

Estudio de Prefactibilidad para la Actualización Tecnológica del Sistema de Bombeo y Mejora de la Planta Inyección del sector Oil and Gas

Autor: José Leonardo Castillo Valencia
Barrancabermeja - Colombia

Resumen: El estudio de prefactibilidad para la actualización tecnológica del sistema de bombeo y mejora de la planta de inyección del sector Oil and Gas tiene como objetivo encontrar la mejor solución para abordar los desafíos operativos generados por la incompatibilidad entre los materiales de las bombas existentes y las propiedades del fluido de inyección. Tras la implementación del proyecto cero vertimientos en 2021, se ha observado un aumento en los niveles de cloruros en el fluido, lo que ha ocasionado daños irreparables en las bombas y riesgos para la estabilidad del sistema de inyección de agua. El diagnóstico del sistema actual ha identificado que los materiales actuales de las bombas 12 % Cromo (A 487 Gr CA6NM) no es apto para trabajar con los fluidos de inyección con cloruros por encima de 7000 ppm, este cambio del fluido afectaría químicamente los materiales de las bombas, provocando daños irreversibles a los equipos y afectando la continuidad operativa de las plantas de inyección.

Se han establecido criterios y metodologías para evaluar alternativas de intervención que cumplan con los estándares de seguridad e integridad de la empresa. Aspectos como costo, riesgo y desempeño son fundamentales para garantizar la viabilidad técnica del proyecto y realizar una selección de inversión óptima. Después de identificar proveedores y tecnologías que cumplen con los estándares de calidad, rendimiento y confiabilidad más exigentes, se realizó un estudio técnico y financiero para seleccionar la mejor alternativa. Se concluyó que la opción de cambiar la metalurgia de las bombas actuales por material Super Duplex (25Cr-7Ni-4Mo) sobresale debido a su excelente desempeño en términos de costos, riesgos y eficiencia, convirtiéndola en una elección sólida para la empresa. Esta

alternativa cumple con los estándares de seguridad e integridad, además de satisfacer los requisitos operativos de la empresa, gracias a su enfoque económico sólido y su bajo nivel de riesgo.

Abstract: The prefeasibility study for the technological update of the pumping system and improvement of the injection plant in the Oil and Gas sector. aims to find the best solution to address the operational challenges generated by the incompatibility between existing pump materials and injection fluid properties. After the implementation of the zero discharge project in 2021, an increase in chloride levels in the fluid has been observed, which has caused irreparable damage to the pumps and risks to the stability of the water injection system.

The diagnosis of the current system has identified that the current materials of the pumps 12% Chromium (A 487 Gr CA6NM) is not suitable to work with injection fluids with chlorides above 7000 ppm, this change of the fluid would chemically affect the materials of the pumps, causing irreversible damage to the equipment and affecting the operational continuity of the injection plants.

Criteria and methodologies have been established to evaluate intervention alternatives that meet the company's safety and integrity standards.

Aspects such as cost, risk and performance are essential to guarantee the technical viability of the project and make an optimal investment selection. After identifying suppliers and technologies that meet the most demanding quality, performance and reliability standards, a technical and financial study was carried out to select the best alternative. It was concluded that the option of changing the metallurgy of the current pumps to Super Duplex material (25Cr-7Ni-4Mo) stands out due to its excellent performance in terms of costs, risks and

efficiency, making it a solid choice for the company.. This alternative meets security and integrity standards, in addition to satisfying the company's operational requirements, thanks to its solid economic approach and low level of risk.

Planteamiento y Justificación del Problema
– Necesidad – Oportunidad:

En el activo se recolectan y tratan los fluidos en cada campo por separado. En el caso del campo de producción, se cuenta con cuatro (4) estaciones de recolección y tratamiento de fluido a las cuales ingresa el fluido proveniente de los pozos productores. En estas estaciones se realiza la deshidratación del crudo y el tratamiento primario del agua. El crudo se bombea a la Estación de Almacenamiento y Transferencia a la estación con una capacidad actual entre 8000 -10000 barriles por día, donde a través del oleoducto, se envía a los tanques de almacenamiento de la Refinería.

