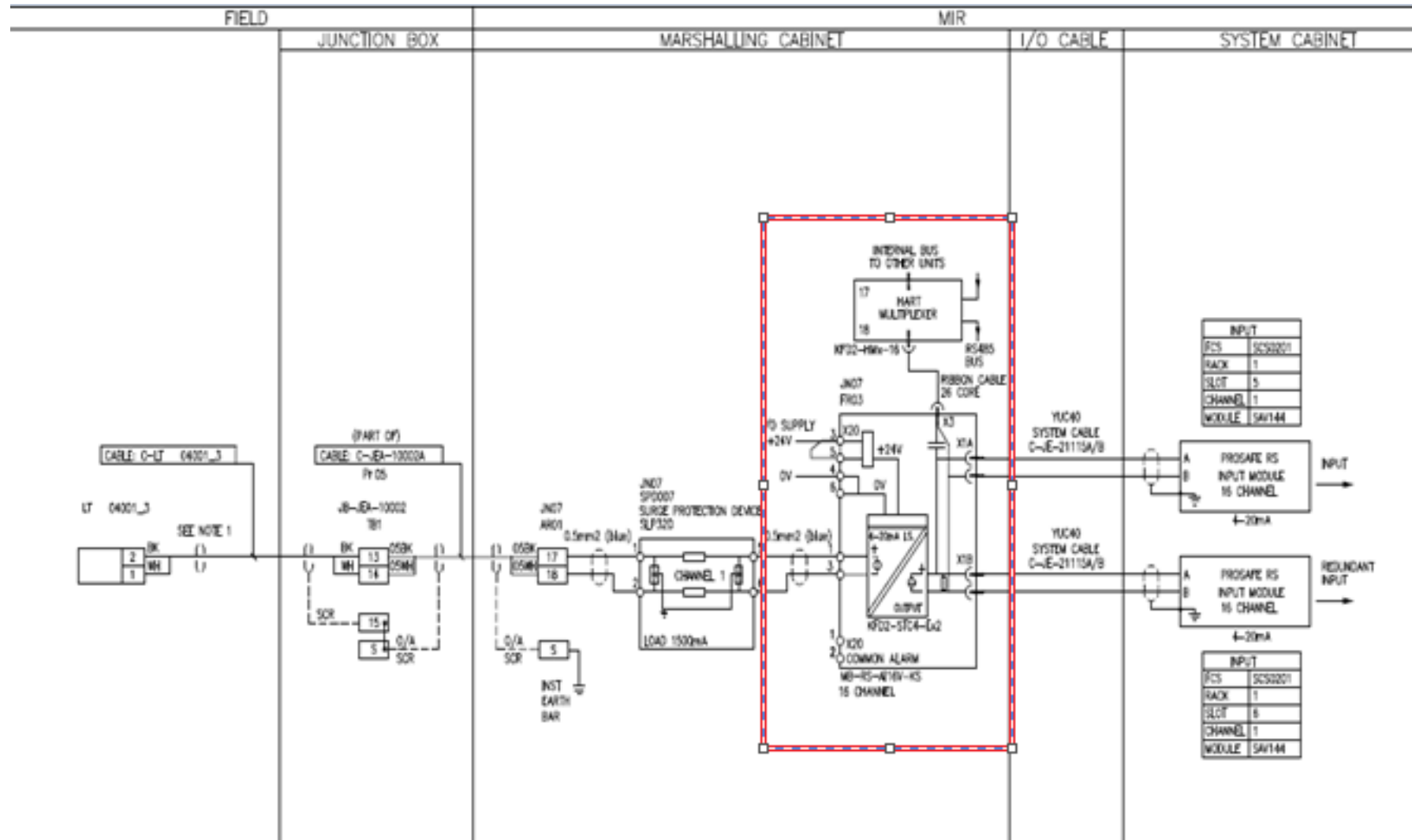
A continuación, en las figuras 2-25, 2-26 y 2-27, se presentan los diagramas de conexiones de los lazos de control estandarizados para los equipos LT-4001_1, LT-4001_2 y LT-4001_3 respectivamente, es decir, se presentan los diagramas con las mejoras implementadas detalladas en la sección 2.3 “Etapa 3: implementación de mejoras en lazo de control” incorporadas.

Figura 2-25. Diagrama de conexión lazo del equipo LT-4001_1 estandarizado



Fuente: Elaboración propia, basado en conexionado estándar de lazos de control del Terminal

Figura 2-26. Diagrama de conexión lazo del equipo LT-4001_2 estandarizado



Fuente: Elaboración propia, basado en conexionado estándar de lazos de control del Terminal

Figura 2-27. Diagrama de conexión lazo del equipo LT-4001_3 estandarizado

CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE COSTOS

3. ESTUDIO DE COSTOS

En el proceso de diseño de cualquier tipo de proyecto, existe una etapa fundamental en la cual el factor “dinero” juega un rol crucial al momento de determinar si el proyecto en diseño es viable o no, esta etapa se denomina “estudio de costos”. Es en esta etapa en donde se analizan los precios de todos los elementos que formarán parte del proyecto final contemplando todos los componentes de éste, es decir se analizan los equipos y dispositivos asociados, los materiales e insumos, los recursos humanos, etc., con el fin de estimar el costo total asociado al proyecto y estudiar qué elementos se pueden optimizar con el fin que el costo total alcance un valor razonable en cuanto a lo que la solución del problema respecta.

En cuanto a lo que a este proyecto concierne, es importante aclarar ciertos aspectos. El terminal GNL Quintero, es una sociedad anónima, por ende, los montos de dinero que obtiene son asignados por su directorio de accionistas, el cual atribuye un monto de dinero anualmente al terminal, que depende de aspectos como: producción anual, cantidad de personal contratado, cantidad de accidentes con tiempo perdido, cantidad de multas por motivos ambientales, etc. Este monto de dinero es otorgado bajo el concepto “Opex”, es decir, gastos operativos y/o funcionamiento y está destinado para efectos de operación y mantención del terminal, asignándose en ciertos porcentajes en las diferentes Gerencias y Superintendencias que conforman la empresa. Anualmente, un 30% de este dinero es derivado a la Superintendencia de Mantenimiento del terminal, la que a la vez distribuye este dinero en sus divisiones de Electricidad e Instrumentación, Mecánica y Sistemas de seguridad y control, según las planificaciones de mantenimientos, proyectos y necesidades de cada una de éstas.