De otra parte, el agua de producción separada en las estaciones actualmente se somete a un tratamiento primario en piscinas y por medio de las bombas de transferencia de agua es enviada a la planta de tratamiento (PTAP), en donde el agua alcanza las características requeridas para realizar la inyección como se muestra en la Tabla 1, mediante bombas de alta y baja presión desde la PIA hacia los pozos inyectores distribuidos en todo el campo. A su vez, el campo cuenta con un sistema de captación de agua de pozos que se combina con el agua tratada en la PTAP. Esta mezcla es enviada al proceso de inyección

Tabla 1. Información de la Caracterización del Agua del campo

Parámetros agua de inyección	Unidad	Especificación
PH	-	6.5-7.5
H ₂ O	mg/L	0
Oxígeno O ₂	ppb	<5
Hierro disuelto	mg/L	<1
Solidos suspendidos (SST)	mg/L	<2.4
Tamaño de la partícula	µm	<5
Grasas y Aceite (G & A)	mg/L	<5
Turbidez	NTU	<2
Bacterias Sulfareductoras	Ufc/mL	<10 ²

Actualmente la planta de inyección bombea aproximadamente 80.000 barriles de agua por día, con una cantidad de cloruros del orden de 10000 ppm, Sin embargo, tras los dos proyectos implementados en 2021, que fueron la puesta en marcha de la PTAP y el cierre de los vertimientos, los niveles de cloruros en el agua han aumentado anualmente entre el 15%-20%, lo que se estima que para el año 2030 será aproximadamente de 30000 ppm, estos cambios en el fluido podrían tener un efecto químico sobre los materiales de las bombas, acelerando el proceso de corrosión en sus componentes, dañando de forma irreversible las bombas y afectando la inyección.

De acuerdo con los manuales técnicos, se ha identificado que los equipos del sistema de alta y baja presión están fabricados con un material de metalurgia A487 CA6NM, perteneciente al grupo C-6 según la normativa API 610. Este material es un acero inoxidable austenítico de bajo carbono con un contenido de cromo del 12%. Se recomienda su uso para concentraciones de cloruros por debajo de los 8000 ppm.

Si el agua contiene una alta concentración de cloruros (>8000ppm), puede causar corrosión en el material. Esto se debe a la incompatibilidad entre la metalurgia de la bomba y el líquido de proceso, ya que los iones cloruro se acumulan en la superficie del acero inoxidable formando una capa de sales. Esta capa eleva la resistencia eléctrica de la superficie, lo que contribuye a la corrosión, la formación de grietas, áreas oxidadas y desprendimiento de partículas. Esto puede tener un efecto significativo en la vida útil de la bomba, causar fallas más frecuentes, incrementar los costos de mantenimiento y afectar la seguridad de la infraestructura y las personas. Además, esto también afecta la confiabilidad del sistema de inyección y puede provocar pérdidas en la producción del campo

Marco de Referencia

Actualmente se cuenta con diferentes documentos técnicos como la norma API

RECOMMENDED PRACTICE 571, Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry (American Petroleum Institute, 2020), que tiene como finalidad la identificación de los mecanismos de deterioro y los posibles modos de falla que pueden afectar la seguridad y la operación confiable de los equipos. Proporciona información sobre las características de los materiales, los esfuerzos a los que están sujetos los componentes, la selección de técnicas de inspección y las recomendaciones para realizar evaluaciones de la condición y la integridad de los equipos.

También, se cuenta con la Norma ANSI/API STANDARD 610 (American Petroleum Institute, 2011), donde se establece los requisitos para las bombas centrífugas utilizadas en las industrias de petróleo, petroquímica y gas natural. Esta norma se centra en garantizar la seguridad, confiabilidad y eficiencia de las bombas en entornos de servicio exigentes, en relación con los materiales utilizados en las bombas, la norma establece los requisitos para la selección y especificación de materiales, considerando factores como la compatibilidad química, la resistencia a la corrosión, la integridad estructural y las condiciones operativas. Se hace especial énfasis en el uso de materiales resistentes a los fluidos y condiciones a los que estarán expuestas las bombas, como líquidos corrosivos, altas temperaturas y presiones.

La norma API 610 (American Petroleum Institute, 2011) proporciona dos tablas importantes, la tabla G.1 y la tabla H.1 (American Petroleum Institute, 2011, págs. 137-142), que son utilizadas para la selección de materiales en las bombas centrífugas.

La tabla G.1 se enfoca en la selección de materiales para las partes húmedas de la bomba, es decir, aquellas partes que están en contacto directo con el fluido bombeado. Incluye una amplia gama de materiales, desde aceros inoxidables y hierro fundido hasta aleaciones especiales, para garantizar un rendimiento óptimo y resistencia a la corrosión en diferentes

servicios exigentes. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la selección de materiales también debe considerar otras variables como la presión, la concentración de sustancias corrosivas y otros factores específicos del proceso, para mejor comprensión se muestra la tabla en el anexo Apéndice A.

La tabla H.1 se utiliza para la selección de materiales en todas las partes bomba como: las carcasas, los cuerpos de las bombas, las bridas, entre otros. Esta tabla también proporciona una guía para seleccionar materiales en función de la temperatura de funcionamiento y las condiciones ambientales. La tabla H.1 incluye una variedad de materiales, desde aceros al carbono y aceros inoxidables hasta aleaciones especiales, para garantizar la resistencia estructural y la integridad de las partes no húmedas de la bomba, las referencias para selección se extraen de la norma en el anexo Apéndice B.

La norma ASTM 995-Standard Specification for Castings, Austenitic-Ferritic (Duplex) Stainless Steel for Pressure-Containing Parts (American Society for Testing and Materials, 2020), establece los límites y requisitos para los elementos químicos presentes en diferentes tipos de materiales, como fundiciones de hierro y acero utilizados en la fabricación de componentes y equipos. Estos requisitos químicos son esenciales para asegurar la calidad y el rendimiento de los materiales en servicio.

la norma ASTM A890/A890M titulada Standard Specification for Casting, Iron-Chromium-Nickel-Molybdenum Corrosion-Resistant, Duplex (Austenitic/Ferritic) for General Application (American Society for Testing and Materials, 2018), establece los requisitos para las fundiciones dúplex de hierro-cromo-níquel-molibdeno resistentes a la corrosión para uso general, la norma especifica las composiciones químicas, las propiedades mecánicas y los requisitos de inspección para las fundiciones dúplex. Estos materiales son conocidos por su resistencia a la corrosión, alta resistencia mecánica y buena tenacidad, Estos materiales

son capaces de resistir ambientes corrosivos y proporcionar una vida útil prolongada en condiciones exigentes. La guía A890/A890M cubre varios grados de funciones de acero inoxidable austenítico-ferrítico (dúplex) para piezas que contienen presión, los grados se pueden apreciar en la tabla 2:

Tabla 1. Grados de Función del acero duplex

Grado	Composición
Grado 1A	25Cr 5Ni-Mo-Cu-N
Grado 1B	25Cr-5Ni-Mo-Cu-N
Grado 1C	25Cr-6Ni-Mo-Cu-N
Grado 2A	25Cr-7Ni-Mo-N
Grado 3A	25Cr-7Ni-Mo-N
Grado 4A	25Cr-7Ni-Mo-N
Grado 5A	25Cr-7Ni-Mo-N
Grado 6A	25Cr-7Ni-Mo-N
Grado 7A	27Cr-7Ni-Mo-WN

Nota: Adaptado de American Society for Testing and Materials, 2018.

Estos grados tienen diferentes composiciones químicas y propiedades mecánicas, y se utilizan en diferentes aplicaciones según las necesidades.