Como el proyecto se centra en Transmisores de Nivel por Radar, se le adjudica el proyecto a la división Electricidad e Instrumentación. El monto asociado a esta división consta de 20 millones de dólares anuales aproximadamente (monto variable acorde a lo explicado anteriormente), en donde la prioridad del gasto de este monto depende netamente de la criticidad de los equipos o los procesos a intervenir, esto debido a que es un monto bajo para la cantidad de mantenciones que se requieren en la planta, lo que los obliga a priorizar los dineros.

A continuación se presenta el estudio de los costos relacionados al proyecto mejora en sistema de medición de nivel en piscina de succión de bombas de agua de mar del terminal GNL Quintero. Cabe destacar que los costos que se mostrarán en este estudio están realizados con fecha 13 de noviembre de 2017, por ende, los valores en moneda nacional (CLP) pueden diferir a medida que pasa el tiempo, ya que las compras de equipos en su mayoría son extranjeros, por ende, se utilizarán valores en unidades de dólares USD, y en cuanto a los valores asociados a RRHH también varían de acuerdo al IPC, por esto, se utilizarán valores en UF.

- Valor del dólar con fecha 13/11/2017 = \$630,61 (CLP)
- Valor de UF con fecha 13/11/2017 = \$26.640,66 (CLP)

3.1. COSTOS DE EQUIPOS

En esta sección se analizarán específicamente los costos asociados a los equipos a utilizar en la implementación del proyecto, es decir, los costos de todos los dispositivos electrónicos que conformarán los lazos de control de los instrumentos en cuestión. La elección de estos se basó en las especificaciones del terminal GNL Quintero, por ende, se respetó el estándar del terminal, el tipo de equipos normados que utiliza y los fabricantes establecidos. Esto debido a la buena reputación de los fabricantes y sus productos, su buen rendimiento en las aplicaciones del terminal, características específicas y a las alianzas estratégicas entre GNL Quintero y sus proveedores. Dado este contexto, la cotización de los equipos a utilizar, se realizó mediante la plataforma SAP, específicamente a través de su módulo de contabilidad, en el cual se encuentran establecidos los precios definidos con los distintos distribuidores establecidos en el terminal. El costo individual de cada equipo a utilizar, se detalla en el ANEXO B

A continuación, se describe en la tabla 3-1 una tabla con los valores de todos los equipos a utilizar para el logro del proyecto.

Tabla 3-1. Costos equipos

Equipo	Cantidad	Proveedor	Precio USD	Precio CLP	Total USD*	Total CLP
Módulo electrónica FMR 24*/25* HART Spare part: 71026754	3 [un]	Endress + Hauser	715,10	450.949,30	2.145,30	1.352.847,63
Módulo HF Spare part: 71026754	3 [un]	Endress + Hauser	497,48	313.715,86	1.492,44	941.147,58
LCD Display VU331	1 [un]	Endress + Hauser	95,00	60.000	95	60.000
Terminal board MB-RS-S-AI16-KS	3 [un]	Yokogawa Chile	1.191,00	752.092	3.573	2.256.276
Barrera intrínseca SFD2-STC4-Ex2-Y1	3 [un]	Yokogawa Chile	435,31	274.510,84	1.305,93	823.532.52
Total neto sin IVA					8.612	5.433.804
IVA					1.636	1.032.423
Total neto con IVA					10.248	6.466.227

Fuente: elaboración propia, basado en precios plataforma SAP

3.2. COSTOS DE MATERIALES E INSUMOS

En esta sección se analizarán los costos asociados a todos los materiales e insumos que se deberán adquirir para fines de instalación e implementación de los equipos antes mencionados y la ejecución del proyecto. El detalle y las especificaciones de los materiales a utilizar está detallado en la sección 2.1.2 “elementos a utilizar”.

A continuación se detallan los insumos a adquirir, se describen sus características y una explicación de su funcionalidad.

- Terminales “gland”: Terminales intrínsecamente seguros que se utilizarán para la entrada del cable armado al instrumento, entrada del cable armado al gabinete y salida del gabinete hacia sala “MIR”, sala en la cual llegan las señales que ingresarán a DCS. Para este proyecto se implementarán terminales “gland” de medida M20. La representación de este elemento se presenta en la figura 3-1.



Fuente: <http://www.phoenixcontact.com>

Figura 3-1. Terminal “gland”

- Terminales tipo “puntilla”: Se utilizarán para la terminación de los cables que ingresarán a las borneras de conexión de los instrumentos y de los dispositivos del lazo de control. Debido al calibre de los cables a utilizar en el proyecto, se seleccionaron puntillas de medida 14 AWG. La figura 3-2 muestra una figura con el tipo de puntilla seleccionada.



Fuente: <http://www.eecol.cl>

Figura 3-2. Terminal tipo puntilla

- Amarra cables: Se utilizarán para dar fijación del cable armado a la escalerilla porta conductores. Debido a los requerimientos del proyecto, se implementarán amarra cables de acero inoxidable 316SS de medidas 200x4.5 [mm]. En la figura 3-3 se muestra la representación de este elemento.



Fuente: <http://www.ndu.cl>

Figura 3-3. Amarra cables

- Dispositivos anclaje y fijación: Pernos y accesorios que se utilizarán para afianzar escalerillas porta conductores, gabinete, soporte de gabinete, soportes de instrumentos y terminales tierra.
- Perfil C: Se utilizará para la fabricación del soporte del gabinete. Debido a los requerimientos del proyecto, se seleccionó un perfil C de material acero inoxidable 316.
- Borneras de conexión: Elementos que se utilizarán al interior del gabinete para la conexión de las señales de los instrumentos. Se seleccionó una bornera estándar de 2.5 [mm]. En la figura 3-4 se puede ver una imagen de ese elemento.



Fuente: <http://www.ndu.cl>

Figura 3-4. Borneras de conexión

- Riel DIN: Riel de montaje que se implementará al interior del gabinete para la fijación de borneras de conexión. El tipo de riel a utilizar corresponde a un riel perforado de dimensiones 2000x35x7.5 [mm] (largo, ancho y alto respectivamente). En la figura 3-5 se muestra el elemento a utilizar.



Fuente: <http://www.eecol.cl>

Figura 3-5. Riel DIN

- Cable puesta tierra: Se utilizará para realizar los aterramientos de las carcasas de los instrumentos y del terminal gland. Para este proyecto se seleccionó un cable 14 AWG, el cual se representa en la figura 3-6.



Fuente: <http://www.eecol.cl>

Figura 3-6. Cable puesta tierra

Una vez conocidos y explicados los materiales e insumos a utilizar para la implementación del proyecto, se presenta la tabla 3-2 donde se resume la totalidad de costos de materiales e insumos requeridos.

Tabla 3-2. Costos materiales e insumos

Material	Cantidad	Proveedor	Precio USD*	Precio CLP	Total USD	Total CLP
Esclerilla FRP 3000x100x100 [mm]	10 [un]	Femoglass	11,85	7.484	118,5	74.841
Eclisa 200x10x100 [mm]	15 [un]	Femoglass	4,2	2.652	63	39.780
Perno coche NC acero inoxidable 1/4x1"	1 x 50 [un]	Importper	39,6	25.000	39,6	25.000
Golilla plana inoxidable AISI-304, 1/4"	1 x 50 [un]	Importper	7,1	4.500	7,1	4.500
Tuerca hexagonal inox AISI-304, 1/4"	1 x 50 [un]	Importper	11,9	7.500	11,9	7.500
Perno anclaje acero inox 304, 3/8x3"	1 x 50 [un]	Importper	47,5	30.000	47,5	30.000
Tornillo auto perf golilla goma inox 1/2x3/4"	1 x 50 [un]	Importper	43,5	27.500	43,5	27.500
Cable armado 3 hilos 14 AWG	100 [m]	Eecol	3,9	2.499	390	249.000
Gland M20 ATEX Bronce	6 [un]	Eecol	11,8	7.450	70,8	44.700
Amarra cable acero inox 200x4.5 [mm]	1 x 100 [un]	NDU	33,2	21.000	33,2	21.000
Armario compacto acero inox 700x500x250 IP 66/NEMA 4X	1 [un]	Rittal	411,7	260.000	411,7	260.000
Riel Din tipo Omega zincado	2 [m]	Eecol	3,4	2.190	6,8	4.380
Tira perfil C	3 [m]	Maestranza Alemania	20,5	13.000	61,5	39.000
Terminal puntilla 14 AWG	1 x 100 [un]	Eecol	25,3	16.000	25,3	16.000
Bornera conexión estándar	6 [un]	NDU	0,5	310	3	1.860
Cable puesta a tierra	100 [m]	Eecol	0,6	390	60	39.000
Total neto sin IVA					1.393	844.061
IVA					265	160.371
Total neto con IVA					1.658	1.004.432

Fuente: elaboración propia, basado en cotizaciones en línea

3.3 COSTOS DE RECURSOS HUMANOS

En esta sección, se analizarán los costos asociados a la mano de obra del proyecto, es decir, se abarcarán los costos de todo el personal que estará involucrado en el desarrollo del proyecto indicando la función que cumplirá cada uno dentro del mismo. Los valores se presentarán en unidades de pesos chilenos (CLP) y en unidades de fomento (UF) debido a que este último varía acorde al IPC (Índice per cápita) y a la inflación en la economía chilena.

También es importante recalcar que el desarrollo total del proyecto se proyecta a un plazo de 10 días hábiles indicados en la carta Gantt que se presenta a continuación en la figura 3-7.

Actividad	Días										Personal a cargo
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Cotización y compra de equipos y materiales											ITO GNLQ
Coordinación previa inicio faena											ITO GNLQ - Supervisor - Técnicos M1 y M2
Levantamiento en terreno condiciones iniciales											Supervisor
Solicitud permisos de trabajo											ITO GNLQ
Desmontaje de antigua soportación											Supervisor - Técnico M1 - Técnico M2
Montaje de nuevo trazado de cables y tablero											Supervisor - Técnico M1 - Técnico M2
Reparación de instrumentos											Supervisor - Técnico M1 - Técnico M2
Configuración y calibración de instrumentos											ITO GNLQ - Supervisor - Técnico M1
Implementación de equipos a lazo de control											ITO GNLQ - Supervisor - Técnico M1
Pruebas en comisionamiento											ITO GNLQ - Supervisor - Técnicos M1 y M2

Fuente: Elaboración propia, basado en planificación de ejecución del proyecto

Figura 3-7. Carta Gantt

3.3.1. Empresa MIES

MIES, es la empresa contratista que presta servicios de mantención en el terminal GNL Quintero. Dentro del contrato entre ambas partes, Mies pone a disposición para la Superintendencia de Mantenimiento GNL Quintero, supervisores y técnicos calificados para las áreas mantenimiento mecánico, mantenimiento eléctrico y mantenimiento instrumentista, con la función de llevar a cabo la realización de mantenimientos programados del tipo preventivo. El área mantenimiento instrumentista GNL Quintero, por contrato, cuenta con un supervisor y 04 técnicos calificados de la empresa contratista MIES, estos últimos categorizados como 02 técnicos maestros de primera “M1” y 02 técnicos maestros de segunda “M2” diferenciándose en su categorización netamente en las responsabilidades que cada escalafón posee.

Además de tener adjudicado el contrato de mantenimiento preventivo del terminal, al tener su personal dentro de las instalaciones de GNL Quintero, es decir, personal con las inducciones y certificaciones correspondientes, tiene la prioridad para la ejecución de mantenimientos correctivos y/o para la prestación de apoyo al personal propio del terminal para mantenimientos y para los proyectos que pudiesen surgir, es por esta razón que la implementación de este proyecto será llevada a cabo por esta empresa.

En lo que a la implementación este proyecto concierne se requerirá de 01 técnico “M1”, 01 técnico “M2” y del supervisor de éstos. A continuación se presentarán las funciones y costos asociados a cada cargo.

3.3.2. Supervisor instrumentista

El supervisor instrumentista será la persona a cargo de la los técnicos que se encuentren desarrollando las actividades asignadas, velando por la correcta ejecución de estas y por la seguridad de sus trabajadores, cuidando la cancelación de algún trabajo en caso de problemas operacionales que puedan afectar a la salud de éstos. Además será el encargado de coordinar los trabajos con el representante de la empresa mandante, en este caso el inspector técnico de obra ITO. A continuación, en la tabla 3-3 se presentan los valores de la hora hombre del supervisor instrumentista.