Como complemento de la guía anteriores se tiene la ASTM A995/A995M Standard Specification for Castings, Austenitic-Ferritic (Duplex) Stainless Steel, for Pressure-Containing Parts (American Society for Testing and Materials, 2018), con la cual se definen en varios grados las funciones del acero inoxidable austenítico-ferrítico (dúplex) para piezas que contienen presión, la diferencia principal entre las especificaciones A890 y A995 radica en que detallan dos clases de acero inoxidable dúplex fundidos y las aplicaciones específicas que pueden llevar a cabo cada uno de las composiciones que puede tener.

Definición de criterios:

Los criterios son la función normativa para la descripción de las características que se esperan cumplir con el desarrollo de los diferentes escenarios de intervención. Su evaluación

posibilita la evaluación del antes, durante y después de la situación (OCDE, 2018). Y suelen ser un elemento vital para la toma de decisiones informadas, ya que brindan información referente al posible comportamiento de una alternativa al parámetro de referencia, por lo que es común encontrarlo para el desarrollo de proyectos, programas o decisiones empresariales (Vergara Schmalbach y otros, 2010). En los proyectos es común considerar como criterios el costo, riesgo y desempeño para la viabilidad técnica de un proyecto (OCDE, 2018). En el siguiente numeral se definen los ejes de evaluación que deben considerarse para análisis de alternativas.

Costo; Corresponden a la inversión de recursos económicos, materiales, mano de obra entre otros. Para conocer cada uno de los componentes se debe llevar a cabo un análisis exhaustivo de los gastos asociados con la implementación y operación.

Como costos iniciales se tiene la adquisición de equipos, construcción o desarrollo, y otros costos de inicio como el desplazamiento de los equipos son considerados. Además, es crucial tener en cuenta los costos operativos a lo largo del tiempo, como los gastos de mano de obra, suministros, energía y mantenimiento. Los costos de mantenimiento a largo plazo también son evaluados, ya que influyen en significativamente en el costo total de la vida útil del proyecto.

Riesgo; La evaluación de riesgo es fundamental para comprender las posibles complicaciones y amenazas que pueden surgir en cada alternativa. Lo que abarca una amplia gama de riesgos, que van desde los financieros, como la disponibilidad de los recursos, tasas de interés; hasta los operativos, que pueden incluir problemas de disponibilidad de materiales o cambios en las condiciones del mercado.

Los riesgos relacionados con la seguridad también son examinados con atención, ya que representan un impacto significativo en la integridad de las operaciones y en la integridad de los operadores. La cuantificación de estos

riesgos, mediante la evaluación de su impacto potencial y su probabilidad, es esencial para tomar decisiones fundamentadas y tener la posibilidad de desarrollar estrategias de mitigación.

Desempeño; Evaluar el desempeño de cada alternativa es fundamental para garantizar que cumpla con los objetivos y requisitos del proyecto o decisión.

Esto implica la medición de diversos aspectos, desde criterios técnicos y funcionales, como la capacidad de producción y la calidad de los productos o servicios, hasta aspectos de eficiencia, que incluyen el uso de recursos y la optimización de procesos. El tiempo de entrega y la capacidad de cumplimiento de plazos son factores claves en la evaluación del desempeño. En última instancia, el desempeño se relaciona directamente con la capacidad de una alternativa para alcanzar los objetivos estratégicos de manera efectiva y eficiente.

Criterios de evaluación:

Teniendo en cuenta lo anterior se definen los criterios de evaluación asociados a los ejes anteriores para cada una de las alternativas y se agrupan en la Tabla 3.

Tabla 3. Criterios de evaluación

Eje	Criterio
Costo	Ubicación del proveedor Costos Financieros
Riesgo	Compatibilidad metalúrgica con el fluido Adaptabilidad Impacto en la producción
Desempeño	Capacidad Consumo Energético Ocupación locativa Confiabilidad

Nota: Autoría Propia 2024

En las siguientes viñetas se define cada uno de estos criterios

Ubicación del proveedor; Hace referencia a la posición geográfica de los posibles proveedores de cada una de las alternativas, tomando como base de información el registro de proveedores de la organización.

Costos financieros; Corresponde a la cuantificación del costo total del desarrollo del proyecto, en lo que se incluye ingeniería, materiales, tasas de interés por financiamiento, mantenimiento, acondicionamiento, Montaje e instalación entrenamiento del personal. También, se incluye los costos de entrega en términos económicos y tiempo para el desarrollo de las alternativas.

Compatibilidad metalúrgica con el fluido de bombeo; Se evalúa la compatibilidad en términos de tolerancia a las características físicas del fluido de bombeo.

Ocupación locativa; Corresponde a la cuantificación de las dimensiones requeridas en termino de largo, ancho y alto de los equipos para su funcionamiento.

Capacidad; Es la capacidad de una bomba, se refiere a la cantidad de fluido que la bomba puede mover en un determinado periodo de tiempo

Consumo energético; Cantidad de energía utilizada por un sistema durante un período específico. Se mide generalmente en unidades como kilovatios-hora (kWh)

Adaptabilidad; Son los trabajos necesarios que se deben desarrollar dentro de la planta durante el montaje o la instalación de la maquinaria asociados con una alternativa específica. Entre menor sean los cambios por realizar en la planta menor será el riesgo para el proceso.

Impacto en la producción; Es la cuantificación de los niveles de producción esperados durante las etapas iniciales de operación de los equipos

Confiabilidad y riesgo; Es la capacidad de un sistema, componente o proceso para desempeñar sus funciones específicas de

manera consistente y sin fallas durante un período de tiempo determinado y en condiciones específicas de operación.

Descripción de alternativas

Con base en los resultados obtenidos del diagnóstico, la información suministrada de las normas técnicas analizadas y los recursos disponibles de la organización se detallan 4 alternativas de solución:

A1: Continuar trabajando con las bombas actuales

A2: Cambiar la metalurgia de las Bombas actuales con material SUPERDUPLEX.

A3: Traslado del equipo otro campo campo

A4: Compra bombas electrosumergibles (BES)

Evaluación Técnica y Financiera

Evaluación Técnica: Tomando como base de información los valores consignados en cada una de las fichas técnicas de las alternativas se asigna un valor numérico según los criterios de evaluación fijados dando como resultado la matriz de evaluación técnica que se puede apreciar en la Tabla 4.

Tabla 4. Evaluación Técnica de alternativas

Eje	Criterios	Calificación			
		A1	A2	A3	A4
Riesgo (45 %)	Compatibilidad de la metalurgia con el fluido bombeado	10	100	100	100
	Adaptabilidad	10	100	80	50
	Impacto en la producción	10	100	50	80
Desempeño (35 %)	Capacidad	100	100	90	100
	Consumo de energía eléctrica	90	100	80	100
	Ocupación locativa	100	100	100	80
	Confiabilidad	50	100	100	95
Riesgo (45 %),		10	100	73	80
Desempeño (35 %),		76	100	93	94
Valoración Ponderada técnica		39	100	82	86

Nota: Autoría propia, 2024

Evaluación Financiera: Para evaluar desde el aspecto financiero la implementación de cada una de las alternativas, se tuvo en cuenta las siguientes consideraciones:

- La vida útil de los equipos es de 10 años

- Costos de mantenimiento se estimaron con los registros históricos del SAP para bombas similares
- Se considera una depreciación lineal y constante de los equipos
- Las variables macroeconómicas y jurídicas se consideran estable en el tiempo
- EL precio de Barril de crudo se fija en 60 USD
- No se cuenta con financiación externa para la implementación de cada alternativa, son desarrolladas con recursos propios
- El impuesto de renta se fijó en 35%
- Se hace uso de una TRM constante de \$4.000 / USD
- La proyección de los costos e ingresos del sistema actual por 10 años (tiempo de vida útil de los equipos de bombeo)

Se evalúa las alternativas haciendo uso de indicadores financieros como el valor presente neto, flujo de caja y la TIR, teniendo en cuenta parámetros como la variación de la producción, consumo energético, las adecuaciones locativas, su impacto en la producción, el costo de mantenimiento, depreciaciones, ingresos operacionales y no operacionales, gastos operacionales y no operacionales.