Tabla 3-3. Costos supervisor instrumentista

Cargo	Precio por hora (UF)	Precio por hora (CLP)	Horas por día	Días trabajados	Total en UF	Total en CLP
Supervisor Instrumentista	0.7	18.648,46	9	10	63	1.678.361,58

Fuente: elaboración propia, basado en el mercado actual

3.3.3. Técnico instrumentista “M1”

La función del técnico instrumentista “M1”, será la de ejecutar el desmontaje de todos los equipos, cableados y soportes antiguos, para posteriormente realizar el nuevo trazado de cables, montando las escalerillas FRP, accesorios y fijaciones correspondientes; realizar el montaje del nuevo tablero con sus elementos internos y en conjunto con todos los soportes asociados; realizar la reparación de los instrumentos involucrados y finalmente la implementación de equipos en lazo de control. En la tabla 3-4, se indican los valores de hora hombre para este cargo.

Tabla 3-4. Costos técnico instrumentista “M1”

Cargo	Precio por hora (UF)	Precio por hora (CLP)	Horas por día	Días trabajados	Total en UF	Total en CLP
Técnico “M1” Instrumentista	0.5	13.320,33	9	10	45	1.198.829,70

Fuente: elaboración propia, basado en el mercado actual

3.3.4. Técnico instrumentista “M2”

La principal función del técnico instrumentista “M2”, es prestar apoyo al técnico instrumentista “M1” en la ejecución de las actividades e incluso brindar una segunda opinión para un correcto desarrollo de esta.

Por políticas de seguridad del terminal GNL Quintero, está prohibido que algún trabajador, ya sea propio de la empresa o algún trabajador externo, esté desarrollando labores solo, por lo que siempre debe ser en parejas. Dado este contexto el técnico

instrumentista “M2” también tendrá la función de salvaguardar a su compañero en caso de cualquier eventual accidente. Se muestra en la tabla 3-5 los valores de hora hombre de este cargo.

Tabla 3-5. Costos técnico instrumentista “M2”

Cargo	Precio por hora (UF)	Precio por hora (CLP)	Horas por día	Días trabajados	Total en UF	Total en CLP
Técnico “M2” Instrumentista	0.4	10.656,26	9	10	36	959.063,76

Fuente: elaboración propia, basado en el mercado actual

3.3.5. ITO GNLQ

El inspector técnico de obra ITO, tiene como objetivo supervisar que todos los trabajos relacionados a la implementación del proyecto se realice acorde a las normas, que se cumplan las normativas y exigencias legales con el fin de asegurar la calidad y eficiencia en el desarrollo del trabajo, además tendrá la labor de coordinar los trabajos con las diferentes áreas del terminal que correspondan para solicitar y entregar los permisos de trabajo y seguridad correspondientes al supervisor Instrumentista de la empresa contratista MIES, para que los trabajos se realicen. A continuación en la tabla 3-6, se detallan los costos asociados a dicho cargo.

Tabla 3-6. Costos ITO GNLQ

Cargo	Precio por hora (UF)	Precio por hora (CLP)	Horas por día	Días trabajados	Total en UF	Total en CLP
ITO GNLQ	1	26.640,66	4	10	40	1.065.626,40

Fuente: elaboración propia, basado en el mercado actual

3.3.6. Costo total asociado a Recursos Humanos

Calculados y conocidos todos los costos del personal a utilizar según sus sueldos por horas hombre y cantidad de días y horas trabajadas, es posible realizar una tabla resumen que contiene los costos finales asociados a Recursos Humanos, valores que se pueden apreciar en la tabla 3-7.

Tabla 3-7. Resumen costos asociados a Recursos Humanos

Cargo	Total en CLP	Total en UF
Supervisor Instrumentista	1.678.361,58	63
Técnico Instrumentista M1	1.198.829,70	45
Técnico Instrumentista M2	959.063,76	36
ITO GNLQ	1.065.626,40	40
Total	4.901.881,44	184

Fuente: elaboración propia, basado en el mercado actual

3.4. CÁLCULO FINAL DE COSTOS ASOCIADOS AL PROYECTO

Finalmente, una vez calculados y conocidos todos los costos asociados al proyecto ya sean de equipos, materiales e insumos y recursos humanos, es posible resumir los costos finales del proyecto completo. Estos valores los podemos apreciar en la tabla 3-8.

Tabla 3-8. Costos finales del proyecto

Ítem	Costo CLP	Costo USD	Costo UF
Equipos	6.466.227	10.248	242,72
Materiales e insumos	1.004.432	1.658	37,70
RRHH	4.901.881	7.773	184
Total	12.372.540	19.679	464,42

Fuente: elaboración propia, basado en el mercado actual

3.5. RESUMEN DE COSTOS

Una vez finalizado el estudio de costos, es posible determinar el costo total de la implementación de este proyecto, como es posible visualizar en la tabla 3-8, el costo total del proyecto en dólares es de 18.208 USD, lo cual no presenta problemas para el presupuesto anual otorgado a la división de Electricidad e Instrumentación de la Superintendencia del Mantenimiento del terminal GNL Quintero, es decir, la implementación de este proyecto, sería financiado como un gasto de operación y/o funcionamiento del terminal y debido a la criticidad del proceso, la destinación de recursos se vería priorizada. Además, cabe destacar que este costo es bajo en relación al costo que implicaría una pérdida total de una o más bombas de agua de mar debido al mal funcionamiento de los instrumentos en cuestión y tampoco se compara a lo que significaría el riesgo vital o pérdida de personal de mantención y/o operaciones bajo un accidente provocado por el actual sistema ineficiente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Mediante el desarrollo de este proyecto se ha podido dar una solución fiable al problema presentado en la instrumentación de nivel del subsistema de captación distribución de agua de mar del terminal GNL Quintero, instrumentación que cumple un rol muy importante, ya que cumple la función de seguridad de detener las bombas de agua de mar que generan el impulso de agua para la etapa de vaporización del terminal y su incorrecto funcionamiento genera la detención de equipos asociados a su lazo de control, provocando pérdidas económicas por la discontinuidad de emisión de gas natural por parte del terminal hacia sus clientes.

Durante el desarrollo de este trabajo se realizó un análisis exhaustivo sobre los pros y contras de las alternativas presentadas, debatiendo pormenorizadamente bajo criterios como innovación y factibilidad económica, entre otros, cuál sería la mejor alternativa para dar una solución concreta y eficaz a este problema.