Los costos estimados durante el tiempo de operación de los equipos de bombeo y con los flujos proyectados en cada una de las alternativas es posible estimar el Valor presente Neto de cada una de ella como se puede apreciar en la Tabla 5.

Tabla 5. Valor presente Neto Alternativas de solución

ALTERNATIVAS	VPN
A1	-\$ 167,243,735,959
A2	-\$ 76,362,614,799
A3	-\$ 131,306,003,318
A4	-\$ 136,859,491,816

Nota: Autoría propia, 2024.

Se realizó el análisis a través del valor incremental de los flujos, y los pasos realizados fueron:

-Proyectar la planta sin la adquisición de los equipos (línea base Alternativa 1), ya que brinda la información del sistema cómo funciona actualmente

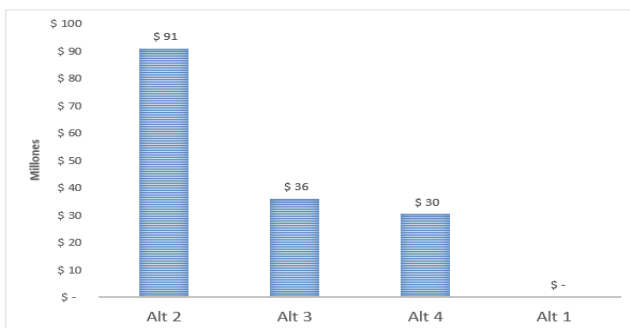
-Proyectar la empresa con la adquisición del proyecto Alternativa 2, Alternativa 3 y Alternativa 4

La diferencia de los dos pasos anteriores (CON-SIN) será el aporte del proyecto que se pretende realizar, esta relaciones y comparaciones se pueden apreciar en la Tabla 6 y la Figura 1

Tabla 6. Diferencia entre el Valor presente Neto Diferencia Con-Sin Proyecto

Diferencia	Resultado
Aporte Alternativa 2, Delta A2-A1	\$ 90,881,121,160
Aporte Alternativa 3, Delta A3-A1	\$ 35,937,732,641
Aporte Alternativa 4, Delta A4-A1	\$ 30,384,244,143

Figura 1. Diferencial con proyecto y sin proyecto



Nota: Autoría propia, 2024.

Según el resultado obtenido se puede ver que la alternativa 2 presenta una relación positiva mucho más pronunciada que las otras alternativas, lo que se traduce en un mayor beneficio en términos económicos para la planta.

En términos financieros la alternativa 2 se posiciona como la mejor alternativa de implementación ya que no afecta negativamente la operación durante su implementación y funcionamiento, además no implica costos

adicionales por obra civiles como si las otras alternativas y en términos económicos la peor alternativa es mantener los equipos como están ya que repercuten negativamente en la operación y representa un costo elevado en las actividades de mantenimiento.

Evaluación Integral

Con la evaluación técnica y financiera realizada a cada alternativa, se siguió una escala de 1 a 100, siendo este ultimo la calificación más alta, teniendo como mejor posicionada a la alternativa 2. A continuación se integra las dos evaluaciones realizadas y al valor recibido cada de una las alternativa se pondera con el peso o relevancia asignada a los criterios de evaluación teniendo como resultado una valoración ponderada de 43,5, 99, 82,7 y 84,9 para las alternativa 1,2,3 y 4 respectivamente, como se puede apreciar en la Tabla 7.

Tabla 7. Evaluación Integral

Eje	A1	A2	A3	A4
Costo (20 %),	62,5	95	85	80
Riesgo (45 %),	10	100	73,3	80
Desempeño (35 %),	76	100	93,4	93,8
Valoración Ponderada	43,5	99	82,7	84,9

Nota: Autoría propia, 2024.

La alternativa 2: Más rentable y equilibrada, con VPN de \$90.8 MMCOP y alta calificación en costos, riesgos y desempeño. Cumple con estándares de seguridad e integridad.

Alternativa 1: Mantener bombas actuales no viable por el riesgo de seguridad y integridad y alta tasa de fallas por corrosión.

Alternativa 3: Económica inicialmente, pero baja eficiencia y alto consumo de corriente.

Alternativa 4: Instalación de bombas electrosumergibles, prometedora, pero con inversión inicial considerable y desafíos de implementación.

Conclusiones

- Se identificaron que los materiales actuales de las bombas 12 % Cromo (A 487 Gr CA6NM) **no es apto para trabajar con**

los fluidos de inyección con cloruros por encima de 7000 ppm, este cambio del fluido afectaría químicamente los materiales de las bombas, provocando daños irreversibles a los equipos y afectando la continuidad operativa de las plantas de inyección

- **La definición de criterios es crucial para evaluar distintos escenarios de intervención**, sirviendo como guía normativa esencial en la toma de decisiones. Aspectos como costo, riesgo y desempeño son determinantes para asegurar la viabilidad técnica del proyecto y realizar una **selección de inversión óptima**.
- Mediante los criterios y metodologías definidos, **se ha identificado cuatro proveedores que ofrecen tecnologías alineadas con nuestras necesidades y estándares**. Estos proveedores cumplen con los más exigentes estándares de calidad, rendimiento y confiabilidad, lo que garantiza una actualización efectiva del sistema de inyección de agua.
- **La alternativa 2, Cambiar la metalurgia de las bombas actuales con material Super Duplex (25Cr-7Ni-4Mo)**, se destaca por su excelente desempeño en términos de costos, riesgos y eficiencia, convirtiéndola en una elección sólida para la Compañía. Esta alternativa cumple con los estándares de seguridad e integridad, además de satisfacer los requisitos operativos de la empresa, gracias a su enfoque económico sólido y su bajo nivel de riesgo

Referencias

- [1] American Petroleum Institute. (2011). ANSI/API Standard 610 Centrifugal Pumps for Petroleum Petrochemical and Natural Gas Industries (Vol. 11). American Petroleum Institute.
- [2] American Petroleum Institute. (2014). Recommended Practice for Care and Use of Subsurface Pumps 11AR. American Petroleum Institute.
- [3] American Petroleum Institute. (2020). API Recommended Practice 571- Damage

Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry. American Petroleum Institute.

[4] American Society for Testing and Materials. (2017). A276- Standard Specification for Stainless Steel Bars and Shapes. ASTM.

[5] American Society for Testing and Materials. (2018). ASTM A890-Standard Specification for Casting, Iron-Chromium-Nickel-Molybdenum Corrosion-Resistant, Duplex (Austenitic/Ferritic) for General Application. ASTM.

[6] Materials. (2018). Standard Specification for Castings, Austenitic-Ferritic (Duplex) Stainless Steel, for Pressure-Containing Parts . ASTM.

[7] American Society for Testing and Materials. (2020). A995- Standard Specification for Castings, Austenitic-Ferritic (Duplex) Stainless Steel for Pressure-Containing Parts. ASTM.

[8] OCDE. (2018). Mejores Criterios para una Mejor Evaluación. Obtenido de <https://www.oecd.org/development/evaluation/Criterios-evaluacion-ES.pdf>



José Leonardo Castillo Valencia, Ingeniero Mecánico egresado de la Universidad Industrial de Santander con dieciocho años de experiencia en el área de ingeniería mantenimiento y Confiabilidad, Maestría en evaluación y Gerencia de Proyectos de la Universidad Industrial de Santander, Certified Maintenance and Reliability Professional The Society for Maintenance and Reliability Professionals (SMRP) y Vibration Analyst: Category II for Vibration Institute.

José leonardo Castillo Valencia
Celular: 3174046967
Josele.castillo@ecopetrol.com.co
Refinería de Barrancabermeja bloque 2
Barrancabermeja
Colombia