Para desarrollar esta mejora se decidió mejorar las condiciones en las cuales se encuentra operando la instrumentación existente, mejorar los elementos dañados e implementar mejoras al lazo de control con el fin de atacar la raíz del problema, poniendo énfasis en las causales de las fallas, con el fin de eliminar el origen y no solo eliminar las consecuencias que este problema produce.

Con la implementación de esta mejora se logra obtener una medición fidedigna de nivel en la piscina de agua de mar del terminal GNL Quintero, produciendo un sistema de control estable y confiable, libre de fallas externas al funcionamiento propio de los instrumentos, todo esto apuntando a un aumento en la productividad del sistema, a un aumento en la disponibilidad del terminal y a una disminución en la probabilidad de accidentes operacionales que provoquen pérdidas, equipos, instalaciones o personal.

Con este trabajo se ha aprendido acerca del funcionamiento de los equipos de medición de nivel con el principio de funcionamiento TOF (Time of Flight) pudiendo entender la diferencia entre los instrumentos tipo radar respecto a otros principios de medición, como por ejemplo, los del tipo ultrasónicos, de manera de poder discriminar cuál funciona de una manera más apropiada para cada aplicación; se ha entendido cuál es la diferencia entre utilizar transmisores de nivel por radar guiado y no guiado; se ha instruido acerca de la física de ondas en cuanto a su propagación y a su reflexión y también se ha instruido sobre la importancia de conocer las condiciones de operación de los equipos y de la correcta configuración de estos para alcanzar su rendimiento óptimo.

BIBLIOGRAFÍA

CREUS, Antonio. Instrumentación Industrial. 8va edición. México: Alfaomega, 2010. 794p. ISBN 978-607-707-042-9.

ANSI/ISA-5.1-2009. Instrumentation Symbols and Identification. Estados Unidos: International Society of Automation. 2009. 128p.

GNL QUINTERO. Manual de operaciones terminal de recepción, descarga, almacenamiento y regasificación de Gas Natural, 2009.

TECHNICAL INFORMATION. Manual información técnica Micropilot M FMR240 [en línea]. 2010 [consulta noviembre de 2017]. Disponible en: <http://www.cl.endress.com>

MANUAL INSTRUCCIONES. Manual de instrucciones Micropilot M FMR240 [en línea]. 2010 [consulta noviembre de 2017]. Disponible en: <http://www.cl.endress.com>

ANEXOS

ANEXO A: CONFIGURACIÓN DE LOS EQUIPOS

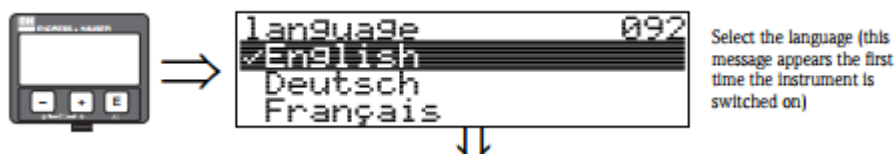
a. Menú SYSTEM

En este menú se puede configurar a través del sub menú “display” los parámetros de visualización del instrumento, es decir la interfaz gráfica que presentará el instrumento en campo.

A.- Sub menú DISPLAY

- E→SYSTEM→DISPLAY→LANGUAGE

En esta sección se escogerá la opción “ESPAÑOL”. Esta configuración se puede apreciar en la siguiente figura.

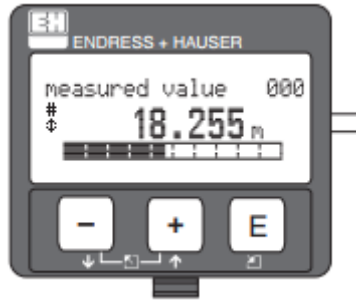


Fuente: www.portal.endress.com

Submenú “Language”

- E→SYSTEM→DISPLAY→FORMAT DISPLAY

En esta sección se escoge de qué manera se desplegará la información en el display del equipo. Se debe escoger la opción “1 BARGRAPH + 1 VALUE”. Al escoger esta opción se desplegará el valor de nivel en la unidad que se haya escogido y además una “progressbar” que indicará el porcentaje del span en que se encuentra la medida. Se selecciona esta opción debido a que brinda una visualización de la medición más práctica y sencilla de la medición. En la siguiente figura se puede observar esta configuración.



Fuente: www.portal.endress.com

Visualización configuración display

- E→SYSTEM→DISPLAY→VALUE 1 DISPLAY

En esta sección se deberá seleccionar el valor que se desea que se despliegue en el display, se escogerá la opción “LEVEL LINEARIZED”. Con la selección de esta opción se obtiene en pantalla una salida lineal de la medición.

- E→SYSTEM→DISPLAY→DECIMAL PLACES 1 TO 4

En esta sección se deberá seleccionar la cantidad de decimales con las que se representará el valor de la medición en el display, se debe escoger la opción “X.XXX”, la cual nos brinda el valor representado en su parte entera más 3 decimales.

- E→SYSTEM→DISPLAY→HEADER

En esta sección se permite ingresar un mensaje sobre la “progressbar”, se debe seleccionar la opción “DEVICE TAG”. Al escoger esta opción se puede configurar el TAG del equipo.

- E→SYSTEM→DISPLAY→SEPARATOR

En esta sección se da la opción de escoger si se separarán los decimales con comas ó con puntos. Se debe escoger la opción “.”.

b. Menú SENSOR

En este menú se pueden configurar los parámetros que involucran directamente a la medición, es decir todos los parámetros esenciales que afectan a una correcta medición, entre estos parámetros, destacan:

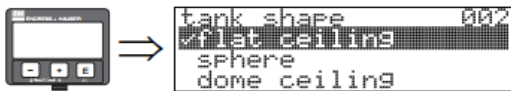
- E→SENSOR→DISTANCE UNIT

En esta sección se selecciona la unidad con la que se desea que se refleje la medición en el display y opere el equipo, se debe escoger la opción “m” para de esta forma visualizar la medición en la unidad metro.

- E→SENSOR→TANK SHAPE

En esta sección se debe seleccionar el tipo de recipiente en el cual operará el equipo., es decir se deberá escoger la alternativa que se adapte a la forma del depósito, para nuestro caso particular se deberá elegir la opción “cilindro horizontal”, si bien la piscina de agua del terminal no es un cilindro horizontal, se debe escoger esta opción debido a que dentro de las alternativas es la que más se adapta a nuestra condición. En la siguiente figura se puede apreciar el sub menú “Tank Shape” y las alternativas de configuración.

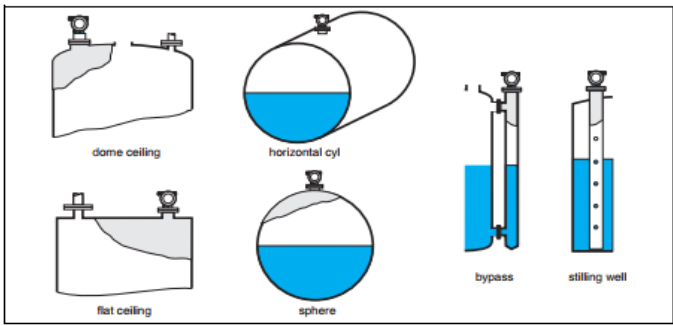
5.4.4 Function "tank shape" (002), liquids only



This function is used to select the tank shape.

Selection:

- dome ceiling
- horizontal cyl
- bypass
- stilling well
- flat ceiling
- sphere



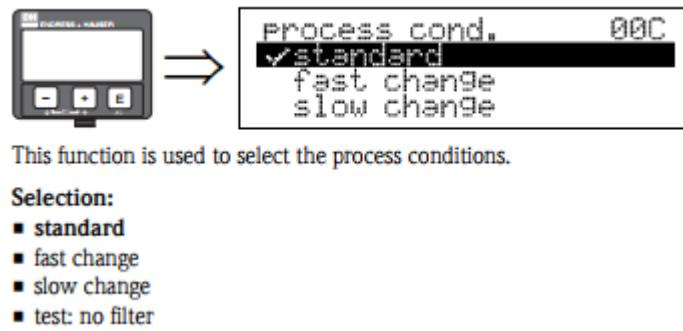
Fuente: www.portal.endress.com

Sub menú “Tank Shape”

- E→SENSOR→PROCESS PROPERTY

En esta sección se puede indicar con qué velocidad es que varía el nivel dentro del depósito con el fin de que el dispositivo ajuste automáticamente los filtros de evaluación y atenuación de la señal. Acorde a las condiciones ideales del proceso de la

piscina de agua de mar, se debe optar por la opción “STANDARD”. Al escoger esta alternativa estamos configurando el equipo la velocidad con la que aumenta el nivel en el depósito, para esta aplicación, la velocidad es menor a 1 metro por minuto. En la siguiente figura se puede apreciar este sub menú y sus alternativas de selección.



Fuente: www.portal.endress.com

Sub menú “Process property”

- E→SENSOR→ADVANCED PROCESS CONDITIONS

Este apartado es fundamental para alcanzar un correcto funcionamiento del equipo en la aplicación en estudio. Es acá donde se le especifica al equipo las condiciones adicionales al proceso. Se debe escoger la opción “FOAM”, opción que hace referencia a la existencia de espuma en el medio. Al configurar esta opción se optimizará la evaluación de la señal de eco (retorno) al instrumento logrando así que el equipo ignore la espuma presente dando una medición más certera del nivel.

A.- Sub menú MEDIUM

- E→SENSOR→MEDIUM→MEDIUM GROUP

En este apartado es posible escoger el grupo del medio, es decir se debe escoger entre las alternativas que ofrece el equipo respecto a la clase del producto, según su valor de constante dieléctrica. Para nuestro caso se debe escoger la opción “>10” que es el grupo que aloja a los productos con constante dieléctrica mayor a 10, se escoge esta opción debido a que la constante dieléctrica de nuestro medio, es decir agua de mar es de 58. En

la siguiente figura se puede apreciar una tabla con los grupos de constantes dieléctricas que podemos seleccionar

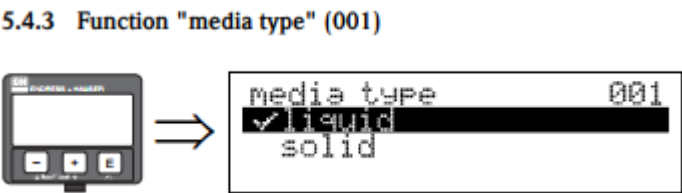
Media group	DC (Er)	Examples
A	< 1.9	non-conducting liquids, e.g. liquefied gas ¹⁾
B	1.9 to 4	non-conducting liquids, e.g. benzene, oil, toluene, ...
C	4 to 10	e.g. concentrated acids, organic solvents, esters, aniline, alcohol, acetone, ...
D	> 10	conducting liquids, e.g. aqueous solutions, dilute acids and alkalis

Fuente: www.portal.endress.com

Alternativas de grupos de constantes dieléctricas a configurar

- E→SENSOR→MEDIUM→MEDIA TYPE

En esta sección se debe seleccionar si el medio es líquido o sólido. Se debe escoger la opción “LIQUID”. Esta configuración se puede observar en la siguiente figura.



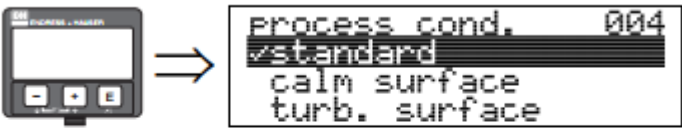
Fuente: www.portal.endress.com

Sub menú “media type”

- E→SENSOR→MEDIUM→PROCESS COND

En este apartado se debe seleccionar las condiciones del medio, es decir las condiciones del proceso en que operará el equipo. Se debe seleccionar la opción “TURBULENT SURFACE” opción que corresponde a un proceso con superficie turbulenta, es decir no estable, se escoge esta alternativa para que el equipo opere con filtros especiales para suavizar la señal de entrada aplicándose a las condiciones de nuestro proceso. Este submenú y las alternativas de selección se pueden observar en la siguiente figura

5.4.6 Function "process cond." (004) , liquids only



This function is used to select the process conditions.

- Selection:**
- standard
 - calm surface
 - turb. surface
 - agitator
 - fast change
 - test: no filter

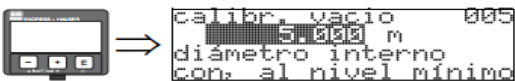
Fuente: www.portal.endress.com

Sub menú "Process Cond."

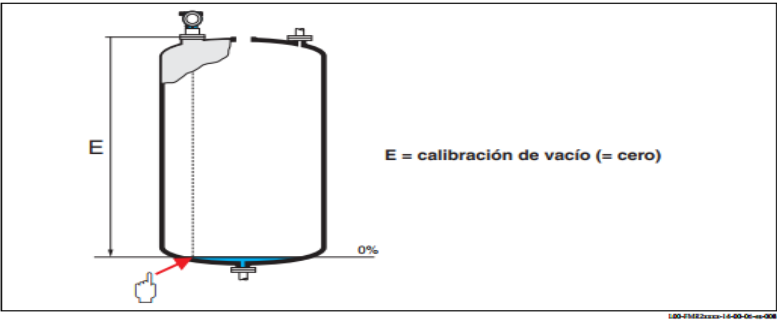
B.- Submenú LEVEL

- E→SENSOR→LEVEL→EMPTY CALIBRATION

En esta sección se realiza la calibración en vacío en donde se especifica la distancia “E” correspondiente entre la conexión al proceso, es decir, la brida de conexión del instrumento al depósito y nivel mínimo del span que tendrá el instrumento, es decir el 0% definido por el usuario-. Se puede ver una imagen representativa de este nivel en la siguiente figura. Para la configuración específica de la piscina de captación de agua de mar, este parámetro debe ser asignado con un valor de 16.000 [m].



Esta función se utiliza para entrar la distancia entre la brida (punto de referencia de la medida) y el mínimo de nivel (=cero).

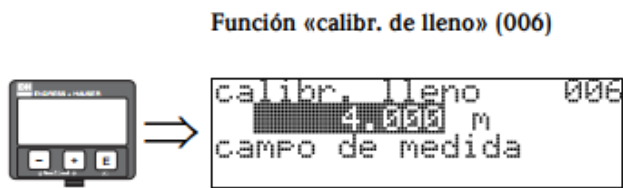


Fuente: www.portal.endress.com

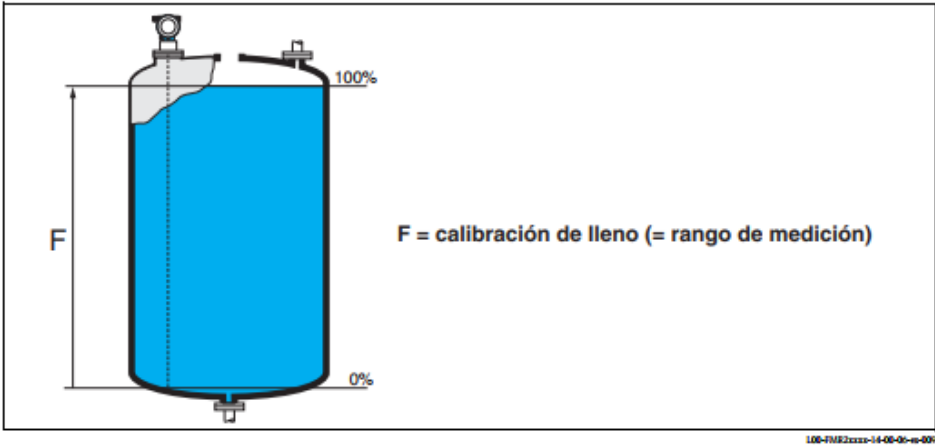
Sub menú "Empty calibration"

- E→SENSOR→LEVEL→FULL CALIBRATION

En esta sección se realiza la calibración con el depósito lleno. Se debe ingresar el valor en metros de la distancia “F”, es decir la distancia entre el nivel mínimo (0%) y el nivel máximo (100%), es decir el span del equipo. Para nuestra configuración se debe ingresar el valor “15.000” [m] Este sub menú se puede apreciar en la siguiente figura.



Esta función se utiliza para entrar la distancia entre el nivel mínimo y el máximo (=span).



Fuente: www.portal.endress.com

Sub menú “Full calibration”

- E→SENSOR→LEVEL→OUTPUT MODE

En esta sección se debe escoger la medida que se requiere del equipo, es decir si necesitamos que el instrumento nos entregue el valor de la altura del producto (distancia “F”) o el valor de la distancia entre el instrumento y el producto (distancia “E”). En nuestro caso el valor requerido es la altura del producto, por lo tanto se debe seleccionar la opción “LEVEL LINEARIZED”.

C.- Sub menú SAFETY SETTINGS

- E→SENSOR→SAFETY SETT. →OUTPUT ECHO LOST

En este apartado se debe definir el cómo actuará el instrumento en caso de una detección de pérdida de eco. Se debe elegir la opción “VALUE ECHO LOST” que se explicara a continuación.

- E→SENSOR→SAFETY SETT. →VALUE ECHO LOST

En esta sección se establecerá el valor que indicará el instrumento en el display en caso de pérdidas de eco. Se debe ingresar el valor “0”. Al configurar este valor se establece que ante la pérdida del eco, el equipo se vaya a falla. De este modo se producirá una alarma en sala de control (DCS) lo que provocará una detección de las bombas de agua de mar, activándose la lógica de seguridad (SIF) a la cual pertenecen estos equipos. Se establece este valor con el fin de proteger las bombas de agua de mar ante una pérdida de eco que pudiese ser por un cambio brusco de nivel. Para evitar que este parámetro active la lógica de seguridad ante cualquier pérdida de eco, se establece un tiempo de retardo o “delay”, tiempo que se establece en el parámetro “DELAY ECHO LOST”, que se detalla a continuación.

- E→SENSOR→SAFETY SETT. →DELAY ECHO LOST

En este parámetro se establece un tiempo de retardo para la activación del parámetro “VALUE ECHO LOST” una vez que el instrumento registre una pérdida de eco. Para nuestra aplicación se define un valor de “25.0” (unidad en segundos).

D.-Sub menú MAPPING

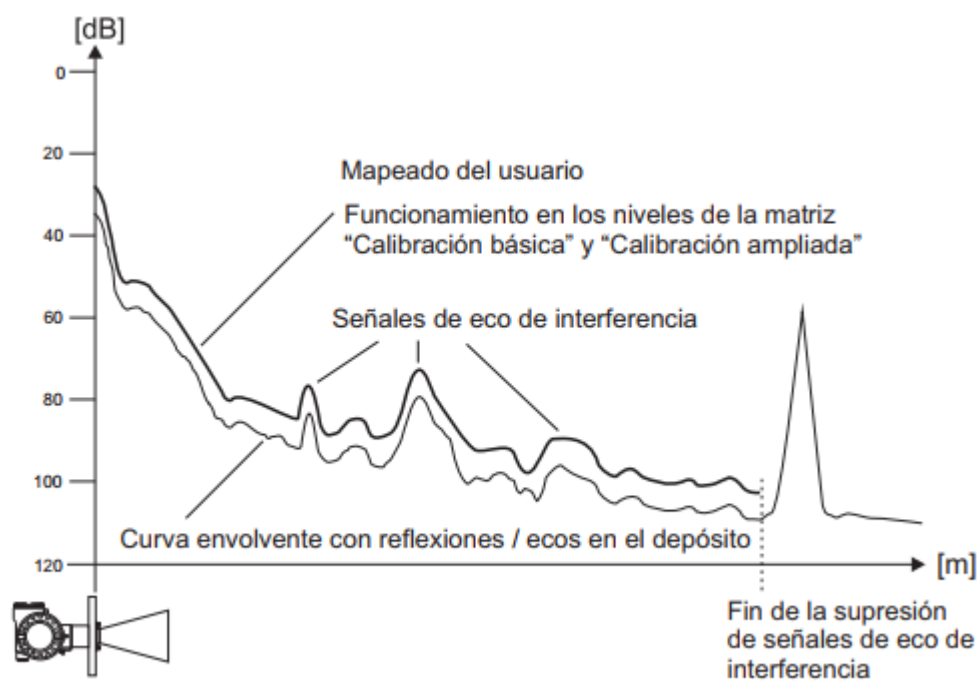
- E→SENSOR→MAPPING →DISTANCE

Esta función muestra la distancia medida desde el punto de referencia, es decir, la brida de conexión del instrumento al depósito hasta la superficie del producto con el nivel real del producto calculado en el ajuste en vacío. Si la distancia confirmada es correcta, se pasa a la función “CONFIRM DISTANCE”, que se explica a continuación.

- E→SENSOR→MAPPING→CONFIRM DISTANCE

En esta función se activa el “mapeado” del depósito; considerando que el mejor “mapeo” que se puede realizar es con el depósito vacío, se confirmará la opción “TANK

EMPTY” es decir, depósito vacío, de esta forma el equipo realizará un mapeo completo del recipiente y no solo de la distancia que existe entre el punto de referencia y la altura actual del producto. Al realizar el “mapeado” se están incluyendo todas las reflexiones adicionales del interior del depósito a la configuración del equipo, pero solo se evaluarán aquellas señales de intensidad significativa que se aparten de las descritas por el mapa de señales del depósito. En la siguiente figura se puede observar un gráfico explicativo de este parámetro de configuración.



Fuente: www.portal.endress.com

Mapeado del usuario

4. Menú OUTPUT

En este menú se configurarán todos aquellos parámetros fundamentales correspondientes a la señal de salida del transmisor, señal que irá al “DSC” para efectuar el control de las bombas de agua de mar.

A. Sub menu CURRENT OUTPUT

- E→OUTPUT→CURR. OUTPUT→ ASSIGN CURR.

En esta sección se establecerá la variable de proceso que operará la salida en corriente. Para esta aplicación específica, se seleccionará la opción “LEVEL LINEARIZED”. Al escoger esta alternativa se está configurando que la señal de salida del equipo será de 0 [%] para los 4 [mA] y 100 [%] para los 20 [mA].

- E→OUTPUT→CURR. OUTPUT →CURRENT SPAN

En esta sección se establecerá el nivel de span de corriente con que operará el equipo. Para nuestra aplicación se establecerá la opción “4...20 mA US” opción que establece un rango para la variable de proceso que varía desde los 3.6 [mA] hasta los 21.95 [mA], en donde las alarmas por bajo nivel representadas con una corriente de 3.6 [mA] y las alarmas por alto nivel con una corriente de 21.95 [mA].

Realizados a cabalidad estos pasos, se tendrá una configuración avanzada del equipo, es decir, estarán establecidos los parámetros fundamentales para que el equipo brinde una correcta operación acorde a las características del proceso.

B. Módulo HF

Material Iratrar Pasar a Entorno Sistema Ayuda

Visualizar material 1001977 (Repuestos)

Datos adicionales Niveles organización

Dat.ce./Almacenam.2 Contabilidad 1 Contabilidad 2 Cálculo coste 1

Material 1001977 Módulo HF Transmisores Nivel Endress + H 

Centro 0100 Quintero

Datos generales

Unidad medida base	C/U	cada uno	Tipo de valoración	
Moneda	USD		Período actual	12 2017
Sector	21		Determ.precio	☐ LM act.

Valoración actual

Categoría valoración	2001	CatValStockPProyecto	
CatgValStkPedCliente		Cantidad base	1
Control de precios	V	Precio estándar	0,00
Precio variable	497,48	Valor total	497,48
Stock total	1	☐ UM valorada	
Precio futuro	0,00	Válido de	
Precio anterior	0,00	Últ.modif.precio	

Periodo/año ant. Cálculo coste plan

C. Terminal Board

Material Iratr Pasara Entorno Sistema Ayuda

Visualizar material 1003536 (Repuestos)

Datos adicionales Niveles organización

Dat.ce./Almacenam.2 Contabilidad 1 Contabilidad 2 Stock de...

Material 1003536 B-RS-AI16V-KS-183383

Centro 0100 Quintero

Datos generales

Unidad medida base	C/U	cada uno	Tipo de valoración	
Moneda	USD		Período actual	12 2017
Sector	21		Determ.precio	☐ LM act.

Valoración actual

Categoría valoración	2001	CatValStockPProyecto	
CatgValStkPedCliente		Cantidad base	1
Control de precios	☒	Precio estándar	0,00
Precio variable	1.191,00	Valor total	1.191,00
Stock total	1	☐ UM valorada	
Precio futuro	0,00	Válido de	
Precio anterior	0,00	Últ.modif.precio	

Periodo/año ant. Cálk.coste plan

D. Barrera intrínseca

Material
Tratar
Pasara
Entorno
Sistema
Ayuda

Visualizar material 1002507 (Repuestos)

Material:

Centro:
Quintero

Datos generales

Unidad medida base: cada uno
Tipo de valoración:

Moneda:
Período actual:

Sector:
Determin. precio: ☐ LM act.

Valoración actual

Categoría valoración:
CatValStkPedCliente:
CatValStockPProyecto:

Control de precios:
Cantidad base:

Precio variable:
Precio estándar:

Stock total:
Valor total:

☐ UM valorada

Precio futuro:
Válido de:

Precio anterior:
Últ.modif.precio: