



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO  
DIVISIÓN ACADÉMICA DE INGENIERÍA y ARQUITECTURA



**“Desarrollo e implementación del método  
Proceso Analítico Jerárquico para la selección  
del tipo de mantenimiento correctivo en la línea  
de proceso crudo maya de la TMDB”**

TRABAJO RECEPCIONAL BAJO LA MODALIDAD DE:

**ESTUDIO DE CASO**

PRESENTA:

***ING. JORGE ENRIQUE FLORES DAYET***

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE:

**MAESTRO EN CORROSIÓN Y GESTIÓN DE  
INTEGRIDAD**

DIRECTOR:

**DRA. LIZETH ROJAS BLANCO**

CODIRECTOR:

**MCGI. JESÚS BÁEZ MONTERO**

**CUNDUACÁN, TABASCO, MÉXICO**

**MARZO 2025**



### **Declaración de Autoría y Originalidad**

En la Ciudad de Cunduacán, el día 29 del mes enero del año 2025, el que suscribe Jorge Enrique Flores Dayet alumna(o) del Programa de Maestría en Corrosión y Gestión de Integridad con número de matrícula 222D27001, adscrito a la División Académica de Ingeniería y Arquitectura, de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, como autor(a) (es) de la Tesis presentada para la obtención del (título, diploma o grado según sea el caso) Maestro en Corrosión y Gestión de Integridad y titulada “Desarrollo e implementación del método Proceso Analítico Jerárquico para la selección del tipo de mantenimiento correctivo en la línea de proceso crudo maya de la TMDB” dirigida por la Dra. Lizeth Rojas Blanco.

#### **DECLARO QUE:**

La Tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la LEY FEDERAL DEL DERECHO DE AUTOR (Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley Federal del Derecho de Autor del 01 de Julio de 2020 regularizando y aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita.

Del mismo modo, asumo frente a la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad o contenido de la Tesis presentada de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente

Villahermosa, Tabasco a 29 de enero 2025.

Jorge Enrique Flores Dayet

Nombre y Firma



**UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



División  
Académica  
de Ingeniería  
y Arquitectura



**2025**  
AÑO DE LA  
Mujer  
Indígena

## DIRECCIÓN

**OFICIO:** DAIA/DIR/141/2025  
**FECHA:** 14 de enero de 2025  
**ASUNTO:** Autorización de  
impresión definitiva

**ING. JORGE ENRIQUE FLORES DAYET**  
PASANTE DE LA MAESTRÍA EN CORROSIÓN Y GESTIÓN DE INTEGRIDAD  
**PRESENTE**

En virtud de haber elaborado su trabajo Estudio de Caso denominado:

**"DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO PROCESO ANALÍTICO  
JERÁRQUICO PARA LA SELECCIÓN DEL TIPO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO  
EN LA LÍNEA DE PROCESO CRUDO MAYA DE LA TMDB"**

Para obtener el grado de **Maestro en Corrosión y Gestión de Integridad** y en el cual ha tenido como Directora de Estudio de Caso a la Dra. Lizeth Rojas Blanco y como Codirector al MCGI. Jesús Báez Montero.

Tengo a bien autorizarle la **IMPRESIÓN DEFINITIVA** de dicho trabajo, continuando con los trámites correspondientes para su examen de obtención de grado.

Sin otro particular, le envío un afectuoso saludo.

**ATENTAMENTE**

**DRA. DORA MARÍA FRÍAS MÁRQUEZ**  
**DIRECTORA**



**DIRECCIÓN**

c.c.p. Archivo

Miembro CUMEX desde 2008  
Consortio de  
Universidades  
Mexicanas  
UNA ALIANZA DE CALIDAD POR LA EDUCACIÓN SUPERIOR

Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez, km. 1, Col. La Esmeralda  
C.P.86690 Cunduacán, Tabasco  
Tel. (993) 358.15.00 Ext. 6752  
direccion.daia@ujat.mx

www.ujat.mx



### Carta de Cesión de Derechos

Villahermosa, Tabasco a 29 de enero 2025.

Por medio de la presente manifestamos haber colaborado como AUTOR(A) y/o AUTORES(RAS) en la producción, creación y/o realización de la obra denominada “Desarrollo e implementación del método Proceso Analítico Jerárquico para la selección del tipo de mantenimiento correctivo en la línea de proceso crudo maya de la TMDB”.

Con fundamento en el artículo 83 de la Ley Federal del Derecho de Autor y toda vez que, la creación y/o realización de la obra antes mencionada se realizó bajo la comisión de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco; entendemos y aceptamos el alcance del artículo en mención, de que tenemos el derecho al reconocimiento como autores de la obra, y la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco mantendrá en un 100% la titularidad de los derechos patrimoniales por un período de 20 años sobre la obra en la que colaboramos, por lo anterior, cedemos el derecho patrimonial exclusivo en favor de la Universidad.

#### COLABORADORES

Ing. Jorge Enrique Flores Dayet 

Dra. Lizeth Rojas Blanco 

MCGI. Jesús Báez Montero

ALUMNO(A) O EGRESADA(O),  
DIRECTOR(A) Y CODIRECTOR(A)

#### TESTIGOS

  
Dra. Ebelia del Ángel Meraz

  
Dr. Roger Castillo Palomera



## **Carta de Agradecimiento**

En primer lugar, agradezco a Dios, por haberme guiado en cada paso de este camino. Su presencia en mi vida me ha brindado fortaleza, sabiduría y perseverancia para enfrentar los retos que surgieron durante este proceso.

A mis padres, quienes siempre me han motivado a luchar por mis sueños y me han enseñado el valor del esfuerzo y la dedicación.

A mi directora, la Dra. Lizeth Rojas Blanco, y a mi codirector, Jesús Báez Montero, agradezco profundamente su guía, conocimiento y dedicación a lo largo de esta investigación. Su experiencia y apoyo fueron fundamentales para alcanzar este logro.

A los integrantes de mi comité sinodal, Dra. Ebelia del Ángel Meraz, Dr. Roger Castillo Palomera, Dra. Lizeth Rojas Blanco, Dr. Erik Ramírez Morales y Dr. Ildelfonso Zamudio Torres por su tiempo, sugerencias y valiosas aportaciones, que enriquecieron y fortalecieron este trabajo académico.

De igual manera, quiero agradecer a mis maestros/as, quienes a lo largo de mi formación académica no solo me transmitieron conocimientos, sino que también sus enseñanzas han sido una fuente de inspiración y motivación para alcanzar mis metas.

Finalmente, expreso mi gratitud a todos mis compañeros/as y amigos/as, quienes con su apoyo, ánimo y amistad me acompañaron durante este importante camino.

Gracias a todos ustedes, este proyecto no solo representa el esfuerzo de una persona, sino también el respaldo y cariño de todos los que creyeron en mí.

Con gratitud,

Jorge Enrique Flores Dayet



## Contenido

<b>CAPÍTULO 1. PRESENTACIÓN DEL CASO .....</b>	<b>12</b>
1.1 Introducción .....	12
1.1.1. Antecedentes .....	17
1.1.2. Importancia de la línea de proceso de crudo maya .....	19
1.2 Problema principal .....	21
1.3 Problemas secundarios.....	22
1.4 Identificación y análisis de alternativas de solución .....	22
1.4.1. Proceso Jerárquico Analítico (AHP) .....	24
1.4.2. Teoría de la Utilidad de Atributos Múltiples (MAUT).....	24
1.4.3. Ponderación Aditiva Simple (SAW) .....	25
1.4.4. Método Kepner-Tregoe .....	25
1.4.5. Eliminación y Elección Traduciendo la Realidad (ELECTRE) ..	25
1.4.6. Método de Organización y Clasificación de Preferencias para el Enriquecimiento de las Evaluaciones (PROMETHEE) .....	26
1.4.7. Técnica para la Preferencia de Orden por Similitud con la Solución Ideal (TOPSIS).....	26
1.4.8. Clasificación de Compromiso Multicriterio (VIKOR) .....	26
1.4.9. Ventaja y desventaja de los MCDM.....	26
1.5 Hipótesis .....	30
1.6 Objetivos .....	30
1.6.1. Objetivo general. ....	30
1.1.1. Objetivos específicos.....	30
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>31</b>
2.1 El mantenimiento correctivo y la relación con la normativa internacional. ....	31
2.2 Métodos de reparación. ....	35
2.3 Mantenimiento correctivo aplicado dentro de la TMDB.....	38
2.3.1. Grapa metálica. ....	39
2.3.2. Envoltente tipo B.....	40
2.3.3. Envoltente no metálica .....	40
2.3.4. Medias cañas (parches metálicos) .....	42
2.3.5. Reemplazo de tubería .....	44
2.3.6. Cincho kevlar.....	45



2.4	Aplicación de la metodología AHP para la toma de decisiones en diferentes áreas.....	46
2.4.1.	Metodología del Proceso Analítico Jerárquico (AHP).....	47
2.4.2.	Diagrama de flujo de la metodología AHP.....	50
2.4.3.	Combinación de las decisiones en grupo.....	52
<b>CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....</b>		<b>58</b>
3.1	Dispositivos e instrumentos .....	58
3.2	Tipo de investigación .....	58
3.3	Identificación de las variables .....	59
3.4	Población y muestra.....	59
3.4.1.	Característica de la población .....	59
3.4.2.	Delimitación de la población y muestra .....	60
3.5	Plan de acción .....	60
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS .....</b>		<b>63</b>
4.1	Realización del plan de acción.....	63
4.1.1.	Revisión documental .....	63
4.1.2.	Planteamiento del problema.....	63
4.1.3.	Selección de los expertos en mantenimiento correctivo .....	64
4.1.4.	Planteamiento de los criterios .....	64
4.2	Aplicar la metodología.....	66
4.2.1.	Realizar la estructura jerárquica (modelado).....	66
4.2.2.	Realizar la entrevista a los expertos.....	69
4.2.3.	Construir matrices de comparación pareada.....	70
4.2.4.	Construir matrices de comparación normalizada.....	71
4.2.5.	Efectuar la prueba de consistencia.....	75
4.3	Comprobar la metodología.....	88
4.3.1.	Verificación de los resultados.....	88
4.3.2.	Analizar los resultados con los expertos .....	89
<b>CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>90</b>
5.1	Conclusiones .....	90
5.2	Recomendaciones .....	91
<b>6. REFERENCIAS .....</b>		<b>93</b>
Anexo 1. Tabla 1: Información técnica de la tubería de proceso DBLIN-CM-008.....		96



Anexo 2. Tabla 2: Métodos de reparación aprobados por la NOM-009-ASEA-2017. ....	97
Anexo 3. Tabla 3: muestra la relación para cada tipo de defecto existe un tipo de reparación adecuada para cada caso. ....	98
Anexo 4. Prueba cualitativa realizada a los expertos. ....	100
Anexo 5. Instrucciones para los expertos que respondieron la encuesta. .	102
Anexo 6. Respuestas de los expertos a las encuestas entregadas. ....	103

### Lista de tablas

<b>Tabla 1</b> Longitud de los ductos en control de PEMEX logística en el 2022.	12
<b>Tabla 2</b> Comparación internacional de la producción diaria de crudo en territorio nacional.....	13
<b>Tabla 3</b> Estados de México con la mayor producción de crudo. ....	15
<b>Tabla 4</b> Producción de crudo por región en el territorio mexicano .....	16
<b>Tabla 5</b> Número de fugas ocurridas en la TMDB del año 2009 al 2022.....	17
<b>Tabla 6</b> Se presentan las ventajas y desventajas de cada MCDM .....	27
<b>Tabla 7</b> Índices de consistencia aleatorio para cada número de criterios o alternativas .....	57
<b>Tabla 8</b> Personal que formó parte de las actividades del estudio de caso ...	64
<b>Tabla 9</b> Objetivo, criterios y subcriterios a tomar en cuenta para la metodología AHP .....	65
<b>Tabla 10</b> Alternativas propuestas para la metodología AHP .....	66
<b>Tabla 11</b> Tabla de jerarquización cualitativa .....	69
<b>Tabla 12</b> Matriz pareada con resultados del experto 1 .....	70
<b>Tabla 13</b> Matriz pareada con resultados del experto 2 .....	71
<b>Tabla 14</b> Suma de las columnas de la matriz del experto 1 .....	72
<b>Tabla 15</b> Suma de las columnas de la matriz del experto 2.....	73
<b>Tabla 16</b> Normalización de la matriz pareada y cálculo de los pesos del experto 1 .....	74
<b>Tabla 17</b> Normalización de la matriz pareada y cálculo de los pesos del experto 2.....	75





<b>Tabla 18</b> Multiplicación de matriz pareada con los pesos para obtener $\lambda$ del experto 1.....	76
<b>Tabla 19</b> Multiplicación de matriz pareada con los pesos para obtener $\lambda$ del experto 2.....	76
<b>Tabla 20</b> División de los elementos de la columna $\lambda$ entre la columna de los pesos del experto 1.....	77
<b>Tabla 21</b> División de los elementos de la columna $\lambda$ entre la columna de los pesos del experto 2.....	78
<b>Tabla 22</b> Tabla de resultados de la relación de consistencia del experto 1 .	79
<b>Tabla 23</b> Tabla de resultados de la relación de consistencia del experto 2 .	79
<b>Tabla 24</b> Resultados de aplicar la media geométrica a la matrices pareadas .....	80
<b>Tabla 25</b> Cálculo de la matriz normalizada y los pesos. ....	81
<b>Tabla 26</b> Cálculo del valor de lambda ( $\lambda$ ) y lambda máxima ( $\lambda_{max}$ ). ....	81
<b>Tabla 27</b> Resultado de la relación de consistencia.....	82
<b>Tabla 28</b> Resultado de los pesos y la relación de consistencia de los subcriterios.....	83
<b>Tabla 29</b> Resultados de la comparación de las alternativas respecto a los subcriterios.....	85
<b>Tabla 30</b> Resultados del cálculo de los pesos globales finales.....	87
<b>Tabla 31</b> Resultados de los pesos finales de cada alternativa analizada .....	88

### Lista de figuras

<b>Figura 1</b> Imagen satelital de la TMDB ubicado en el municipio de Paraíso, Tabasco. ....	14
<b>Figura 2</b> Diagrama de la Administración de la integridad de Ductos.....	18
<b>Figura 3</b> Ubicación y longitud de la Unidad de Control DBLIN-CM-008 .....	20
<b>Figura 4</b> Métodos de análisis multicriterio aplicados en la toma de decisiones .....	23
<b>Figura 5</b> Las categorías que existen de mantenimiento según ISO 14224 .	32



<b>Figura 6</b>	Diagrama de los mantenimientos con su porcentaje de atención .	33
<b>Figura 7</b>	En la imagen se muestra una grapa metálica. ....	39
<b>Figura 8</b>	En la imagen se muestra una envolvente tipo B .....	40
<b>Figura 9</b>	En la imagen se muestra una envolvente no metálica .....	42
<b>Figura 10</b>	En la imagen se muestra la instalación de medias cañas .....	43
<b>Figura 11</b>	En la imagen se muestra el reemplazo de tubería .....	44
<b>Figura 12</b>	En la imagen se observa un cincho kevlar instalado.....	45
<b>Figura 13</b>	Estructura jerárquica genérica (AHP) .....	49
<b>Figura 14</b>	Formato para comparaciones por pares .....	49
<b>Figura 15</b>	Diagrama de flujo de la metodología AHP .....	51
<b>Figura 16</b>	Flujograma de la metodología AHP.....	62
<b>Figura 17</b>	Elementos que conforman la etapa 1 de la metodología AHP ....	63
<b>Figura 18</b>	Elementos que conforman la etapa 2 de la metodología AHP ....	66
<b>Figura 19</b>	Esquema jerárquico de la metodología AHP.....	68
<b>Figura 20</b>	Elementos que conforman la etapa 3 de la metodología AHP ....	88



## Resumen

Los mantenimientos correctivos en la Terminal Marítima Dos Bocas (TMDB) se han llevado a cabo mediante empresas subcontratistas, quienes, adaptando y aplicando sus técnicas de reparación, han logrado disminuir la cantidad de fugas en las líneas de proceso. Como resultado, surgió el interés de crear un grupo de trabajo propio de la empresa contratista, capaz de realizar las mismas actividades de mantenimiento correctivo en las líneas de proceso dentro de la TMDB. Este estudio propone el desarrollo de la metodología del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para seleccionar el tipo de mantenimiento correctivo en la línea de proceso crudo maya de la TMDB; la metodología AHP compara criterios y alternativas por pares para determinar sus ponderaciones, evaluando la importancia de cada elemento jerárquico mediante datos simultáneos. Los cálculos proporcionan pesos o prioridades, generando una jerarquía de preferencia que evalúa criterios y opciones, produciendo un puntaje global para cada opción. Este trabajo se ha enfocado en describir cómo las ciencias matemáticas, a través del AHP, han abordado la necesidad de resolver problemas multicriterio. Específicamente, se presenta el AHP como una alternativa para seleccionar el método o los métodos de reparación en la TMDB. En conclusión, la metodología AHP es una herramienta muy útil en la toma de decisiones multicriterio, permitiendo convertir lo cualitativo (juicios humanos) en cuantitativo mediante matrices y, de esa manera, tomar la o las mejores decisiones.

**Palabras clave:** AHP, mantenimiento correctivo, TMDB, decisiones multicriterio, toma de decisiones.



## Abstract

Corrective maintenance at the Dos Bocas Maritime Terminal (TMDB) has been carried out by subcontracted companies, which, by adapting and applying their repair techniques, have managed to reduce the number of leaks in process lines. As a result, there arose an interest in creating a dedicated workgroup within the contracting company capable of performing the same corrective maintenance activities on process lines within the TMDB. This study proposes the development of the Analytic Hierarchy Process (AHP) methodology to select the type of corrective maintenance for the Maya crude oil process line at the TMDB. The AHP methodology compares criteria and alternatives in pairs to determine their weights, evaluating the importance of each hierarchical element using simultaneous data. The calculations provide weights or priorities, generating a preference hierarchy that evaluates criteria and options, producing an overall score for each option. This work focuses on describing how mathematical sciences, through AHP, have addressed the need to solve multi-criteria problems. Specifically, it presents AHP as an alternative for selecting the repair method(s) at the TMDB. In conclusion, the AHP methodology is a highly useful tool for multi-criteria decision-making, allowing qualitative aspects (human judgments) to be converted into quantitative ones through matrices, thereby enabling the best decision(s) to be made.

**Keywords:** AHP, corrective maintenance, TMDB, multi-criteria decisions, decision-making.



## CAPÍTULO 1. PRESENTACIÓN DEL CASO

### 1.1 Introducción

PEMEX la principal industria energética del país que cuenta con grandes longitudes de tuberías a lo largo del país. PEMEX logística es el encargado del control del sistema de ductos de productos como se presenta en la Tabla 1, así también de las terminales de distribución, las terminales marítimas, los barcos, carros tanque y autos tanque, el sistema de almacenamiento y distribución (PEMEX; 2022).

**Tabla 1**

*Longitud de los ductos en control de PEMEX logística en el 2022.*

<b>Pemex logística</b>	
<b>Tipo de ducto</b>	<b>Kilómetros (km)</b>
Poliducto	8,798
Oleoducto	7,270
Combustóleoducto	100
Turbosinoducto	66
Petroquímicos Básicos	302

*Nota:* Adaptado de reservas probadas de petróleo crudo, por anuario estadístico PEMEX, 2022, [https://www.PEMEX.com/ri/Publicaciones/Anuario%20Estadistico%20Archivos/Anuario%202022\\_VF.pdf](https://www.PEMEX.com/ri/Publicaciones/Anuario%20Estadistico%20Archivos/Anuario%202022_VF.pdf)

La producción de petróleo crudo en México se encuentra en el lugar número 12 a nivel mundial, ver la Tabla 2, es por lo que se requiere atención en los ductos los cuales son de vital importancia para poder producir el volumen de 1,780,000 barriles diarios en el territorio nacional. A nivel nacional PEMEX cuenta con diferentes redes de tuberías que se extienden a lo largo de todo México, las cuales permiten el transporte de gas, crudo y sus diferentes derivados transformados en las petroquímicas básicas.



Entre los ductos con los que cuenta PEMEX se encuentran: poliductos, oleoductos, combustóleo ductos, turbosinoductos y petroquímicos básicos como se observa en la Tabla 1.

**Tabla 2**

*Comparación internacional de la producción diaria de crudo en territorio nacional.*

	<b>País</b>	<b>Miles de barriles diarios</b>
1	Estados Unidos	11,173
2	Rusia	10,503
3	Arabia Saudita	9,115
4	Canadá	4,479
5	Irak	4,030
6	China	4,000
7	Brasil	2,906
8	Emiratos Árabes Unidos	2,718
9	Kuwait	2,415
10	Irán	2,408
11	Noruega	1,788
<b>12</b>	<b>México</b>	<b>1,780</b>
13	Kazajistán	1,769
14	Qatar	1,360
15	Nigeria	1,308
	Total mundial	75,549

*Nota:* Adaptado de reservas probadas de petróleo crudo, por anuario estadístico PEMEX, 2022, [https://www.PEMEX.com/ri/Publicaciones/Anuario%20Estadistico%20Archivos/Anuario%202022\\_VF.pdf](https://www.PEMEX.com/ri/Publicaciones/Anuario%20Estadistico%20Archivos/Anuario%202022_VF.pdf)

El estado de Tabasco se encuentra en segundo lugar en la producción de hidrocarburos líquidos en México, ver la Tabla 3, en el cual se encuentra la Terminal Marítima Dos Bocas (TMDB), que desde la década de los ochenta es un complejo de gran importancia en el sector de hidrocarburos de la zona sur de México, ver Figura 1.

### Figura 1

Imagen satelital de la TMDB ubicado en el municipio de Paraíso, Tabasco.



Nota: Adaptado de Terminal Marítima Dos Bocas [fotografía], por Google Maps, 2023, <https://www.google.com/maps/place/Terminal+Mar%C3%ADtima+Dos+Bocas/@18.433897,-93.1804876,2748m/data>

La TMDB inició operaciones en el municipio de Paraíso, Tabasco el 14 de marzo de 1980 con la puesta en operación de los sistemas de generación de energía eléctrica (turbogeneradores) y el de rebombeo de aceite crudo tipo Maya en la Casa de Bombas 4T (CB-4T) al altiplano mexicano (Arias et al., 2013). La TMDB tiene como propósitos principales el recibir, acondicionar, almacenar, distribuir y comercializar el aceite crudo.



**Tabla 3**

*Estados de México con la mayor producción de crudo.*

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Variación 2022/2021 (%)
Hidrocarburos líquidos (Mbd)	2,548	2,522	2,429	2,267	2,154	1,948	1,833	1,701	1,705	1,756	1,785	1.6
Aguas territoriales	1,910	1,907	1,860	1,768	1,708	1,589	1,516	1,388	1,377	1,373	1,285	-6.4
<b>Tabasco</b>	<b>433</b>	<b>400</b>	<b>376</b>	<b>327</b>	<b>291</b>	<b>228</b>	<b>200</b>	<b>191</b>	<b>208</b>	<b>248</b>	<b>354</b>	<b>42.8</b>
Veracruz	118	120	111	106	101	91	84	84	81	93	99	7.1
Chiapas	45	48	47	38	28	19	13	16	23	28	33	17.7
Puebla	25	27	18	15	14	13	10	9	6	6	5	-10.8
Tamaulipas	16	19	17	11	11	8	11	12	10	9	7	-15.1
San Luis Potosí	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*Nota:* Adaptado de reservas probadas de petróleo crudo, por anuario estadístico PEMEX, 2022, [https://www.PEMEX.com/ri/Publicaciones/Anuario%20Estadistico%20Archivos/Anuario%202022\\_VF.pdf](https://www.PEMEX.com/ri/Publicaciones/Anuario%20Estadistico%20Archivos/Anuario%202022_VF.pdf)

Actualmente la TMDB maneja en su mayoría crudo maya, el cual es un aceite pesado y es proveniente de los campos marinos de la sonda de Campeche (pertenece a la región marina noreste y suroeste); en los campos terrestres de Tabasco se maneja el crudo ligero conocido como crudo Istmo, asimismo se procesa el crudo superligero también llamado Olmeca, ver Tabla 4. De lo antes mencionado se basa que la mayoría de las tuberías que se encuentran dentro de la TMDB transporten crudo Maya.





**Tabla 4**

*Producción de crudo por región en el territorio mexicano*

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Total	2,548	2,522	2,429	2,267	2,154	1,948	1,833	1,701	1,705	1,756	1,785
Crudo	2,548	2,522	2,429	2,267	2,154	1,948	1,813	1,678	1,660	1,687	1,686
Pesado	1,385	1,365	1,266	1,152	1,103	1,049	1,073	1,061	1,039	1,002	934
Ligero	834	847	864	838	785	689	553	482	469	532	503
Superligero	329	310	299	277	266	210	188	134	152	153	249
Condensados	-	-	-	-	-	-	20	23	46	70	99
<b>Subdirección de Producción Región Marina Noreste</b>	<b>1,309</b>	<b>1,304</b>	<b>1,232</b>	<b>1,126</b>	<b>1,082</b>	<b>1,035</b>	<b>1,036</b>	<b>1,002</b>	<b>946</b>	<b>879</b>	<b>798</b>
Crudo	1,309	1,304	1,232	1,126	1,082	1,035	1,036	1,002	946	879	798
Pesado	1,279	1,258	1,160	1,054	1,015	977	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	792
Ligero	30	46	72	72	67	58	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	6
Condensados	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Subdirección de Producción Región Marina Suroeste</b>	<b>585</b>	<b>593</b>	<b>620</b>	<b>634</b>	<b>619</b>	<b>549</b>	<b>475</b>	<b>383</b>	<b>428</b>	<b>490</b>	<b>488</b>
Crudo	585	593	620	634	619	549	460	369	412	470	457
Pesado	1	...	...	1	3	1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	81
Ligero	490	494	505	503	482	439	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	335
Superligero	94	99	114	130	134	109	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	41
Condensados	-	-	-	-	-	-	15	14	15	20	31
<b>Subdirección de Producción Región Sur</b>	<b>508</b>	<b>481</b>	<b>452</b>	<b>394</b>	<b>344</b>	<b>267</b>	<b>228</b>	<b>221</b>	<b>243</b>	<b>288</b>	<b>396</b>
Crudo	508	481	452	394	344	267	226	218	225	265	362
Pesado	19	27	35	32	22	17	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	7
Ligero	260	251	237	216	190	148	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	147
Superligero	230	203	180	146	132	102	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	208
Condensados	-	-	-	-	-	-	3	3	18	22	33
<b>Subdirección de Producción Región Norte</b>	<b>145</b>	<b>145</b>	<b>125</b>	<b>113</b>	<b>109</b>	<b>98</b>	<b>94</b>	<b>95</b>	<b>89</b>	<b>100</b>	<b>104</b>
Crudo	145	145	125	113	109	98	92	89	77	72	68
Pesado	86	80	70	66	62	54	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	53
Ligero	54	57	50	47	46	44	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	15
Superligero	5	8	5	-	-	...	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	...
Condensados	-	-	-	-	-	-	3	6	12	27	35

*Nota:* Adaptado de reservas probadas de petróleo crudo, por anuario estadístico PEMEX,

[https://www.PEMEX.com/ri/Publicaciones/Anuario%20Estadistico%20Archivos/Anuario%202022\\_VF.pdf](https://www.PEMEX.com/ri/Publicaciones/Anuario%20Estadistico%20Archivos/Anuario%202022_VF.pdf)



### 1.1.1. Antecedentes

Entre 2018 y 2021, PEMEX registró 176 derrames y fugas en sus tuberías de proceso y transporte, afectando ecosistemas como suelos y cuerpos de agua con productos como crudo, aceites y gasolinas. Las principales causas fueron fallas industriales y actos vandálicos, con Tabasco y Veracruz concentrando el 63% de los incidentes. Comalcalco y Paraíso, en Tabasco, destacan como los municipios más afectados (Ramírez, 2022). Además, en la TMDB se identificaron problemas de contención de hidrocarburos desde el 2009 hasta 2022, como lo muestra la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Número de fugas ocurridas en la TMDB del año 2009 al 2022*

Año	Número de fugas en la TMDB
2009	12
2010	21
2011	45
2012	34
2013	38
2014	76
2015	65
2016	39
2017	53
2018	33
2019	15
2022	20

*Nota: Tabla de elaboración propia*

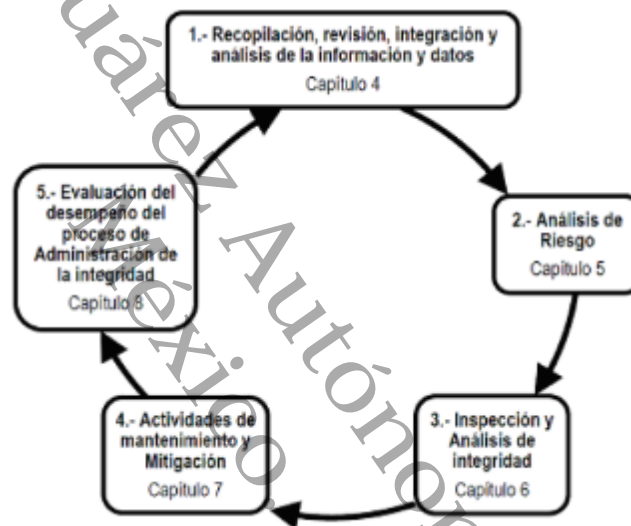
Los mecanismos de daño son procesos acumulativos e irreversibles que afectan las propiedades mecánicas del material con el tiempo (API, 2016). Es crucial atender el mantenimiento correctivo en las líneas de proceso de la TMDB, muchas de las cuales operan desde 1980.

Según la Norma Oficial Mexicana NOM-009-ASEA-2017 es de aplicación general en todo el territorio mexicano y define en cinco fases la administración de integridad de los ductos, las cuales son las siguientes (ver figura 2):

- Fase 1. Recopilación, revisión, integración y análisis de datos;
- Fase 2. Análisis de riesgo;
- Fase 3. Inspección y análisis de integridad;
- Fase 4. Actividades de mantenimiento y mitigación;
- Fase 5. Evaluación del desempeño del proceso de administración de la integridad.

**Figura 2**

*Diagrama de la Administración de la integridad de Ductos.*



*Nota:* Adaptado del Diagrama de la Administración de la integridad de Ductos [imagen], por la Norma Oficial Mexicana NOM-009-ASEA, 2017, [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5548790&fecha=25/01/2019#gs.c.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5548790&fecha=25/01/2019#gs.c.tab=0).

La norma para ductos terrestres cubre actividades como la recolección de hidrocarburos, el transporte de petróleo, gas natural, petrolíferos y petroquímicos, así como la distribución de gas natural y petrolíferos. También incluye ductos fuera de operación, abandonados, empacados o inertizados. (DOF, 2017).



La reparación de tuberías en la TMDB es crucial, por lo que se requiere un análisis cualitativo-cuantitativo para identificar los métodos de reparación más adecuado, y de esa manera integrar un equipo de trabajo que realizará el mantenimiento correctivo. Los métodos de reparación empleados incluyen el cincho kevlar, envolvente metálica, grapa metálica, envolvente no metálica, parches o medias cañas y reemplazo de la tubería (API 570, 2016).

El método de Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) es una herramienta para la toma de decisiones que combina lo racional e intuitivo al evaluar alternativas respecto a diversos criterios (Saaty & Vargas, 2012). En el contexto de la TMDB, los criterios incluyen por mencionar algunos: tipo de reparación, costo económico y ventajas técnicas, mientras que las alternativas comprenden métodos como cincho kevlar, envolvente metálica, grapa metálica, envolvente no metálica, parches o medias cañas y reemplazo de tubería (API 570, 2016). Comparar ventajas y desventajas de los métodos de reparación permite elegir la técnica más adecuada para formar un equipo de trabajo enfocado en su aplicación y aprendizaje.

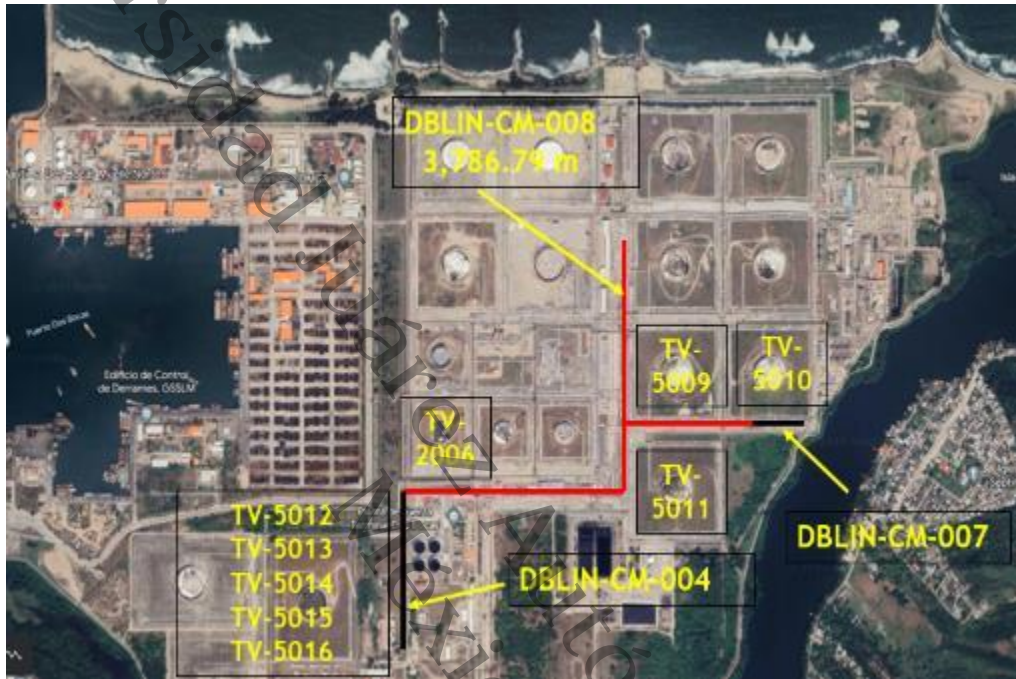
### 1.1.2. Importancia de la línea de proceso de crudo maya.

Una unidad de control (UDC) se define como un circuito de tubería, recipientes o tanques delimitado entre fronteras con válvulas y/o equipos (PEMEX, 2015). Existen diferentes UDC dentro de la TMDB, una de las de mayor importancia es la UDC: DBLIN-CM-008, la cual presenta una longitud de 3,786.79 metros, transporta crudo maya y tiene una presión de operación de  $1.00 \text{ kg/cm}^2$  (ver anexo 1) ; esta línea conecta con los tanques de almacenamiento TV-5009, TV-5010, TV-5011, TV-5012, TV-5013, TV-5014, TV-5015 y TV-5016; asimismo se conecta con las unidades de control: DBLIN-CM-007 por el lado este y DBLIN-CM-004 por el lado sur, como se puede visualizar en la Figura 3. La línea DBLIN-CM-008 presenta daños por corrosión interna y externa las

cuáles deben ser atendidas de manera inmediata, los cuales son atribuidos a que se construyó en el año 1980.

### Figura 3

Ubicación y longitud de la Unidad de Control DBLIN-CM-008



*Nota:* En la imagen se muestra la ubicación aproximada de la línea de proceso crudo maya: DBLIN-CM-008. Adaptado de Terminal Marítima Dos Bocas [fotografía], por Google Maps, 2023, <https://www.google.com/maps/place/Terminal+Mar%C3%ADtima+Dos+Bocas/@18.433897,-93.1804876,2748m/data>.

Entre las alternativas que tiene un operador cuando encuentra un tramo de la tubería con alguna anomalía o defecto son:

1. Bloquear la tubería,
2. Liberar el contenido de la tubería,
3. Retirar el segmento dañado y reemplazarlo con una tubería nueva.

Las reparaciones de ductos suelen ser costosas debido a la pérdida de ganancias por la interrupción del servicio. Por ello, los operadores prefieren métodos que mantengan los ductos en operación.



Sin embargo, en casos de daños graves, puede ser necesario retirar temporalmente un segmento para garantizar su integridad mecánica. (Jaske et al., 2006).

Los procedimientos que cuenten con una correcta planificación y con un personal capacitado permiten disminuir los riesgos durante la elección de la reparación en servicio en los casos que se descubra una anomalía o defecto. Cuando se descubre una anomalía o defecto en un ducto que se encuentra en funcionamiento, el operador siempre debe considerar primero la seguridad antes de cada reparación en servicio que se pretenda realizar. Las consideraciones que debe tomar el operador son 4 y son las siguientes (Jaske et al., 2006):

- a) Evaluar la necesidad y la magnitud para reducir la presión,
- b) Considerar la seguridad del personal y del público,
- c) Reunir la información crítica sobre la tubería y
- d) Caracterizar las anomalías.

## 1.2 Problema principal

En la TMDB se han registrado daños en ductos, desde pequeñas filtraciones hasta fugas, generando riesgos económicos y de seguridad, como se observa en la Tabla 5. Los mantenimientos correctivos, realizados por subcontratistas, han reducido la cantidad de fugas. Esto ha motivado la creación de un equipo propio de la empresa contratista para llevar a cabo estas actividades de manera interna.

Las organizaciones, independientemente de su tipo o tamaño, enfrentan factores e influencias tanto externas como internas que generan incertidumbre sobre el logro de sus objetivos. La gestión del riesgo, como proceso iterativo, ayuda a las organizaciones a definir su estrategia, alcanzar sus metas y tomar decisiones fundamentadas (ISO 31000, 2018).



### **1.3 Problemas secundarios**

Para abordar de manera efectiva este problema, se sugiere llevar a cabo un análisis cualitativo-cuantitativo utilizando la metodología AHP, con el objetivo de justificar la elección del tipo de reparación más conveniente para construir una plantilla de trabajo. El análisis debe tener en cuenta algunos puntos importantes para su desarrollo:

- Definir la estructura jerárquica para la resolución del problema, identificando sus principales elementos: criterios, subcriterios y alternativas.
- Realizar las comparaciones en par de los elementos que conforman cada nivel de la estructura jerárquica.
- Obtener las ponderaciones de los diferentes criterios, subcriterios y alternativas que presenta la estructura jerárquica, para posteriormente combinarlas con los pesos de la alternativas.
- Calcular la consistencia entre los grupos de elementos que presenta la estructura jerárquica.

### **1.4 Identificación y análisis de alternativas de solución**

En la TMDB se emplean diversas alternativas de mantenimiento correctivo, pero es necesario un análisis cualitativo-cuantitativo para comparar criterios y determinar el método más adecuado, facilitando la decisión de implementar un equipo de trabajo.

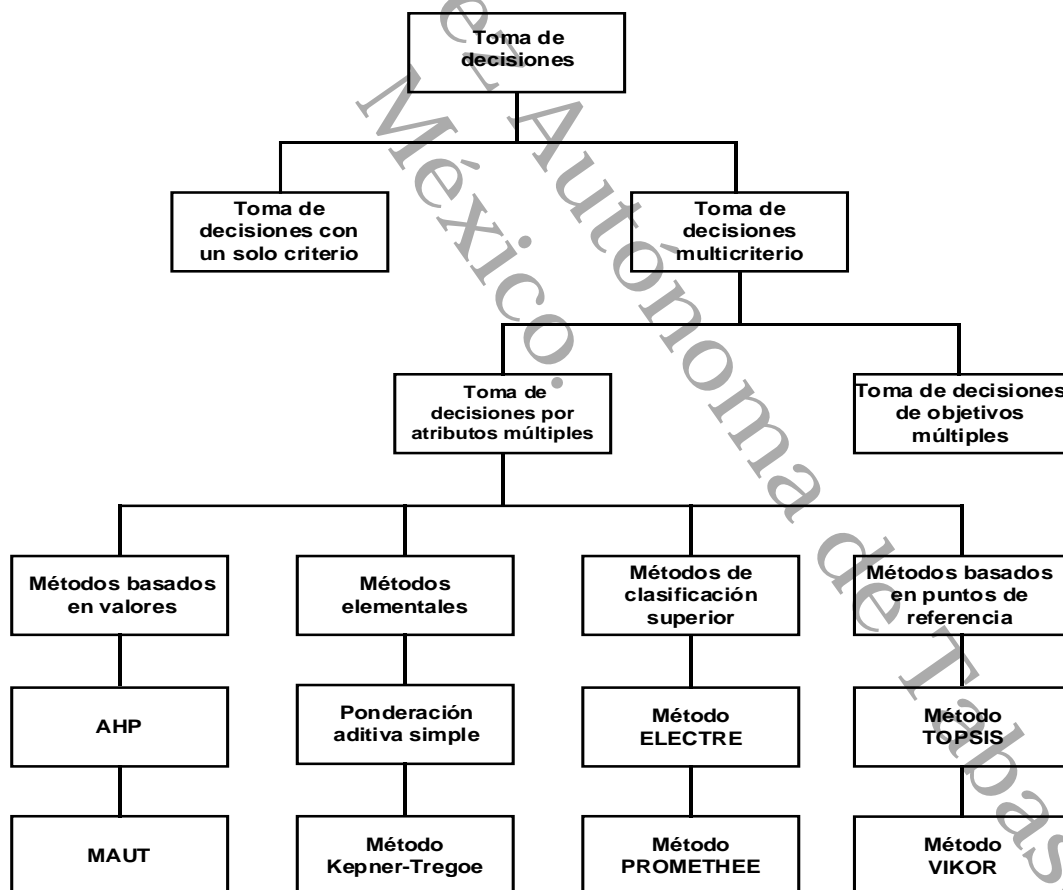
La Toma de Decisiones por Criterios Múltiples (MCDM), es una rama de la Investigación de Operaciones (OR), combina teoría matemática, métodos y aplicaciones prácticas para decisiones que involucran múltiples criterios.

Su objetivo es optimizar el proceso de decisión mediante herramientas matemáticas, integrando disciplinas como ingeniería, economía, psicología, ciencias de la computación y matemáticas (Gomes, 2013).

La toma de decisiones se clasifica en dos tipos: con un solo criterio y con múltiples criterios. Dentro de MCDM, existen dos tipos: Toma de Decisiones por Atributos Múltiples (MADM) y Toma de Decisiones de Objetivos Múltiples (MODM) (Kumar & Osuri, 2014). En la Figura 4 se muestran algunas de las técnicas más utilizadas, destacando el método AHP en el grupo de métodos basados en valores (INPRO, 2019).

**Figura 4**

*Métodos de análisis multicriterio aplicados en la toma de decisiones*



*Nota:* Adaptado de esquemas multicriterio (pág. 6), por INPRO, 2019, Application of multi-criteria decision analysis methods to comparative evaluation of nuclear energy system options.





#### 1.4.1. Proceso Jerárquico Analítico (AHP)

AHP es un método de atributos múltiple desarrollado por T.L. Saaty en la década de 1970, tiene como objetivo comparar criterios, subcriterios y alternativas por pares para así encontrar sus ponderaciones. Esta técnica determina la importancia comparativa y el significado de cada elemento de la jerarquía mediante la evaluación de varios datos simultáneos y sistemáticamente. Los valores numéricos obtenidos de los cálculos realizados representan los pesos o prioridades (Aydin & Gümüş, 2022).

El método AHP utiliza un grupo de criterios que evalúan y comparan de manera clara la función general de un conjunto de opciones. De manera global, el fin es producir una jerarquía de preferencia para un conjunto de opciones. El análisis incluye el desarrollo de una matriz de opciones y criterios las cuales serán jerarquizadas y asociadas para obtener un puntaje global para cada opción (IEC/ISO 31010, 2020).

El primer paso en esta técnica es la creación de un modelo de jerarquía. En el segundo paso, según la orientación de los expertos, se construyen matrices de comparación para mostrar la importancia de cada variable (Liu S. et al., 2013). Después de las comparaciones por pares son calculadas, se comprueba la coherencia de la decisión. Si este valor está por debajo de un cierto valor de precisión, la matriz de decisión puede ser aceptado. La matriz de decisión es inconsistente para otros casos. En estos casos, las decisiones deben ser revisadas y mejoradas para lograr una matriz consistente (Aydin & Gümüş, 2022).

#### 1.4.2. Teoría de la Utilidad de Atributos Múltiples (MAUT)

MAUT (Teoría del Valor de Atributos Múltiples) es un método para clasificar alternativas y seleccionar la mejor opción basándose en criterios cualitativos y cuantitativos. Su objetivo es identificar la alternativa más beneficiosa



convirtiendo datos subjetivos en cálculos objetivos. Aunque requiere muchos datos sensibles, es útil para resolver problemas con alta incertidumbre (Özomay, 2023).

#### **1.4.3. Ponderación Aditiva Simple (SAW)**

La ponderación aditiva simple (SAW) es un método basado en la suma ponderada para evaluar el desempeño de alternativas en múltiples criterios. La alternativa con la puntuación más alta se considera la mejor opción. SAW es compatible con sistemas de información geográfica y requiere normalizar la matriz de decisión para comparar las calificaciones de todas las alternativas en los distintos atributos (Ibrahim & Surya, 2019).

#### **1.4.4. Método Kepner-Tregoe**

El modelo de Kepner-Tregoe, fue desarrollado en los años sesenta por Charles Kepner y Benjamín Tregoe, es un enfoque estructurado para tomar decisiones informadas mediante análisis sistemático. Incluye cuatro pasos clave: evaluación de la situación, análisis del problema, análisis de decisiones y análisis de problemas potenciales (Sarjono & Brihaspati, 2023).

#### **1.4.5. Eliminación y Elección Traduciendo la Realidad (ELECTRE)**

El método ELECTRE, propuesto por Bernard Roy en 1968, compara la superioridad binaria entre alternativas, integrando criterios cualitativos y cuantitativos (Bernal & Niño, 2018). Es útil para problemas con pocos criterios y muchas alternativas, ya que elimina las menos favorables mediante comparaciones por pares. Sin embargo, su principal desventaja es el largo proceso computacional (Eltarabishi et al., 2020).



#### **1.4.6. Método de Organización y Clasificación de Preferencias para el Enriquecimiento de las Evaluaciones (PROMETHEE)**

El método PROMETHEE, desarrollado por Brans en 1982 y ampliado en 1985, es un enfoque multiatributo con seis extensiones. Evalúa criterios cualitativos y cuantitativos basándose en tres pilares: funciones de preferencia, relaciones de dominancia entre alternativas y apoyo a la decisión mediante clasificaciones parciales y completas (Oubahman & Duleba, 2021).

#### **1.4.7. Técnica para la Preferencia de Orden por Similitud con la Solución Ideal (TOPSIS)**

El método TOPSIS, desarrollado por Hwang y Yoon (1981), es el segundo más popular en MCDM tras el AHP de Saaty. Destaca por su simplicidad y aplicabilidad a problemas con múltiples criterios y alternativas. Sus pasos incluyen normalizar la matriz de decisión, calcular la matriz ponderada, identificar las soluciones ideal positiva (PIS) y negativa (NIS), calcular la separación de cada alternativa PIS y NIS, calcular el índice de clasificación y finalmente ordenar las alternativas por preferencia (Çelikbilek & Tüysüz, 2020).

#### **1.4.8. Clasificación de Compromiso Multicriterio (VIKOR)**

El método VIKOR, desarrollado en 1998 por Serafim Opricovic, optimiza los sistemas discretos con criterios conflictivos (Balaguera, 2019). Es apreciado por generar soluciones de compromiso basadas en la "proximidad a la solución ideal", equilibrando el ideal y la alternativa menos favorable (Gharieb Mohammad et al., 2023).

#### **1.4.9. Ventaja y desventaja de los MCDM**

Con base en la literatura revisada, se presentan las ventajas y desventajas de cada método de decisión, las cuales se presentan a continuación en la Tabla 6.



**Tabla 6**

Se presentan las ventajas y desventajas de cada MCDM

Alternativas de solución (Métodos)	Ventaja	Desventaja	Referencias
Proceso Jerárquico Analítico (AHP)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fácil de usar; escalable; la estructura jerárquica se puede ajustar fácilmente para adaptarse a problemas de muchos tamaños; No requiere muchos datos.</li> <li>Posibilidad de comparaciones por pares por parte de un grupo de expertos</li> <li>El proceso de cálculo es más rápido y bastante sencillo en comparación con otros métodos.</li> <li>El método tiene una lógica comprensible.</li> <li>Se permite un cierto valor de consistencia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Problemas por interdependencia entre criterios y alternativas; puede llevar a inconsistencias entre el juicio y los criterios de clasificación.</li> <li>Posibles problemas para mantener la coherencia de las comparaciones por pares cuando se toman en consideración más elementos.</li> <li>Diferentes jerarquías de criterios pueden influir en la diferencia en la asignación de pesos.</li> </ul>	<p>(Broniewicz &amp; Ogradnik, 2021)</p> <p>(Velasquez &amp; Hester, 2013)</p> <p>(Gayatri &amp; Chetan, 2013)</p> <p>(Aydin &amp; Gümüş, 2022)</p>
Teoría de la Utilidad de Atributos Múltiples (MAUT)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiene en cuenta la incertidumbre; puede incorporar preferencias.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Necesita mucha información; las preferencias deben ser precisas</li> </ul>	<p>(linkedin, 2024)</p>
Ponderación Aditiva Simple (SAW)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Capacidad de compensar entre criterios; intuitivo para los tomadores de decisiones; El cálculo es sencillo y no requiere programas informáticos complejos.</li> <li>Fuerte en problemas unidimensionales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La dificultad surge en problemas multidimensionales.</li> <li>Las estimaciones reveladas no siempre reflejan la situación real; el resultado obtenido puede no ser lógico.</li> </ul>	



Alternativas de solución (Métodos)	Ventaja	Desventaja	Referencias
Kepner-Tregoe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Brinda varias ventajas al soporte técnico, como poder producir un marco claro y consistente para la resolución de la problema y la toma de decisiones.</li> <li>• Se puede aplicar a distintos problemas, que incluyen desde los mas simples hasta los complejos, técnicos a interpersonales y de rutinas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiene inconvenientes como ser difícil de implementar y ser muy subjetivo.</li> <li>• El personal técnico requiere amplia una capacitación.</li> </ul>	<p>(Broniewicz &amp; Ogrodnik, 2021)</p> <p>(Velasquez &amp; Hester, 2013)</p> <p>(Gayatri &amp; Chetan, 2013)</p>
Eliminación y Elección Traduciendo la Realidad (ELECTRE)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiene en cuenta la incertidumbre y la imprecisión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Su proceso y resultado pueden ser difíciles de explicar en términos sencillos; la clasificación superior hace que las fortalezas y debilidades de las alternativas no se identifiquen directamente.</li> </ul>	<p>(Aydin &amp; Gümüş, 2022)</p> <p>(linkedin, 2024)</p>
Método de Organización y Clasificación de Preferencias para el Enriquecimiento de las Evaluaciones (PROMETHEE)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil de usar; no requiere asumir que los criterios sean proporcionados.</li> <li>• Posibilidad de tener en cuenta criterios tanto cuantitativos como cualitativos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No proporciona un método claro para asignar ponderaciones.</li> <li>• Necesita factores de decisión para las ponderaciones utilizando otros métodos.</li> </ul>	



Alternativas de solución (Métodos)	Ventaja	Desventaja	Referencias
Método de Organización y Clasificación de Preferencias para el Enriquecimiento de las Evaluaciones (PROMETHEE)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PROMETHEE necesita mucho menos entradas.</li> <li>• Posibilidad de integración con otros métodos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es necesario definir los criterios generalizados, lo que puede ser difícil de lograr para un usuario inexperto.</li> </ul>	<p>(Broniewicz &amp; Ogrodnik, 2021)</p> <p>(Velasquez &amp; Hester, 2013)</p>
Técnica para la Preferencia de Orden por Similitud con la Solución Ideal (TOPSIS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiene en cuenta la incertidumbre y la imprecisión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Su proceso y resultado pueden ser difíciles de explicar en términos sencillos; la clasificación superior hace que las fortalezas y debilidades de las alternativas no se identifiquen directamente.</li> </ul>	<p>(Gayatri &amp; Chetan, 2013)</p> <p>(Aydin &amp; Gümüş, 2022)</p> <p>(linkedin, 2024)</p>
Clasificación de Compromiso Multicriterio (VIKOR)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Está basado sobre datos cuantitativos.</li> <li>• Tiene la posibilidad de integración con otros métodos.</li> <li>• Está basado sobre datos cuantitativos.</li> <li>• El método es tolerante con las desviaciones de valores en el periodo de evaluación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesita pesos de los factores de decisión usando otros métodos.</li> <li>• Posible errores en los calculos.</li> <li>• El compromiso debe estar en una forma que pueda ser aprobada para resolver el problema.</li> <li>• El rango de desempeño es cuantificado como valores escuetos.</li> </ul>	

Nota: Tabla de elaboración propia



## **1.5 Hipótesis**

Al proponer un sistema de gestión cualitativa-cuantitativo, se podrá establecer un proceso estructurado que jerarquice los métodos de reparación, lo anterior tomando en cuenta los diferentes criterios y factores involucrados en la toma de decisiones, con ello se logrará finalmente integrar un grupo de trabajo que presente la ponderación más alta durante el análisis. Esto contribuirá a mejorar la eficiencia y la efectividad de las labores de mantenimiento correctivo en la Terminal Marítima Dos Bocas.

## **1.6 Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo general.**

Desarrollar la metodología de análisis jerárquico para la selección del tipo de mantenimiento correctivo en la línea de proceso crudo maya de la TMDB.

### **1.1.1. Objetivos específicos.**

- Desarrollar la estructura jerárquica con sus respectivos criterios, subcriterios y alternativas a través de entrevistas a los expertos en mantenimiento correctivo.
- Comparar cuantitativamente cada criterio de forma aislada a través del uso de matrices, mediante comparaciones de a pares.
- Efectuar la validación de las ponderaciones (pesos) de los criterios, subcriterios y alternativas que resulte de la aplicación de la metodología.
- Efectuar la validación de la consistencia que resulte de la aplicación de la metodología.
- Demostrar la importancia de la aplicación de la metodología AHP para la toma de decisiones en la industria.



## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

El mantenimiento consiste en realizar acciones que garanticen que los equipos, máquinas, componentes e instalaciones funcionen según su diseño. Esto requiere conocimiento, experiencia, habilidad y trabajo en equipo con otras áreas de la organización, asegurando una gestión eficiente y el cumplimiento de indicadores de desempeño para alcanzar las metas organizacionales (Pérez, 2021).

El mantenimiento correctivo consiste en reparar fallas cuando ocurren, lo que puede detener equipos o instalaciones (García, 2009). Aunque es considerado indeseable por la industria debido a su impacto en la seguridad, el ambiente y la economía, permitir operar hasta fallar (run to failure) está respaldado por normativas internacionales (Medina, 2023).

### 2.1 El mantenimiento correctivo y la relación con la normativa internacional.

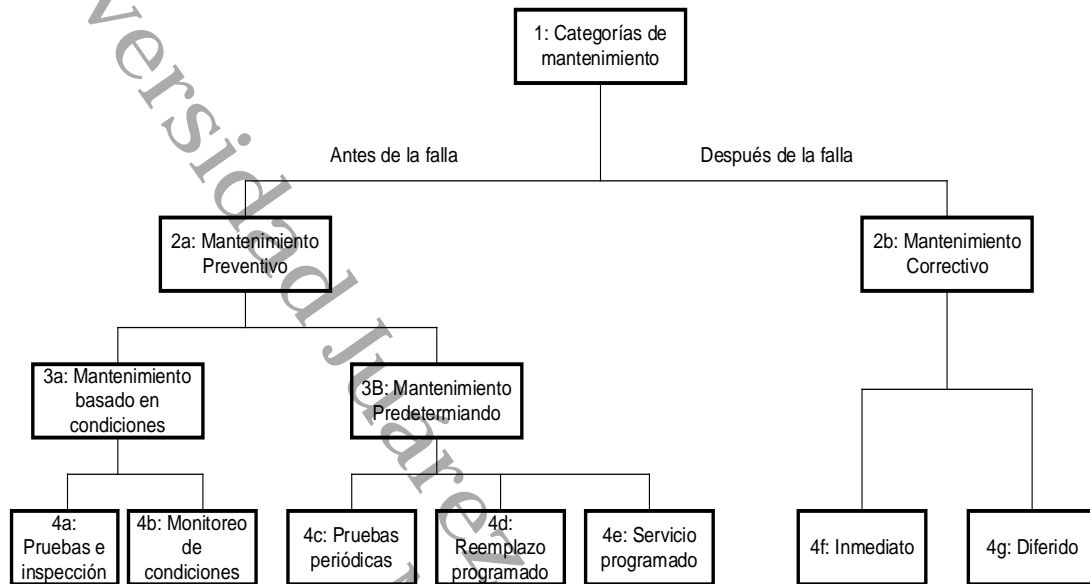
El estándar británico ISO 14224 para la recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos nos dice que existen dos categorías básicas de mantenimiento (ISO, 2016) como se muestra en la Figura 5, y se mencionan a continuación:

- Mantenimiento correctivo: aquellas que se realizan para corregir un ítem después de la falla.
- Mantenimiento preventivo: aquellas que se realizan para prevenir que un ítem caiga en estado de falla.



**Figura 5**

Las categorías que existen de mantenimiento según ISO 14224

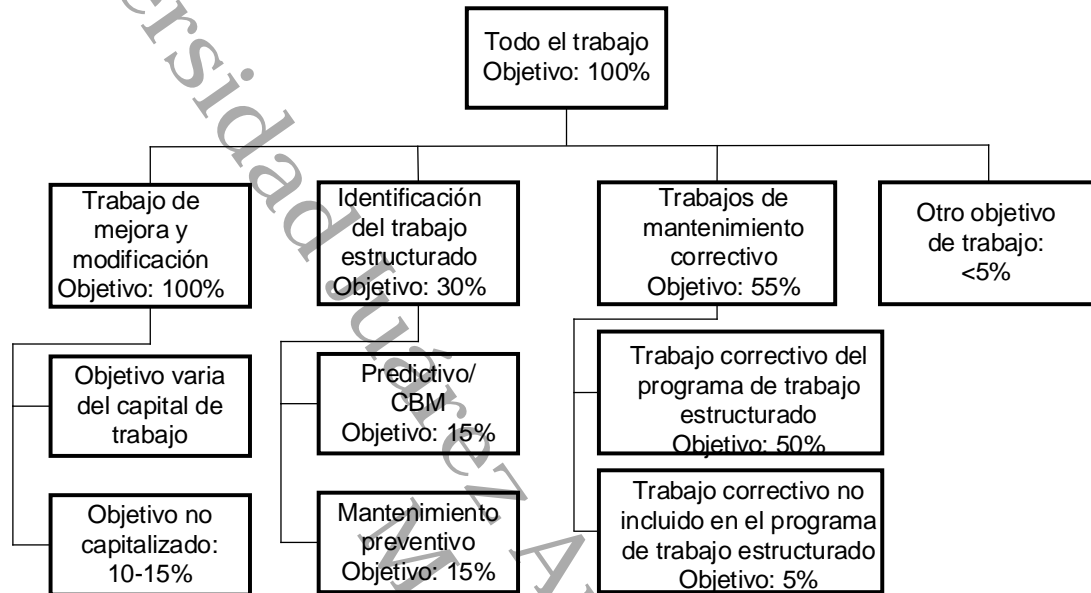


*Nota:* Categorización del mantenimiento (pág. 50), por ISO 14224, 2016, Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural — recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos.

La SMRP (Society for Maintenance & Reliability Professionals), presenta un documento relacionado a las mejores prácticas de mantenimiento y confiabilidad, en el capítulo 5 referido a la gestión del trabajo, establece por consenso que el mantenimiento correctivo debería tener el 55% del tiempo de atención por parte de la organización de mantenimiento, de los cuales el 50% se atribuyen a trabajos correctivos planificados que provienen de los programas de mantenimiento basados en la condición, el 5% restante serán provenientes de las fallas no críticas relacionadas a equipos de bajo nivel de riesgo, lo anterior se visualiza en la Figura 6, (SMRP, 2020).

Figura 6

Diagrama de los mantenimientos con su porcentaje de atención



Nota: Tipos de trabajo de mantenimiento (pág. 122), por SMRP, 2020, SMRP Best Practices 6th edition.

Aunque es imposible tener el control de todas las fallas que puedan ocurrir, habrá fallas que requerirán una reacción inmediata por parte de la organización de mantenimiento, estas últimas llamadas **acciones de emergencia o respuesta inmediata**. De lo anterior se deriva que esta norma establezca el 5% de las actividades correctivas de la organización como correctivo no programados o de emergencia (Medina, 2023)

La norma SAE JA1012 nos adentra en el mantenimiento correctivo a través de sus políticas del manejo de las fallas, las cuales se deben tomar en cuenta de acuerdo al tipo de tarea que se pretenda realizar. El estándar plantea 4 políticas de manejo de las fallas (SAE, 2011), las cuales se enumeran a continuación:



- 1. Tarea basada en condición.** Se conoce como mantenimiento predictivo (debido a que se está tratando de predecir cuando el elemento va a fallar en base a su comportamiento actual); de igual modo se le puede llamar mantenimiento basado en condición (debido a la necesidad de una acción correctiva o para desviar las consecuencias está basada en una evaluación de la condición del elemento).
- 2. Tareas de Restauración Programada y de Desincorporación Programada.** La restauración programada es una tarea programada que restablece la capacidad de un componente en intervalos específicos, sin considerar su condición actual, para garantizar su funcionamiento hasta el próximo intervalo. Por otro lado la desincorporación programada sustituye componentes al alcanzar un límite de uso, restaurando su resistencia original mediante reemplazos.
- 3. Tareas de Detección de Fallas.** La detección de fallas aplica para modos de falla ocultos. Las inspecciones periódicas permiten identificar modos de falla ocultos que podrían comprometer funciones críticas, también conocidas como revisiones funcionales.
- 4. Cambio de Especificaciones y Operar Hasta Fallar.** Es la modificación de la configuración física del activo (también se le puede llamar “rediseño”). En concreto, son modificaciones en el diseño, componentes o ubicación para optimizar rendimiento. Por su parte, operar hasta fallar permite que un componente funcione hasta el fallo, bajo criterios que aseguren que no existan riesgos para la seguridad y/o el ambiente como lo menciona SAE JA1011, (SAE,1999) o afecte los costos desproporcionados (SAE, 2011).



## 2.2 Métodos de reparación.

Para seleccionar el método de reparación, según el manual de reparación de tubería realizado por el Consejo Internacional de Investigación de Tuberías (PRCI), se debe tener en cuenta el modo y la severidad de la falla y el método que se utilice para llevar a cabo la reparación debe cumplir con los lineamientos en materia de seguridad industrial, seguridad operativa y protección al medio ambiente. El manual PRCI menciona que la elección de un método de reparación depende de la característica del defecto que va a ser reparado (PRCI, 2006). Para el propósito de elegir un método de reparación se han agrupado dentro de las siguientes categorías:

- Pérdida de metal externa. Este tipo de defecto generalmente resulta de la corrosión externa y se caracteriza por tener picaduras visibles o grandes depresiones irregulares. También puede ser causado por un desgaste más allá de los límites aceptables.
- Defectos internos. Estos suelen ser el resultado de la corrosión interna. Existen picaduras o grandes depresiones irregulares, pero solo son detectables desde el exterior mediante mediciones de espesor de pared por ultrasonido. Otros tipos de defectos internos pueden incluir rayaduras, solapes y fragmentos. Todos los defectos internos se incluyen en esta categoría, ya sean corrosión, grietas o cualquier otra cosa. Se asume que cualquier otro defecto discutido en el resto de esta lista ha surgido en o cerca de la superficie exterior de la tubería.
- Defectos endentados. Estos son abolladuras simples y abolladuras con muescas o rayaduras que generalmente son causados por el contacto con equipos de excavación. Las abolladuras también pueden contener grietas por fatiga, grietas por corrosión bajo tensión o quemaduras por arco. En una abolladura, la curvatura local ya no forma parte del arco circular que tiene el mismo radio que la tubería.



- En esta sección, se considera "endentado" a cualquier cantidad de hundimiento que se pueda medir o detectar visualmente. Para todos los demás defectos, excepto los puntos duros, se asume que el defecto está completamente libre de hundimiento.
- Defectos orientados longitudinalmente: grietas, rayones, estrías, muescas o ranuras.
- Defectos orientados transversalmente que no están en una soldadura circunferencial.
- Grietas orientadas en un ángulo espiral.
- Defectos en la soldadura circunferencial, incluyendo fisuras.
- Puntos duros. Estos se encuentran generalmente en áreas localmente planas en una tubería y son creados por el enfriamiento rápido accidental del área durante el laminado en caliente de la tira de metal. Un punto duro también puede contener fisuras.
- Arrugas o pliegues. Estos son generalmente el resultado de imponer curvatura en la tubería. Una arruga o pliegue severo puede contener una fisura.
- Quemaduras por arco como resultado del contacto no intencional con un electrodo de soldadura y quemaduras por contacto.
- Ampollas y agrietamiento por etapas inducido por hidrógeno.

En el anexo 2 se muestran los métodos de reparación que son aprobados por la NOM-009-ASEA-2017 para los ductos, segmentos o secciones marinas, así pues se aceptan otros métodos que los igualen o mejoren.

En el anexo 3 muestra una Tabla de PRCI el cual nos brinda un panorama general de la aplicación de las reparaciones de tuberías que pueden ser aplicadas para varios tipos de defectos, la tabla relaciona que para cada tipo de defecto existe un tipo de reparación adecuada para cada caso.



La Tabla PRCI menciona que los tipos de reparación se encuentran divididos en 4 categorías:

- I. *Reparaciones permanentes de defectos o daños en tierra que no presenten fugas.*
- II. *Reparaciones permanentes de fugas en tierra.*
- III. *Reparaciones permanentes en alta mar*
- IV. *Reparaciones temporales en tierra.*

**Entre las reparaciones permanentes de defectos o daños en tierra que no presentan fugas, se tiene:**

- Corte y eliminación de la tubería vieja seguido de su reemplazo con tubería nueva.
- Eliminación del defecto mediante rectificado.
- Reemplazo de la pérdida de metal causada por la corrosión externa mediante deposición de metal de soldadura.
- Aplicación de una envolvente tipo A.
- Aplicación de una envolvente de compresión.
- Aplicación de una envolvente compuesta.
- Hot tapping.

**Para las Reparaciones permanentes de fugas en tierra podemos encontrar:**

- Corte y eliminación de la tubería vieja seguido de su reemplazo por tubería nueva.
- Aplicación de una envolvente tipo B.
- Hot tapping.

**Para las reparaciones permanentes en alta mar se tiene:**

- Corte y eliminación de la tubería vieja seguido de su reemplazo por tubería nueva.
- Dispositivos de propósito especial.



Nota 1: Si el área afectada de la tubería no está fugando y puede ser elevada por encima del agua, se permite la reparación mediante desbaste, depósito de metal de soldadura (si es apropiado), o mediante una envolvente de Tipo B.

Nota 2: Las reparaciones temporales no deben ser utilizadas en alta mar ni en ninguna otra ubicación sumergida.

#### **Entre las reparaciones temporales en tierra más comunes encontramos:**

- Abrazadera atornillada.
- Abrazadera de fuga.
- Envolvente tipo A para corrosión interna.
- Envolvente compuesta para corrosión interna.
- Envolvente tipo B para defectos en las líneas de unión de costuras soldadas por resistencia eléctrica (ERW) o por soldadura flash.

### **2.3 Mantenimiento correctivo aplicado dentro de la TMDB**

La norma API 570 en su capítulo 8, menciona dos tipos de reparaciones: las reparaciones temporales (en funcionamiento) y las reparaciones permanentes. Las reparaciones temporales se pueden realizar durante el desempeño de la tubería, estas pueden lograr utilizando reparaciones con soldadura o reparaciones sin soldaduras (API, 2018).

Para el mantenimiento correctivo de daños presentes en las tuberías ubicadas dentro de la TMDB se hace uso de las normativas nacionales e internacionales. En particular la norma nacional NOM-009-ASEA-2017, menciona que las reparaciones de los defectos en una tubería deben estar en base a los resultados de un análisis de integridad. Existen dos tipos de defectos; los que se atienden de manera inmediata y los que se programan de acuerdo con la severidad que presenten.

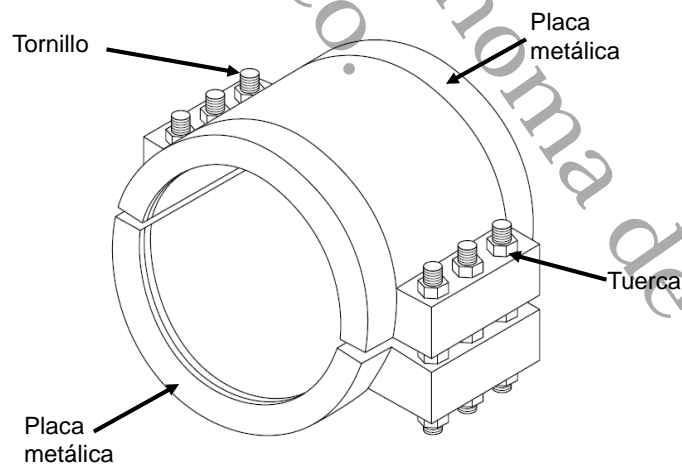
Entre las principales reparaciones en la TMDB, encontramos la reparación con soldadura y sin soldadura entre las principales encontramos: grapa metálica, envolvente tipo B, envolvente no metálica, medias cañas (parches metálicos), reemplazo de la tubería y el cincho kevlar. Algunos de los métodos antes mencionados se dan a conocer en la práctica recomendada ASME PCC-2, (ASME, 2022).

### 2.3.1. Grapa metálica

Una grapa metálica consiste en accesorios divididos los cuales se unen mecánicamente para sellar o reforzar un componente. Un ejemplo de grapa metálica se ilustra en la Figura 7. Las abrazaderas mecánicas se utilizan comúnmente para sellar componentes que gotean o para reforzar componentes dañados (ASME, 2022).

#### Figura 7

En la imagen se muestra una grapa metálica.



*Nota:* grapa metálica (pág. 143), por ASME PCC-2, 2022, Repair of Pressure Equipment and Piping.

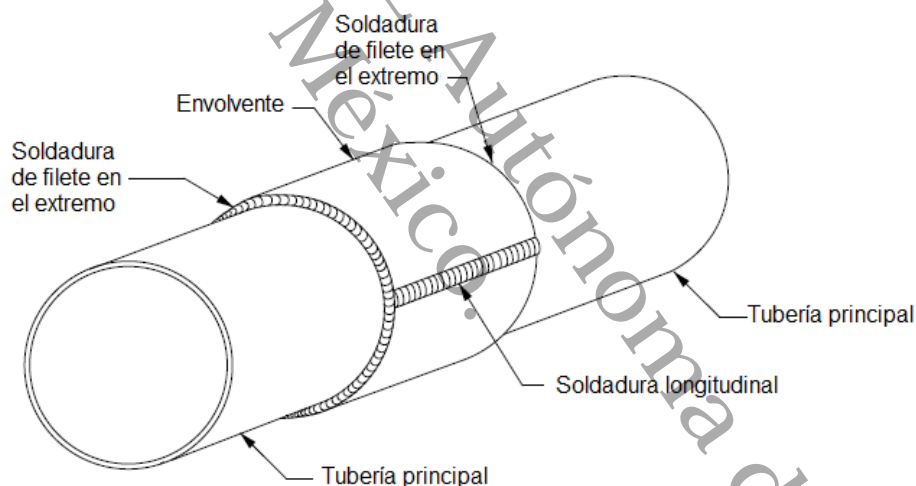


### 2.3.2. Envoltente tipo B

La envoltente tipo B. En los extremos de la envoltente tipo B se sueldan circunferencialmente al tubo portador, como se muestra en la Figura 8. Una envoltente tipo B es capaz de contener presión interna porque los extremos se sueldan a tope al tubo portador. Las envoltentes tipo B se pueden usar para reparar defectos de fugas o defectos que eventualmente podrían causar fugas, y para fortalecer tuberías que tengan defectos que reducen la capacidad de carga axial del tubo (ASME, 2022).

#### Figura 8

En la imagen se muestra una envoltente tipo B



*Nota:* envoltente tipo B (pág. 32), por ASME PCC-2, 2022, Repair of Pressure Equipment and Piping.

### 2.3.3. Envoltente no metálica

La envoltente no metálica, ver Figura 9. Este sistema de reparación se define como una combinación de los siguientes elementos para los cuales se ha completado la prueba de calificación:

- (a) Sustrato (superficie de reparación).



- (b) Preparación de la superficie.
- (c) Material de transferencia de carga (material de relleno).
- (d) Capa adhesiva de imprimación (un adhesivo utilizado en algunos sistemas de reparación, que une el laminado compuesto al sustrato).
- (e) Material compuesto (laminado de reparación).
- (f) Método de aplicación (incluyendo sellado, recubrimiento, etc., según sea necesario).
- (g) Protocolo de curado.
- (h) Adhesivo interlaminar para sistemas de reparación que utilizan capas precuradas (ASME, 2022).

Los tipos de defectos que pueden ser reparados con la envolvente no metálica son los siguientes:

- (1) Corrosión externa -donde la integridad estructural está comprometida.
- (2) Daños externos como abolladuras, muescas, desgaste o corrosión (en los soportes).
- (3) Las grietas, si están preparadas de acuerdo con los requisitos de excavación.
- (4) Corrosión interna o erosión (filtrante o no filtrante). En este caso, es probable que la corrosión continúe y la evaluación debe tener esto en cuenta.
- (5) Fugas.
- (6) Defectos de manufactura o de fabricación (ASME, 2022).

### Figura 9

En la imagen se muestra una envolvente no metálica



Nota: Imagen de elaboración propia

#### 2.3.4. Medias cañas (parches metálicos)

La descripción de las medias cañas (parches metálicos) se menciona a continuación:

- a) Este método de reparación consiste en adaptar una placa de reparación para que coincida estrechamente con la superficie exterior o interior del componente original. La placa de reparación tiene un tamaño diseñado para cubrir las áreas que muestran daños, tanto en el momento de la reparación como los que se anticipan durante la vida útil diseñada para la reparación. En la figura 10 se muestra un ejemplo de la colocación de una media caña (parche metálico).

**Figura 10**

En la imagen se muestra la instalación de medias cañas



Nota: Imagen de elaboración propia

- b) Este método de reparación se aplica típicamente a carcasas que retienen presión y que han sufrido adelgazamiento en la pared de la carcasa (incluyendo perforación completa) debido a erosión, corrosión y otros mecanismos de daños localizados.
- c) Este método de reparación es aplicable a carcasas cilíndricas, esféricas, planas y cónicas, así como a otros componentes sometidos a presión.
- d) Este método de reparación es generalmente adecuado para temperaturas de servicio por encima de la temperatura de nula de ductilidad de los materiales de construcción, hasta una temperatura máxima de diseño de 345°C (650°F). El uso de este método de reparación para temperaturas más bajas requiere la evaluación de la tenacidad al impacto, la fractura no dúctil y otros efectos aplicables a bajas temperaturas. La utilización de este método para temperaturas más altas requiere la evaluación de la fatiga térmica, el fluencia y otros efectos aplicables a altas temperaturas (ASME, 2022).

### 2.3.5. Reemplazo de tubería

El reemplazo de tubería se aplica al reemplazo de equipos o componentes de presión (como recipientes, válvulas, instrumentos, accesorios, juntas de brida, etc.) o subconjuntos (como tramos de tubería, cabezas de recipientes, carcasas, etc.). El reemplazo puede ser un reemplazo idéntico (reemplazo por componentes idénticos) o una modificación (un cambio en materiales, diseño o fabricación). En la Figura 11 se puede ver el retiro de una tubería para posteriormente sustituirla con una nueva.

#### Figura 11

*En la imagen se muestra el reemplazo de tubería*



*Nota:* Imagen de elaboración propia

Si el reemplazo es debido a deterioro, se debe considerar la causa del deterioro y la necesidad de realizar cambios para mitigar futuros deterioros. El cambio respecto al diseño original. El ingeniero de diseño debe especificar los requisitos funcionales, materiales y mecánicos para el componente o subconjunto de reemplazo. Los requisitos funcionales incluyen variables de proceso, características de flujo, etc. Los requisitos de materiales incluyen la elección de materiales compatibles con el proceso y con el sistema existente, elección de especificaciones de materiales, calidad del material, etc.



Los requisitos mecánicos incluyen el grosor de pared, la clase de presión, el diseño, los soportes, etc (ASME, 2022).

### 2.3.6. Cincho kevlar

Este cincho entra como una reparación temporal y permite contener fugas de aceite (crudo), agua, combustibles, etc, ver Figura 12. Hasta una presión como de  $60 \text{ kg/cm}^2$ . Se han usado ampliamente en la industria petroquímica y de transporte de hidrocarburos, en todo México. Son fabricados con un herraje metálico que funcionan como cierre y además presenta bandas de kevlar que tienen una resistencia de 40,000 psi, así también están acompañados de una almohadilla que se coloca directamente sobre la fuga para lograr detener la fuga. El cincho kevlar presenta ventajas ante una grapa metálica empernada debido a su capacidad de amoldarse a tubos con ovalidades o deformaciones, excelente uso en espacios reducidos y el peso; por ejemplo en una emergencia por fuga una grapa de 48” de diámetro, puede ser bastante pesada y por ello se requiere de mucho personal o hasta el uso de una grúa para su instalación.

#### Figura 12

*En la imagen se observa un cincho kevlar instalado.*



*Nota: Imagen de elaboración propia*



## 2.4 Aplicación de la metodología AHP para la toma de decisiones en diferentes áreas.

En las última dos décadas se ha extendido la aplicación de la metodología MCDM, la cual engloba distintas técnicas de toma de decisiones en diferentes áreas, la cual destaca por su mayor uso en la toma de las decisiones la metodología AHP (Broniewicz & Ogrodnik, 2021).

Entre las diversas aplicaciones que ha presentado la metodología AHP desatacan; la toma de decisiones multicriterio en la selección de buques de guerra (Santos et al., 2021); evaluación de alternativas de inversión inmobiliaria: una herramienta de ayuda a la decisión con múltiples criterios y multiactores (Mantogiannis & Katsigiannis, 2020); Construcción de un índice de medición del desempeño basado en maqasid (objetivo) para bancos islámicos citar y referenciar (Tarique et al., 2020); Uso del proceso de jerarquía analítica para evaluar el impacto de las debilidades del control interno en el desempeño de la empresa (Wilford et al., 2020); Implementación de GIS-AHP-OWA para la evaluación de la idoneidad del suelo en proyectos de inversión en infraestructura: un estudio de caso en Yucatán, México (Merino-Benítez et al., 2023); un modelo de distribución óptima basado en AHP y su aplicación en la vacunación covid-19 (Garg et al., 2021).

La aplicación para el área de hidrocarburos se encuentra lo siguiente; Un nuevo método de evaluación de riesgos basado en el modelo mejorado de AHP-Cloud para la fractura de tubería por congelamiento (Liu & Wang, 2021); Evaluación de riesgos para el desempeño de las prestaciones de resistencia a la corrosión de recubrimientos epoxi en entornos de perforación utilizando el método AHP (Bigdeli et al., 2021); Selección de una estrategia de mantenimiento adecuada para equipos de petróleo y gas mediante el proceso de jerarquía analítica (AHP) (Elwerfalli & Al-Maqespi, 2021); aumento de la profundidad de penetración y beneficios de productividad de las soldaduras



ATIG utilizando el ahp (Acharya et al., 2023); Método del proceso analítico jerárquico (AHP) para la estrategia de mantenimiento y la toma de decisiones (Khyat & Mohanty, 2020).

#### 2.4.1. Metodología del Proceso Analítico Jerárquico (AHP).

En un mundo cuya complejidad crece rápidamente, tomar la mejor decisión llega a ser una tarea de mucha demanda para los gerentes de compañías, agencias gubernamentales y políticos. En este contexto es que el Proceso Analítico Jerárquico llega a ser una herramienta para el análisis de las decisiones. En términos generales, el AHP es una teoría y metodología para medición relativa. En la medición relativa no nos interesa la medida exacta medición de algunas cantidades, sino más bien de las proporciones entre ellas. El AHP se puede aplicar a una multitud de problemas de toma de decisiones que involucran un número finito de alternativas (Brunelli, 2015).

En el libro titulado “Toma de decisiones estratégicas aplicando AHP” (Bhushan and Rai, 2004) se menciona que la metodología AHP proporciona un medio para descomponer el problema en una jerarquía de subproblemas que pueden ser más fácilmente comprendidos y evaluados subjetivamente. Las evaluaciones subjetivas se convierten en valores numéricos y se procesan para clasificar cada alternativa en una escala numérica. La metodología del AHP se puede explicar en los siguientes pasos:

- Paso 1: El problema se descompone en una jerarquía de objetivos, criterios y subcriterios y alternativas. Esta es la parte más creativa e importante de la toma de decisiones. Estructurar el problema de decisión como una jerarquía es fundamental para el proceso del AHP. La jerarquía indica una relación entre elementos de un nivel con los del nivel inmediatamente inferior. Esta relación se filtra hasta el nivel más bajo de la jerarquía y de esta manera cada elemento está conectado



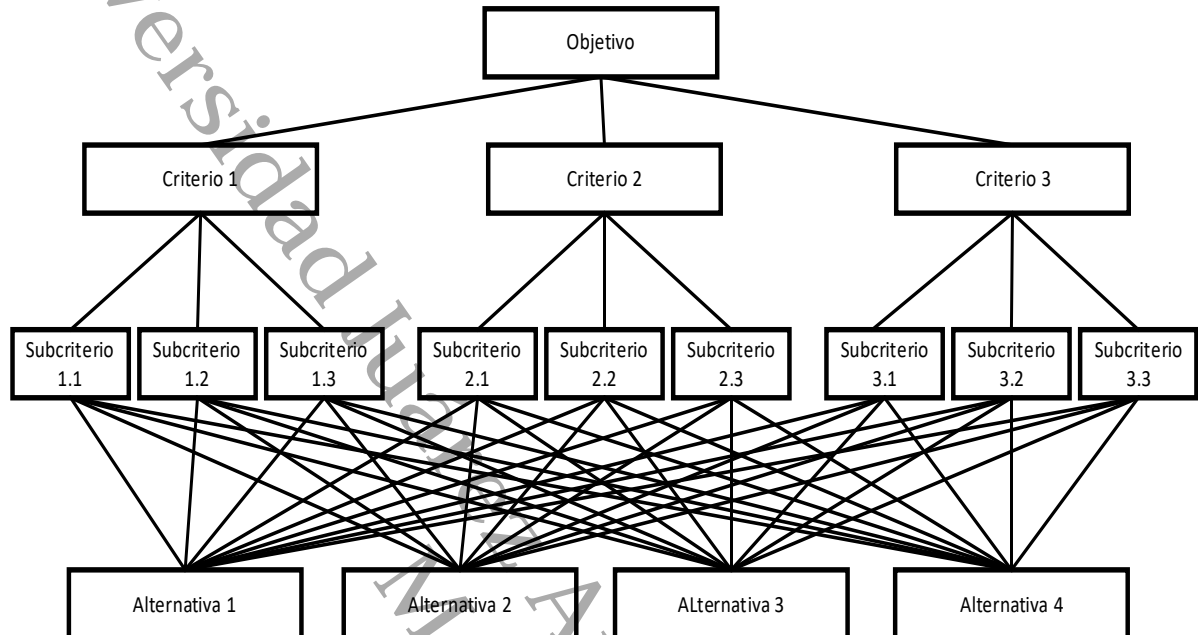


uno con otro, al menos de manera indirecta. Una jerarquía es una forma más ordenada de red. Una estructura de árbol invertida es similar a una jerarquía. En esta parte se sugiere que una forma útil de estructurar la jerarquía es trabajar hacia abajo desde el objetivo tanto como sea posible y luego trabajar desde las alternativas hasta que los niveles de los dos procesos sean vinculados de tal manera que sean posibles las comparaciones. La Figura 13 muestra una estructura jerárquica genérica. En la raíz de la jerarquía esta la meta o el objetivo del problema siendo estudiado y analizado. La rama de los nodos son alternativas que deben ser comparadas. Entre la meta y las alternativas se encuentran los niveles de criterio y subcriterio. Es importante notar que cuando comparamos elementos en cada nivel quien toma las decisiones sólo tiene que comparar con respecto a la contribución de los elementos de nivel inferior al nivel superior. Esta concentración local de quien toma las decisiones en sólo una parte del problema total es una característica poderosa del AHP.

- Paso 2: Los datos son recolectados de los expertos o de quienes toman las decisiones correspondiente a la estructura jerárquica, en la comparación por pares la comparación de alternativas sobre una escala cualitativa como se describe abajo. Los expertos pueden valorar la comparación como igual, ligeramente fuerte, fuerte, muy fuerte y extremadamente fuerte. La opinión puede ser colectada en un diseño de formato especial como en la Figura 14. La “X” en la columna marcada como “Muy fuerte” indica que “B” es muy fuerte comparado con “A” en términos del criterio sobre el cual la comparación está siendo hecha. Las comparaciones están hechas para cada criterio y posteriormente convertidos en números cuantitativos.

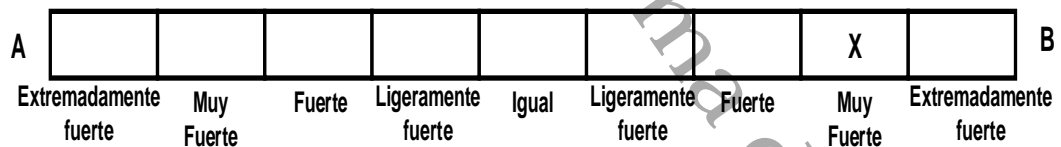
**Figura 13**

*Estructura jerárquica genérica (AHP)*



**Figura 14**

*Formato para comparaciones por pares*



- Paso 3: Las comparaciones por pares de varios criterios generados en el paso 2 son organizados en un matriz cuadrada. La diagonal de los elementos de la matriz es 1. El criterio en la  $i$ -ésima fila es mejor que el criterio en la  $j$ -ésima columna si el valor del elemento  $(i,j)$  es mayor que 1; de lo contrario el criterio en la  $j$ -ésima columna es mejor que la que se encuentra en la  $i$ -ésima fila. El elemento  $(j,i)$  de la matriz es recíproca del elemento  $(i,j)$ .



- Paso 4: El principal valor propio y el correspondiente al valor propio normalizado de la matriz de comparación dan la relación de importancia de los varios criterios siendo comparados. Los elementos del valor propio normalizado son llamados pesos con respecto al criterio o subcriterio y clasificados con respecto a las alternativas.
- Paso 5: La consistencia de la matriz de orden  $n$  es evaluada. Las comparaciones hechas por este método son subjetivas y el método AHP tolera la inconsistencia a través de la cantidad de redundancia en el enfoque. Si este índice de consistencia no logra alcanzar un nivel requerido, entonces se podrán volver a examinar las respuestas a las comparaciones. El Índice de Consistencia “CI”, es calculado de la siguiente manera:

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde  $\lambda_{\max}$  es el máximo valor propio de la matriz de juicio. Este CI puede ser comparado con una matriz aleatoria “RI”. La relación derivada CI/RI es llamada la relación de consistencia “CR”. Se sugiere que el valor de CR sea menor a 0.1.

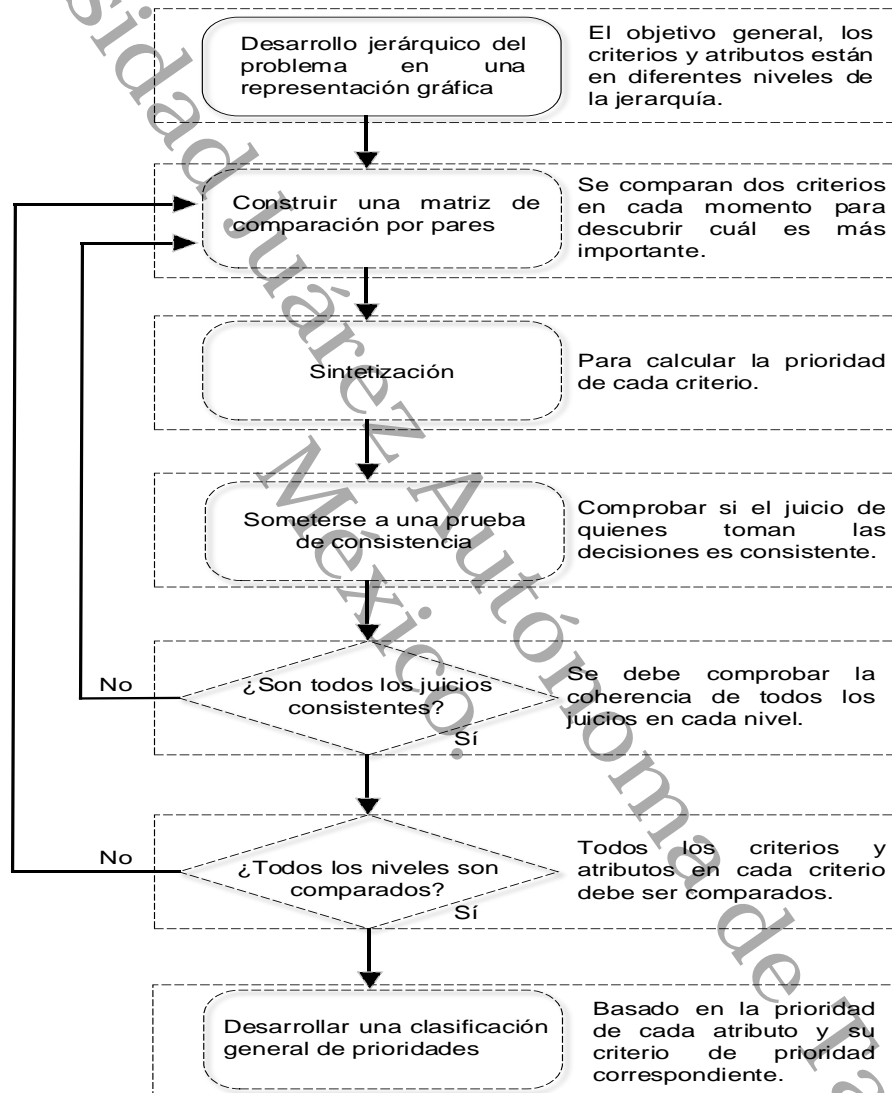
- Paso 6: La clasificación de cada alternativa es multiplicada por los pesos de los subcriterios y se agregan para conseguir una clasificación local con respecto a cada criterio. La clasificación local es multiplicada por los pesos del criterio y agregadas para conseguir la clasificación global. La metodología AHP produce valores de peso para cada alternativa basado en la importancia de juicios de una alternativa sobre otra, lo anterior con respecto a un criterio común (p. 15-17).

#### 2.4.2. Diagrama de flujo de la metodología AHP.

El diagrama de flujo de la metodología AHP se muestra en la Figura 15. Al final del diagrama puede observarse que todas las matrices son revisadas y

ajustadas hasta alcanzar niveles de consistencia adecuados, con el fin de asegurar resultados consistentes antes de obtener la solución final del modelo (Nantes,2019).

**Figura 15**  
Diagrama de flujo de la metodología AHP



Nota: adaptado del diagrama de flujo (pag.62), por E. A. Nantes, 2019, el método *Analytic Hierarchy Process* para la toma de decisiones. repaso de la metodología y aplicaciones.



### 2.4.3. Combinación de las decisiones en grupo.

Los juicios individuales sobre la preferencia de criterios o alternativas, realizados por distintas personas, pueden integrarse para crear un juicio representativo del grupo. Esta característica es relevante, ya que facilita la elaboración de una única definición del problema que refleje la opinión colectiva, lo cual es valioso cuando se busca armonizar diferentes puntos de vista, sean multidisciplinarios o en conflicto. Además, ayuda a generar consenso en torno a la solución propuesta o a ajustar el modelo aprovechando el conocimiento colectivo. En la práctica, se ha comprobado que esto se puede lograr mediante el uso de la media geométrica de los juicios individuales (Nantes, 2019).

$$\text{Media geométrica} = \sqrt[N]{x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot \dots \cdot x_N} \quad (\text{Ec. 2})$$

## 2.6 Base matemática de AHP.

La forma de analizar los diferentes elementos que forman parte de un problema de decisión es hacer comparaciones binarias de elementos del mismo nivel de la jerarquía, dos por dos, frente a un criterio dado, combinando el pensamiento lógico con la experiencia. La matriz presenta el marco más eficaz para realizar tales comparaciones (Akhrouf, 2023).

### 2.6.1 Matriz de comparación por pares.

Cuando se quiere decidir entre diferentes alternativas el cerebro humano se encuentra en dificultades para poder decidir. Una forma eficaz de superar este problema es utilizar comparaciones por pares. La razón para hacerlo es que esto permite al que toma la decisión considerar dos alternativas a la vez. Por lo tanto, la estrategia es la de descomponer el problema original en muchos subproblemas más pequeños y abordar estos últimos (Brunelli, 2015). Formalmente, las comparaciones por pares se recopilan en una matriz de comparación por pares,  $\mathbf{A} = (\alpha_{ij})_{n \times n}$ , estructurado de la siguiente manera:



$$A = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \dots & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \dots & \alpha_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} & \dots & \alpha_{nn} \end{pmatrix} \quad (\text{Ec. 3})$$

donde  $\alpha_{ij} > 0$  expresa el grado de preferencia de  $x_i$  a  $x_j$  ( $x$  representa los criterios, subcriterios o las alternativas que se están comparando). Más precisamente, según la teoría de Saaty, se supone que cada entrada se aproxima a la relación entre dos pesos:

$$\alpha_{ij} \approx \frac{w_i}{w_j} \quad \forall i, j. \quad (\text{Ec. 4})$$

Esto significa que, si las entradas representan exactamente proporciones entre pesos, entonces la matriz  $A$  se puede expresar de la siguiente forma:

$$A = (w_i / w_j)_{n \times n} = \begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{pmatrix} \quad (\text{Ec. 5})$$

Se debe tener en cuenta que la ecuación 4 y 5 presentan una condición de reciprocidad multiplicativa  $\alpha_{ij} = 1/\alpha_{ji} \quad \forall i, j$  se sostiene y  $A$  puede ser simplificada y reescrita de la siguiente manera:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & \alpha_{12} & \dots & \alpha_{1n} \\ 1/\alpha_{12} & 1 & \dots & \alpha_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/\alpha_{1n} & 1/\alpha_{2n} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (\text{Ec. 6})$$

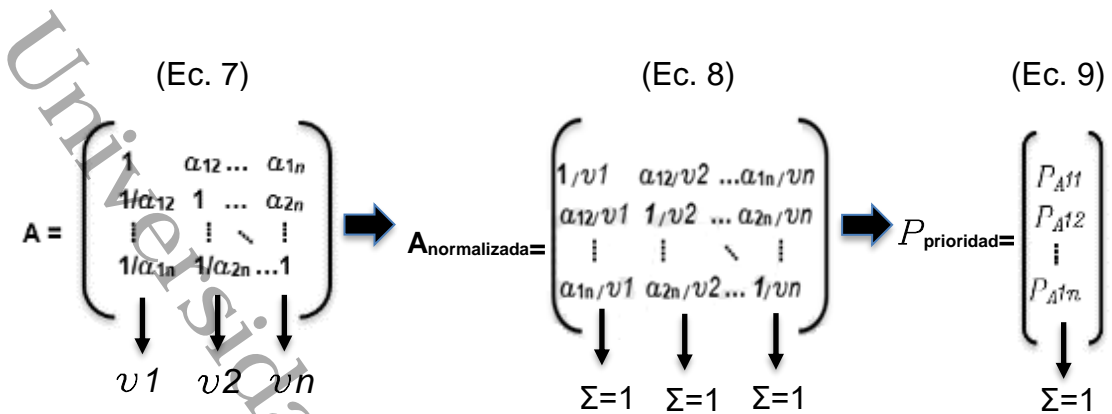


Las ecuaciones anteriores de la metodología AHP se respaldan de manera teórica con los siguientes axiomas (Bhushan and Rai,2004):

- Axioma 1: El tomador de decisiones puede proporcionar comparaciones pareadas  $\alpha_{ij}$  de dos alternativas  $i$  y  $j$  correspondientes a un criterio/subcriterio en una escala de proporción que es recíproca, es decir;  $\alpha_{ji} = 1/\alpha_{ij}$ .
- Axioma 2: Quien toma las decisiones nunca debe considerar que una alternativa sea infinitamente mejor que otra correspondiente a un criterio, es decir,  $\alpha_{ji} \neq \infty$ .
- Axioma 3: El problema de decisión se puede formular como una jerarquía.
- Axioma 4. Todos los criterios/subcriterios que presentan algún impacto en el problema dado, y todas las alternativas relevantes, se representan en la jerarquía de una sola vez.

### 2.6.1 Método de columnas normalizadas.

En la literatura se han propuesto numerosos métodos alternativos para calcular el vector de prioridad. De todos estos estudios se desprende que, además del método del vector propio y el de la media geométrica, otro método ha ganado cierta popularidad, éste método es el de *columnas normalizadas*, el cual requiere la normalización de todas las columnas de  $\mathbf{A}$ , de modo que los elementos sumen 1 antes de tomar las medias aritméticas de las filas; y de esa manera posteriormente normalizarlas para que sumen 1 y finalmente se obtengan los pesos  $P_{A11}, \dots, P_{A1n}$  (Brunelli, 2015).



### 2.6.2 Método del vector propio.

El método más popular para estimar un vector de prioridad es el propuesto por el propio Saaty, según el cual el vector de prioridad debería ser el vector propio principal de  $A$ . En álgebra lineal se le suele llamar vector propio de Perron-Frobenius, a partir del teorema homónimo. El método se deriva de la siguiente observación; tomando una matriz  $A$  cuyas entradas se obtienen exactamente como ratios entre pesos y multiplicándola por  $w$  se obtiene

$$Aw = \begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} nw_1 \\ \vdots \\ nw_n \end{pmatrix} = nw. \quad (\text{Ec. 10})$$

Del álgebra lineal, sabemos que una formulación del tipo  $Aw = nw$  implica que  $n$  y  $w$  son un valor propio y un vector propio de  $A$ , respectivamente. Además, si se sabe que el otro valor propio de  $A$  es 0 y tiene multiplicidad  $(n-1)$ , entonces sabemos que  $n$  es el valor propio más grande de  $A$ . Por lo tanto, si las entradas de  $A$  son proporciones entre pesos, entonces el vector de pesos es el vector propio de  $A$  asociado con el valor propio  $n$ . Saaty propuso extender este resultado a todas las matrices de comparación por pares reemplazando  $n$  con el valor propio máximo más genérico de  $A$ . Es decir, el vector  $w$  puede obtenerse a partir de cualquier matriz de comparación por pares  $A$  como la solución del siguiente sistema de ecuaciones:





$$\begin{cases} A\mathbf{w} = \lambda_{\max}\mathbf{w} \\ \mathbf{w}^T\mathbf{1} = 1 \end{cases} \quad (\text{Ec. 11})$$

donde  $\lambda_{\max}$  es el valor propio máximo de  $\mathbf{A}$  y  $\mathbf{1} = (1, \dots, 1)^T$ . Aunque este problema se puede resolver fácilmente con software matemático y también con hojas de cálculo, su interpretación sigue siendo complicada para los profesionales (Brunelli, 2015).

La matriz  $\mathbf{A}$  es consistente solamente si  $\lambda_{\max} = n$  y siempre que tengamos  $\lambda_{\max} \geq n$ . Es interesante notar que  $(\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$  es la varianza del error incurrida en la estimación  $\mathbf{a}_{ij}$ . Lo anterior puede ser mostrado escribiendo lo siguiente;  $\mathbf{a}_{ij} = (\mathbf{w}_i / \mathbf{w}_j) \mathcal{E}_{ij}$ ,  $\mathcal{E}_{ij} > 0$ ,  $\mathcal{E}_{ij} = 1 + \delta_{ij}$ ,  $\delta_{ij} > -1$ , y sustituyendo en la expresión por  $\lambda_{\max}$ . Es  $\delta_{ij}$  que nos concierne como el componente del error y su valor  $|\delta_{ij}| < 1$  para un estimador imparcial. La medida de inconsistencia puede ser usada exitosamente mejorar la consistencia de los juicios. El índice de consistencia de una matriz de comparaciones está dado por la ecuación:

$$\text{C.I.} = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (\text{Ec. 12})$$

El radio de consistencia (C.R.) es obtenida comparando la C.I. con un apropiado número de los siguientes conjuntos de números, ver Tabla 7. Cada número representa un Índice de Consistencia Aleatorio (A.C.I.) promedio, derivado de un muestra de matrices recíprocas generadas aleatoriamente utilizando la escala  $1/9, 1/8, \dots, 1, \dots, 8, 9$ . Otra manera de obtener el A.C.I. es con la (ecuación 13). Posteriormente se calcula la relación de consistencia (ecuación 14). Si es menos que 0.10, se debería estudiar el problema y revisar los juicios (Saaty and Vargas, 2012). Finalmente, se determinó el puntaje total de cada alternativa a través de la evaluación final (Ecuación 15). Este cálculo se aplicó para cada criterio de la estructura jerárquica, avanzando hasta alcanzar el nivel del objetivo. La metodología AHP incluye un índice de consistencia para una jerarquía completa. Una inconsistencia de 10 por ciento o menos implica que el ajuste es pequeño en comparación con los valores



reales de las entradas del vector propio. Limitar el número de elementos en las comparaciones ayuda a los evaluadores a realizar juicios más coherentes y confiables, lo cual es crucial para obtener resultados significativos en la metodología AHP.

$$\text{A.C.I.} = \frac{1.98 (n-2)}{n} \quad (\text{Ec. 13})$$

Donde:

n: representa la dimensión de la matriz de comparación por pares

$$\text{RC} = \frac{C.I.}{A.C.I.} \quad (\text{Ec. 14})$$

$$V_j (A_k) = \sum_{i=1}^q p_i * a_{ki} \quad (\text{Ec. 15})$$

Donde  $V_j$ : evaluación de la alternativa  $A_k$ ,  $A_k$ : alternativa  $k$ ,  $k=1, \dots, n$ ,  $p_i$ : ponderaciones de prioridad de los criterios o subcriterios,  $i=1, \dots, q$ ,  $a_{ki}$ : valor de la alternativa  $A_k$  evaluada con respecto a los criterios

El cálculo anterior permite asignar un peso a cada alternativa en función del objetivo global. Para ello, el método AHP integra todos los juicios u opiniones y, según los pesos de importancia asignados, se puede clasificar las alternativas de mejor a peor dentro de la lista establecida (Díaz,2021).

**Tabla 7**

*Índices de consistencia aleatorio para cada número de criterios o alternativas*

No. de criterios o alternativas (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice de Consistencia Aleatorio (A.C.I.)	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

*Nota:* Tabla de elaboración propia



## CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

En esta sección se presenta la descripción de la metodología de investigación, y así también el plan de acción de la metodología aplicada para el desarrollo del presente trabajo de tesis.

### 3.1 Dispositivos e instrumentos

- Una computadora laptop marca DELL, equipada con un procesador AMD Ryzen 5 2500U con Radeon Vega Mobile Gfx 2.00 GHz, memoria RAM de 8.00 GB y un sistema operativo Windows 10 Home Single de 64 bits.
- Paquetería Microsoft Office Professional.
- Memoria USB de 64 Gb, para almacenamiento y respaldo de la información.
- Uso de internet, así como de plataformas digitales para la realización de videollamadas con los involucrados en el presente trabajo.
- Uso de impresora y papel para impresión de encuestas y la tesis.

### 3.2 Tipo de investigación

El enfoque de la investigación es aplicado, ya que al aplicarse en problemas específicos, el AHP busca describir una situación concreta y proporcionar una solución práctica. Tiene un enfoque cualitativo-cuantitativo; cualitativa debido a que por medio de diferentes opiniones de los expertos se realizó una jerarquía que cuenta con criterios, subcriterios y alternativas, así también se requirió de los puntos de vista de cada experto para responder encuestas; es cuantitativo ya que el AHP utiliza matrices de comparación por pares en las que los tomadores de decisiones valoran cada criterio o alternativa en una escala (por ejemplo, del 1 al 9). A partir de estas valoraciones, se obtienen



valores numéricos que representan la importancia relativa de cada criterio y alternativa. Esto permite convertir juicios cualitativos (como "este criterio es más importante que aquel") en datos cuantificables, lo que facilita la interpretación y la comparación. El AHP es descriptiva debido a que ayuda a describir la importancia de cada criterio en este contexto específico y a tomar una decisión informada basada en los resultados.

### **3.3 Identificación de las variables**

Las variables que corresponden a este trabajo son las siguientes:

- **Criterios:** es una variable cualitativa nominal. Representa las características principales en la selección de las alternativas de mantenimiento correctivo.
- **Subcriterios:** es una variable cualitativa nominal. Son características más específicas y forman parte en la selección de las alternativas de mantenimiento correctivo.
- **Alternativas:** es una variable cualitativa nominal. Representa una de las posibles opciones de decisión entre las que debes elegir para alcanzar el objetivo planteado, como en este caso formar un equipo de trabajo que realice actividades de mantenimiento correctivo dentro de la TMDB.

### **3.4 Población y muestra**

#### **3.4.1. Característica de la población**

La población objeto de estudio de esta investigación se encuentra compuesta por personal especialista en integridad mecánica y de mantenimiento, quienes laboraron en el área de proceso ubicado dentro de la TMDB y conocen las condiciones en las que se encuentra esta última.



### 3.4.2. Delimitación de la población y muestra

De este modo, la población estudiada en la investigación consistió en 3 trabajadores actualmente activos en sus funciones relacionadas con la integridad mecánica, los cuales se encuentran laborando y están distribuidos en diferentes partes del estado de Tabasco.

### 3.5 Plan de acción

El plan de acción se desarrollará en tres etapas como muestra la Figura 16. En la parte final del plan de acción se comprobarán los resultados de la metodología, esta actividad se realizará en conjunto con los expertos, en donde se visualizará de manera cuantitativa los resultados que se obtengan.

En el flujograma se muestran los pasos requeridos para realizar la metodología; la metodología consta de 3 etapas, las cuales presentan diferentes tareas.

1.- Realizar la metodología:

- Revisión documental
- Planteamiento del problema
- Seleccionar a los expertos en mantenimiento correctivo.
- Planteamiento de los criterios a considerar para la toma de las decisiones.

2.- Aplicar la metodología:

- Realizar la estructura jerárquica (modelado).
- Realizar entrevista a expertos.
- Construir las matrices de comparación pareada.
- Construir las matrices de comparación normalizada.
- Efectuar prueba de consistencia.



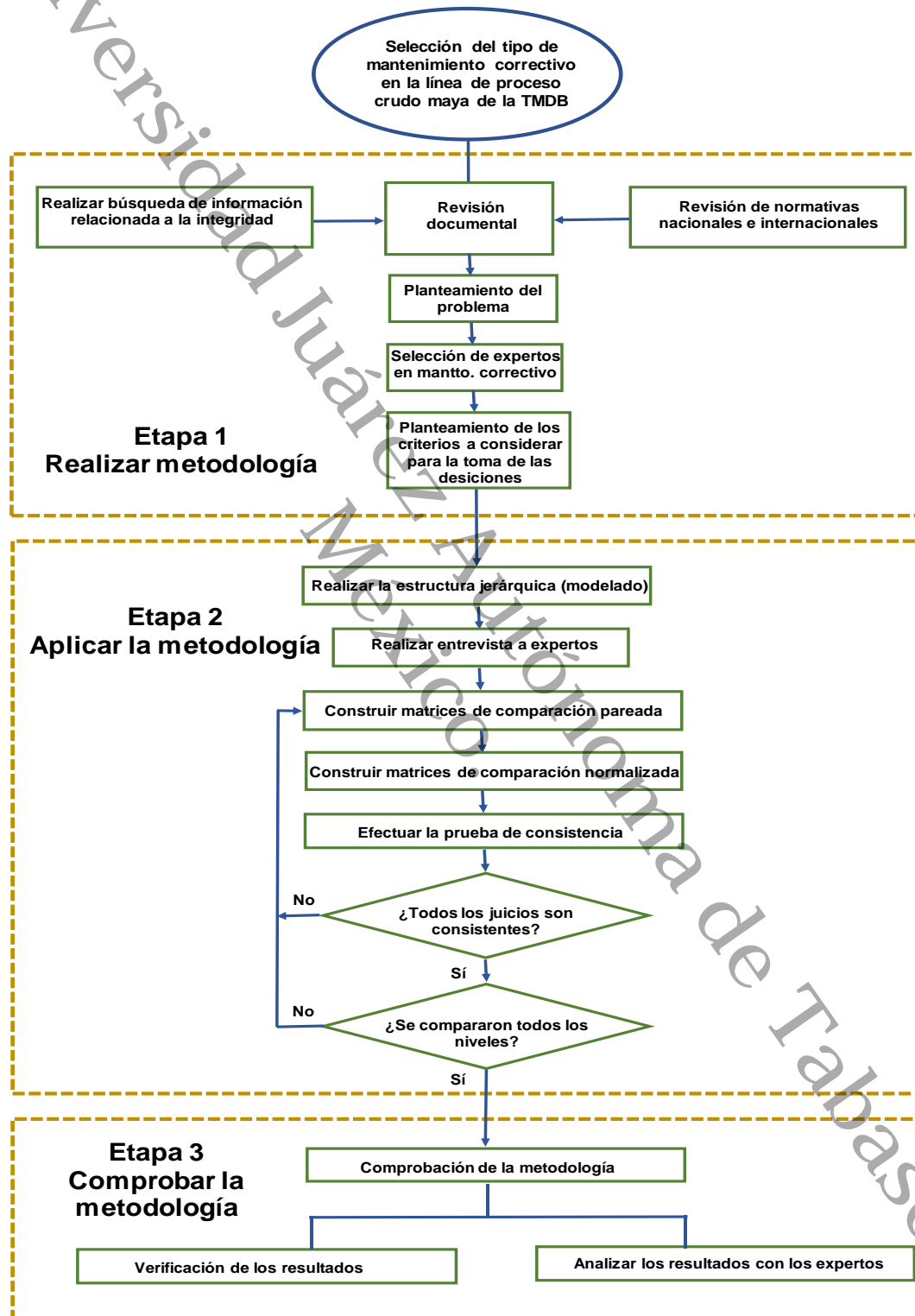
### 3.- Comprobar la metodología:

- Verificación de los resultados.
- Analizar los resultados con los expertos

Una de las actividades esenciales que se debe realizar de manera considerable es la elección de los criterios, los cuales nos ayudarán a la toma de las decisiones que sean más convenientes. La segunda actividad para tomar en cuenta es realizar la encuesta a los expertos relacionados con las actividades de mantenimiento correctivo, con los resultados que se obtengan de la encuesta podremos construir la matriz de comparación pareada.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

Figura 16  
Flujograma de la metodología AHP



Nota: Figura de elaboración propia

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS

### 4.1 Realización del plan de acción

#### 4.1.1. Revisión documental

En la Figura 17, podemos observar la primera etapa que es requerida para la realización de la metodología. Como parte de la primera etapa se requiere una revisión documental de los reportes de integridad mecánica de la línea de proceso crudo maya, lo anterior para observar el tipo de daño que presenta la tubería. Así también se requirió de la revisión de normas nacionales y estándares internacionales que justifiquen los tipos de mantenimientos correctivos que se aplican dentro de la TMDB.

#### Figura 17

Elementos que conforman la etapa 1 de la metodología AHP



Nota: Figura de elaboración propia

Como norma nacional en el territorio mexicano y de cumplimiento obligatorio tenemos a la NOM-009-ASEA-2017; entre los estándares internacionales se tienen API 570, API 571, API 1160, PRCI, ASME B31.8S y ASME PCC-2.

#### 4.1.2. Planteamiento del problema

A través de la revisión documental se logró visualizar las condiciones en las que se encuentra la tubería de proceso crudo maya. Se encontró que la tubería ya ha sido intervenida con algunos métodos de reparación y se ha





logrado contener las pérdidas de material y/o indicaciones de la tubería, eso habla de la eficacia de los métodos aplicados en la TMDB. Por lo antes mencionado personal experto en mantenimiento correctivo se encargará de definir las alternativas de reparación que serán consideradas para el análisis dentro de este trabajo de tesis.

#### 4.1.3. Selección de los expertos en mantenimiento correctivo

Se seleccionó al personal experto en materia de integridad mecánica, tomando en cuenta que el personal elegido haya trabajado en la parte de mantenimiento correctivo dentro de la TMDB. Fueron 2 personas que aceptaron apoyar en la realización de este trabajo. Se debe tomar en cuenta que para la realización de la actividad se necesita a más de un experto para validar dicho análisis. En la Tabla 8 se muestran a los expertos que están involucrados en este trabajo.

**Tabla 8**

*Personal que formó parte de las actividades del estudio de caso*

Número	Nombre	Cargo
1	Jesús Báez Montero	Gerente de gestión de activos
2	Fabian Jiménez Amado	Ingeniero en integridad mecánica

*Nota:* Tabla de elaboración propia

#### 4.1.4. Planteamiento de los criterios

Los puntos más importante se identificaron, se acordaron y definieron junto al grupo de expertos; por lo cual planteamiento quedó de la siguiente forma: el objetivo, nueve criterios y veintitrés subcriterios a comparar, ver la Tabla 9. Estos elementos son clave, debido a que estos últimos presentaron una ponderación que nos permitió jerarquizar los resultados del presente trabajo;



y así también contribuyeron a facilitar la toma de decisiones para elegir la mejor alternativa.

**Tabla 9**

*Objetivo, criterios y subcriterios a tomar en cuenta para la metodología AHP*

Nivel 1: <b>Objetivo</b>			
Selección del tipo de mantenimiento correctivo en la línea de proceso crudo maya de la TMDB			
<b>Criterio</b>	<b>Subcriterio</b>	<b>Criterio</b>	<b>Subcriterio</b>
Seguridad durante la instalación de la reparación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Seguridad del personal durante la instalación</li> <li>- Seguridad en el área donde se instalará la reparación</li> </ul>	Amenazas dependientes del tiempo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Daños por corrosión interna</li> <li>- Daños por corrosión externa</li> <li>- Defecto por erosión</li> <li>- Defecto por agrietamiento</li> </ul>
Costo económico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Costo de los materiales</li> <li>- Costo de la mano de obra</li> </ul>	Localización de la tubería (accesibilidad)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tubería enterrada</li> <li>- Tubería superficial</li> </ul>
Disponibilidad y capacitación del personal técnico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conocimiento técnico requerido del personal</li> <li>- Tiempo de aprendizaje de la técnica</li> </ul>	Características operacionales de la tubería	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tubería operando</li> <li>- Tubería con disponibilidad operativa</li> </ul>
Características del defecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Defecto no pasante</li> <li>- Defecto pasante</li> </ul>	Características físicas-mecánicas de la tubería y/o accesorios	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Espesor y diámetro nominal de la tubería</li> <li>- Soldadura circunferencial y longitudinal de la tubería</li> <li>- Elemento recto</li> <li>- Elemento curvo</li> </ul>
Amenazas independientes del tiempo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Defectos por diseño, fabricación y construcción</li> <li>- Defectos por daños de terceros, peligros naturales y estructurales</li> <li>- Daños por operaciones incorrectas</li> </ul>		

*Nota:* Tabla de elaboración propia

Con respecto a las alternativas que plantearon los expertos se muestra en la Tabla 10.

**Tabla 10**

*Alternativas propuestas para la metodología AHP*

No.	Alternativas
1	Grapa metálica
2	Cincho kevlar
3	Parches o medias cañas
4	Envolverte metálica
5	Envolverte no metálica
6	Reemplazo de la tubería

*Nota:* Tabla de elaboración propia

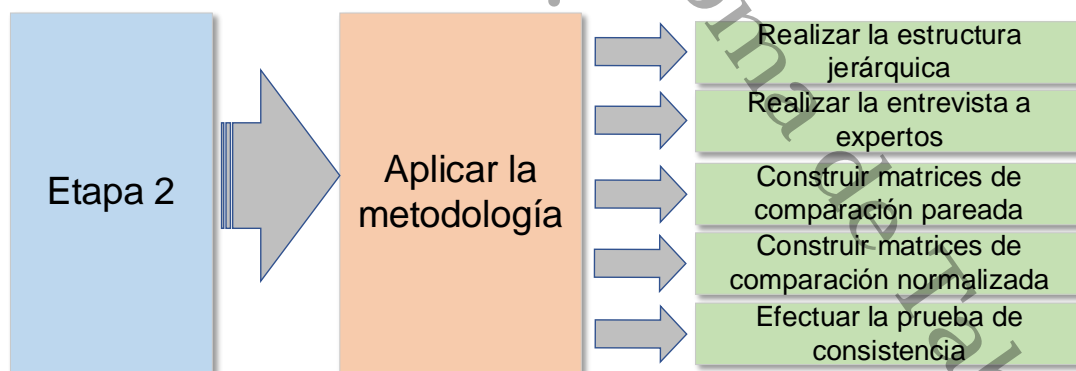
## 4.2 Aplicar la metodología

### 4.2.1. Realizar la estructura jerárquica (modelado)

La etapa 2 consta de 5 actividades requeridos para la aplicación de la metodología en la Figura 18 se muestran esos pasos.

**Figura 18**

*Elementos que conforman la etapa 2 de la metodología AHP*



*Nota:* Figura de elaboración propia

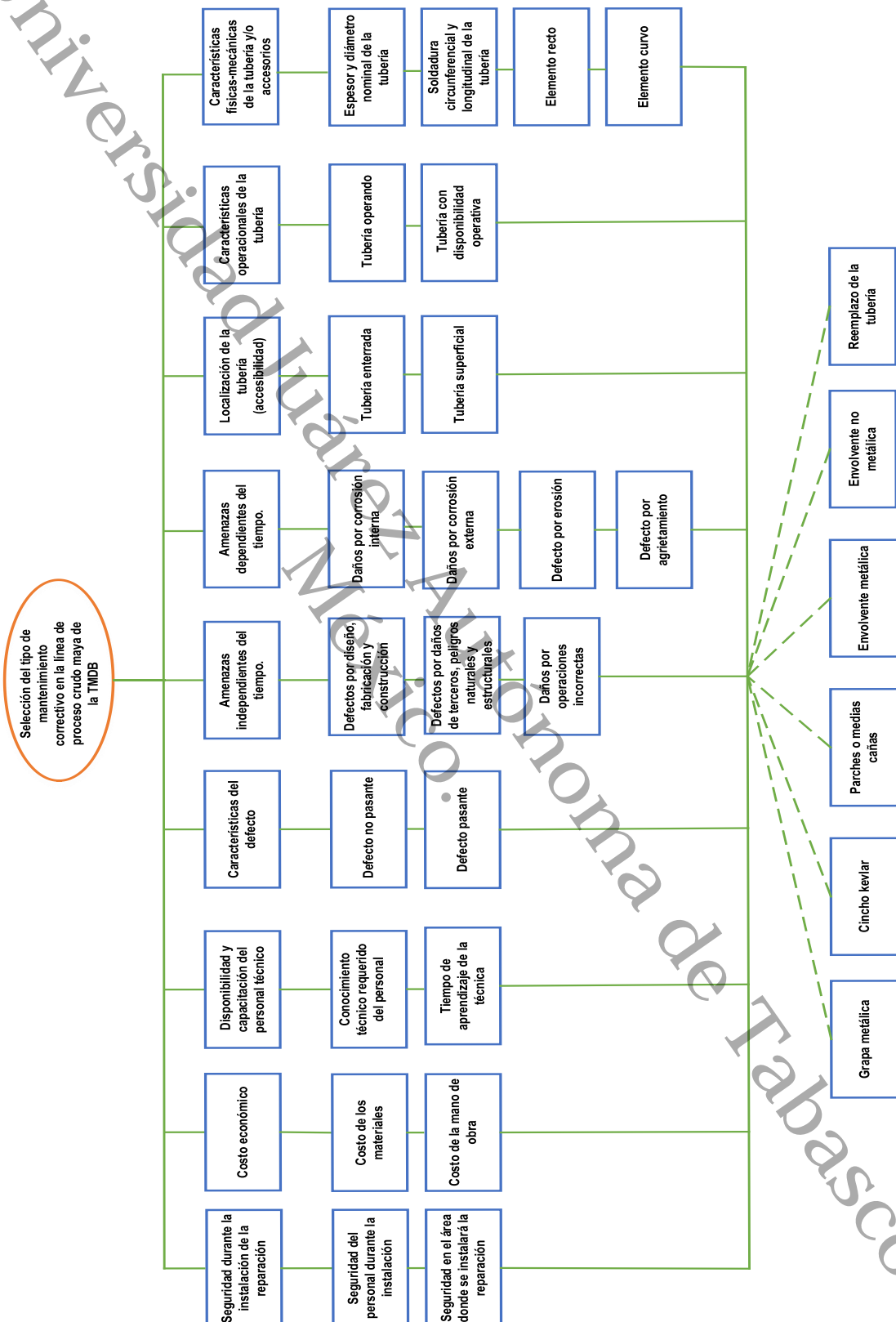
Al tener el objetivo, criterios, subcriterios y alternativas definidas por los expertos y los cuales son cruciales al cumplimiento del estudio de caso, estas para su mejor visualización se representan en una estructura jerárquica la cual nos muestra los 4 niveles que conforman la metodología.



En la Figura 19 se muestra se muestra en orden jerárquico los niveles que contienen los principales criterios que fueron más relevantes para los expertos y que permitirá el cumplimiento del objetivo para este trabajo.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

**Figura 19**  
*Esquema jerárquico de la metodología AHP*



Nota: Figura de elaboración propia



#### 4.2.2. Realizar la entrevista a los expertos

Antes de que se realizara la encuesta a los expertos, se hizo una pequeña prueba cualitativa de jerarquización, con la cual los resultados que se obtuvieron aquí se compararon con los resultados finales de la encuesta; lo anterior para mostrar la ventaja del uso de la metodología Proceso Analítico Jerárquico (AHP), ver Tabla 11.

La tabla llevó las siguientes instrucciones: Ordene del 1 al 6 los tipos de reparación que aparecen en la tabla, siendo el número 1 el que represente más importancia para usted y que el número 6 represente el menos importante. Coloque los números debajo de la casilla que dice: Jerarquización cualitativa (importancia). Tome en cuenta que el análisis se basa en una tubería de proceso (crudo maya) que se encuentra dentro de la Terminal Marítima Dos Bocas (TMDB). En el anexo 4 se pueden visualizar la respuesta de los dos expertos.

**Tabla 11** *Tabla de jerarquización cualitativa*

Tipo de reparación	Jerarquización cualitativa (importancia)
Grapa metálica	
Cincho kevlar	
Parches o medias cañas	
Envolvente metálica	
Envolvente no metálica	
Reemplazo de la tubería	

*Nota:* Tabla de elaboración propia

Posteriormente se entregó a los expertos una hoja de instrucciones, la cual los ayudó a responder las encuestas de manera clara, en el anexo 5 se encuentra la hoja de instrucción.



En el anexo 6 se pueden observar las respuestas brindadas por los expertos. Las respuestas permiten evaluar el valor de cada criterio que es comparado desde el punto de vista de cada experto, los valores serán introducidos en una tabla realizada en el programa Excel para así iniciar los cálculos. Las respuestas para cada experto se pueden resumir en una tabla de comparación pareada que será mostrada en el subcapítulo 4.2.3.

### 4.2.3. Construir matrices de comparación pareada

Para la construcción de las matrices que permitirán descargar los resultados obtenidos de las encuestas realizada a los dos expertos, se utilizó el programa Excel, quedando la matriz de la siguiente forma (de la ecuación 3):

- Para el experto número 1 se obtuvo el siguiente resultado, ver Tabla 12.

**Tabla 12**

*Matriz pareada con resultados del experto 1*

Matriz de comparación pareada de criterios-criterios									
Criterios	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1	1	3	4	4	3	4	4	4	4
C2	1/3	1	1/4	1/4	1/3	1/3	1/3	1/4	1/3
C3	1/4	4	1	3	1	3	1	1/3	1/3
C4	1/4	4	1/3	1	3	1	1	1/4	1
C5	1/3	3	1	1/3	1	1	1/3	1/3	1/3
C6	1/4	3	1/3	1	1	1	1/3	1/4	1/3
C7	1/4	3	1	1	3	3	1	1/3	1/3
C8	1/4	4	3	4	3	4	3	1	1
C9	1/4	3	3	1	3	3	3	1	1

*Nota:* Tabla de elaboración propia



Donde C1 representa al criterio (Seguridad durante la instalación de la reparación), C2 (Costo económico), C3 (Disponibilidad y capacitación del personal técnico), C4 (Característica del defecto), C5 (Amenazas independientes del tiempo), C6 (Amenazas dependientes del tiempo), C7 (Localización de la tubería), C8 (Características operaciones de la tubería), C9 (Características físicas-mecánicas de la tubería y/o accesorios).

- Para el experto número 2 se obtuvo el siguiente resultado, ver Tabla 13.

**Tabla 13**

*Matriz pareada con resultados del experto 2*

Matriz de comparación pareada de criterios-criterios									
Criterios	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1	1	2	1/2	1/2	2	1/2	2	2	1
C2	1/2	1	2	1/2	1/2	2	1	2	1/2
C3	2	1/2	1	1/2	2	2	1	1/2	1/2
C4	2	2	2	1	2	2	1	1/2	2
C5	1/2	2	1/2	1/2	1	2	1/2	1	1/2
C6	2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1	1/2	1/2
C7	1/2	1	1	1	2	1	1	2	1
C8	1/2	1/2	2	2	1	2	1/2	1	2
C9	1	2	2	1/2	2	2	1	1/2	1

*Nota:* Tabla de elaboración propia

#### 4.2.4. Construir matrices de comparación normalizada

Al tener los datos en la matriz pareada se procedió a realizar el normalizado de cada matriz pareada. El primer paso es sumar cada columna de la matriz pareada (ecuación 7).





- Suma de la columna de la matriz pareada del experto número 1, el cual presentó el siguiente resultado, ver Tabla 14.

**Tabla 14.**  
Suma de las columnas de la matriz del experto 1

Matriz de comparación pareada de criterios-criterios									
Criterios	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1	1	3	4	4	3	4	4	4	4
C2	1/3	1	1/4	1/4	1/3	1/3	1/3	1/4	1/3
C3	1/4	4	1	3	1	3	1	1/3	1/3
C4	1/4	4	1/3	1	3	1	1	1/4	1
C5	1/3	3	1	1/3	1	1	1/3	1/3	1/3
C6	1/4	3	1/3	1	1	1	1/3	1/4	1/3
C7	1/4	3	1	1	3	3	1	1/3	1/3
C8	1/4	4	3	4	3	4	3	1	1
C9	1/4	3	3	1	3	3	3	1	1
Total	3.17	28.00	13.92	15.58	18.33	20.33	14.00	7.75	8.67

Nota: Tabla de elaboración propia

- Suma de la columna de la matriz pareada del experto número 2 en el cual se obtuvo el siguiente resultado, ver Tabla 15.



**Tabla 15**

Suma de las columnas de la matriz del experto 2

Matriz de comparación pareada de criterios-criterios									
Criterios	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1	1	2	1/2	1/2	2	1/2	2	2	1
C2	1/2	1	2	1/2	1/2	2	1	2	1/2
C3	2	1/2	1	1/2	2	2	1	1/2	1/2
C4	2	2	2	1	2	2	1	1/2	2
C5	1/2	2	1/2	1/2	1	2	1/2	1	1/2
C6	2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1	1/2	1/2
C7	1/2	1	1	1	2	1	1	2	1
C8	1/2	1/2	2	2	1	2	1/2	1	2
C9	1	2	2	1/2	2	2	1	1/2	1
Total	10.00	11.50	11.50	7.00	13.00	14.50	9.00	10.00	9.00

Nota: Tabla de elaboración propia

El segundo paso es normalizar (sumen 1) todas las columnas de la matriz pareada, esto se logra dividiendo cada elemento de la matriz pareada entre el total de cada columna (ecuación 8). En el último paso se obtuvieron los pesos de cada criterio, estos se obtuvieron tomando la media aritmética de las filas de la matriz normalizada, para que finalmente también se normalicen (sumen 1), lo anterior se describe en la ecuación 9.

- Se normaliza la matriz pareada del experto 1, y posteriormente se calculan los pesos de cada criterio, ver Tabla 16.



**Tabla 16**

Normalización de la matriz pareada y cálculo de los pesos del experto 1

Matriz normalizada										
Criterios	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	Vector prioridad (pesos)
C1	0.3158	0.1071	0.2874	0.2567	0.1636	0.1967	0.2857	0.5161	0.4615	0.2879
C2	0.1053	0.0357	0.0180	0.0160	0.0182	0.0164	0.0238	0.0323	0.0385	0.0338
C3	0.0789	0.1429	0.0719	0.1925	0.0545	0.1475	0.0714	0.0430	0.0385	0.0935
C4	0.0789	0.1429	0.0240	0.0642	0.1636	0.0492	0.0714	0.0323	0.1154	0.0824
C5	0.1053	0.1071	0.0719	0.0214	0.0545	0.0492	0.0238	0.0430	0.0385	0.0572
C6	0.0789	0.1071	0.0240	0.0642	0.0545	0.0492	0.0238	0.0323	0.0385	0.0525
C7	0.0789	0.1071	0.0719	0.0642	0.1636	0.1475	0.0714	0.0430	0.0385	0.0874
C8	0.0789	0.1429	0.2156	0.2567	0.1636	0.1967	0.2143	0.1290	0.1154	0.1681
C9	0.0789	0.1071	0.2156	0.0642	0.1636	0.1475	0.2143	0.1290	0.1154	0.1373
Total	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Nota: Tabla de elaboración propia

- Se normaliza la matriz pareada del experto 2, y se calculan los pesos de cada criterio, ver Tabla 17.



**Tabla 17**

Normalización de la matriz pareada y cálculo de los pesos del experto 2

Matriz normalizada										
Criterios	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	Vector prioridad (pesos)
C1	0.1000	0.1739	0.0435	0.0714	0.1538	0.0345	0.2222	0.2000	0.1111	0.1234
C2	0.0500	0.0870	0.1739	0.0714	0.0385	0.1379	0.1111	0.2000	0.0556	0.1028
C3	0.2000	0.0435	0.0870	0.0714	0.1538	0.1379	0.1111	0.0500	0.0556	0.1011
C4	0.2000	0.1739	0.1739	0.1429	0.1538	0.1379	0.1111	0.0500	0.2222	0.1518
C5	0.0500	0.1739	0.0435	0.0714	0.0769	0.1379	0.0556	0.1000	0.0556	0.0850
C6	0.2000	0.0435	0.0435	0.0714	0.0385	0.0690	0.1111	0.0500	0.0556	0.0758
C7	0.0500	0.0870	0.0870	0.1429	0.1538	0.0690	0.1111	0.2000	0.1111	0.1124
C8	0.0500	0.0435	0.1739	0.2857	0.0769	0.1379	0.0556	0.1000	0.2222	0.1273
C9	0.1000	0.1739	0.1739	0.0714	0.1538	0.1379	0.1111	0.0500	0.1111	0.1204
Total	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Nota: Tabla de elaboración propia

#### 4.2.5. Efectuar la prueba de consistencia

Para la obtención de la relación de consistencia en primer lugar se tiene que calcular la lambda máxima ( $\lambda_{\max}$ ) de la siguiente manera:

- Se debió encontrar  $\lambda$  con los datos del primer experto (ecuación 10), realizando la multiplicación de la matriz pareada por el vector prioridad (pesos), ver Tabla 18.



**Tabla 18**

*Multiplicación de matriz pareada con los pesos para obtener  $\lambda$  del experto 1*

Matriz normalizada										Vector prioridad (pesos)	A ( $\lambda$ )
Criterios	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9		
C1	0.3158	0.1071	0.2874	0.2567	0.1636	0.1967	0.2857	0.5161	0.4615	0.2879	3.0454
C2	0.1053	0.0357	0.0180	0.0160	0.0182	0.0164	0.0238	0.0323	0.0385	0.0338	0.3272
C3	0.0789	0.1429	0.0719	0.1925	0.0545	0.1475	0.0714	0.0430	0.0385	0.0935	0.9517
C4	0.0789	0.1429	0.0240	0.0642	0.1636	0.0492	0.0714	0.0323	0.1154	0.0824	0.8114
C5	0.1053	0.1071	0.0719	0.0214	0.0545	0.0492	0.0238	0.0430	0.0385	0.0572	0.5589
C6	0.0789	0.1071	0.0240	0.0642	0.0545	0.0492	0.0238	0.0323	0.0385	0.0525	0.5135
C7	0.0789	0.1071	0.0719	0.0642	0.1636	0.1475	0.0714	0.0430	0.0385	0.0874	0.8674
C8	0.0789	0.1429	0.2156	0.2567	0.1636	0.1967	0.2143	0.1290	0.1154	0.1681	1.7662
C9	0.0789	0.1071	0.2156	0.0642	0.1636	0.1475	0.2143	0.1290	0.1154	0.1373	1.4327
Total	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10.2744

Nota: Tabla de elaboración propia

- Se encontró  $\lambda$  con los datos del segundo experto, ver Tabla 19.

**Tabla 19**

*Multiplicación de matriz pareada con los pesos para obtener  $\lambda$  del experto 2*

Matriz normalizada										Vector prioridad (pesos)	A ( $\lambda$ )
Criterios	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9		
C1	0.1000	0.1739	0.0435	0.0714	0.1538	0.0345	0.2222	0.2000	0.1111	0.1234	1.2632
C2	0.0500	0.0870	0.1739	0.0714	0.0385	0.1379	0.1111	0.2000	0.0556	0.1028	1.0640
C3	0.2000	0.0435	0.0870	0.0714	0.1538	0.1379	0.1111	0.0500	0.0556	0.1011	1.0331
C4	0.2000	0.1739	0.1739	0.1429	0.1538	0.1379	0.1111	0.0500	0.2222	0.1518	1.5449
C5	0.0500	0.1739	0.0435	0.0714	0.0769	0.1379	0.0556	0.1000	0.0556	0.0850	0.8741
C6	0.2000	0.0435	0.0435	0.0714	0.0385	0.0690	0.1111	0.0500	0.0556	0.0758	0.7792
C7	0.0500	0.0870	0.0870	0.1429	0.1538	0.0690	0.1111	0.2000	0.1111	0.1124	1.1506
C8	0.0500	0.0435	0.1739	0.2857	0.0769	0.1379	0.0556	0.1000	0.2222	0.1273	1.2798
C9	0.1000	0.1739	0.1739	0.0714	0.1538	0.1379	0.1111	0.0500	0.1111	0.1204	1.2252
Total	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10.21406

Nota: Tabla de elaboración propia



La suma que presentó la columna de lambda para cada experto (10.2744 y 10.2140 respectivamente), se puede tomar como el primer acercamiento al valor de lambda máxima ( $\lambda_{\max}$ ). Finalmente para el cálculo de  $\lambda_{\max}$ , se dividirá el valor de cada elemento de la columna lambda entre cada elemento que forman los pesos, el resultado que se obtuvo del primer experto fue el siguiente, ver Tabla 20.

**Tabla 20**

*División de los elementos de la columna  $\lambda$  entre la columna de los pesos del experto 1*

Vector prioridad (pesos)	A ( $\lambda$ )	A/PESO ( $\lambda_{\max}$ )
0.2879	3.0454	10.5794
0.0338	0.3272	9.6837
0.0935	0.9517	10.1826
0.0824	0.8114	9.8446
0.0572	0.5589	9.7730
0.0525	0.5135	9.7817
0.0874	0.8674	9.9298
0.1681	1.7662	10.5055
0.1373	1.4327	10.4345
1	10.2744	10.0794

*Nota:* Tabla de elaboración propia

El resultado que se obtuvo para el segundo experto fue el siguiente, ver Tabla 21.



**Tabla 21**

*División de los elementos de la columna  $\lambda$  entre la columna de los pesos del experto 2*

Vector prioridad (pesos)	A ( $\lambda$ )	A/PESO ( $\lambda_{max}$ )
0.1234	1.2632	10.2373
0.1028	1.0640	10.3488
0.1011	1.0331	10.2138
0.1518	1.5449	10.1800
0.0850	0.8741	10.2866
0.0758	0.7792	10.2756
0.1124	1.1506	10.2345
0.1273	1.2798	10.0529
0.1204	1.2252	10.1797
1	10.21406	10.22324

*Nota:* Tabla de elaboración propia

Los valores de  $\lambda_{max}$  deben ser cercanos al tamaño de la matriz que estamos evaluando, en este caso es una matriz  $9 \times 9$ , entonces  $n = 9$ , con los valores calculados 10.0794 y 10.2232 respectivamente, se observa una diferencia mayor a 9, lo anterior debido a que la matriz presenta varios criterios; por lo tanto más criterios tenga una matriz más se alejara el valor de  $\lambda_{max}$ .

Al tener el valor de  $\lambda_{max}$  se continúa con el cálculo del índice de consistencia (ecuación 12), de la consistencia aleatoria (ecuación 13) y por último la relación de consistencia (ecuación 14), el resultado del primer experto es el siguiente, ver Tabla 22.



**Tabla 22**

*Tabla de resultados de la relación de consistencia del experto 1*

<b>Indice de consistencia</b>	<b>0.13</b>
<b>Consistencia aleatoria</b>	<b>1.54</b>
<b>Relación de consistencia</b>	<b>0.09</b>

*Nota:* Tabla de elaboración propia

El resultado que se encontró para los valores de la relación de consistencia del experto dos fueron los siguientes, ver Tabla 23.

**Tabla 23**

*Tabla de resultados de la relación de consistencia del experto 2*

<b>Indice de consistencia</b>	<b>0.15</b>
<b>Consistencia aleatoria</b>	<b>1.54</b>
<b>Relación de consistencia</b>	<b>0.10</b>

*Nota:* Tabla de elaboración propia

La relación de consistencia en los análisis individuales de cada experto presenta menos de 0.10, lo anterior permitió unir los valores numéricos de las matrices pareadas de ambos expertos, lo antes mencionado se realizó a través del cálculo de la media geométrica (ecuación 2), ver Tabla 24.





**Tabla 24**

*Resultados de aplicar la media geométrica a la matrices pareadas*

Matriz de comparación pareada de criterios-criterios									
Criterios	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1	1.000	2.449	1.414	1.414	2.449	1.414	2.828	2.828	2.000
C2	0.408	1.000	0.707	0.354	0.408	0.816	0.577	0.707	0.408
C3	0.707	1.414	1.000	1.225	1.414	2.449	1.000	0.408	0.408
C4	0.707	2.828	0.816	1.000	2.449	1.414	1.000	0.354	1.414
C5	0.408	2.449	0.707	0.408	1.000	1.414	0.408	0.577	0.408
C6	0.707	1.225	0.408	0.707	0.707	1.000	0.577	0.354	0.408
C7	0.354	1.732	1.000	1.000	2.449	1.732	1.000	0.816	0.577
C8	0.354	1.414	2.449	2.828	1.732	2.828	1.225	1.000	1.414
C9	0.500	2.449	2.449	0.707	2.449	2.449	1.732	0.707	1.000
Total	5.145	16.962	10.952	9.643	15.060	15.519	10.348	7.752	8.039

*Nota:* Tabla de elaboración propia

Al obtener esta nueva matriz se procedió a calcular la matriz normalizada y seguidamente los pesos de cada criterio, ver tabla 25; posteriormente se calcula el valor de lambda ( $\lambda$ ) y lambda máxima ( $\lambda_{max}$ ) ver tabla 26 y finalmente se encuentra la consistencia de la nueva matriz, ver Tabla 27.



**Tabla 25**

*Cálculo de la matriz normalizada y los pesos.*

Matriz normalizada									
Criterios	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1	0.1944	0.1444	0.1291	0.1467	0.1627	0.0911	0.2733	0.3649	0.2488
C2	0.0793	0.0590	0.0646	0.0367	0.0271	0.0526	0.0558	0.0912	0.0508
C3	0.1374	0.0834	0.0913	0.1270	0.0939	0.1578	0.0966	0.0527	0.0508
C4	0.1374	0.1667	0.0746	0.1037	0.1627	0.0911	0.0966	0.0456	0.1759
C5	0.0793	0.1444	0.0646	0.0423	0.0664	0.0911	0.0395	0.0745	0.0508
C6	0.1374	0.0722	0.0373	0.0733	0.0470	0.0644	0.0558	0.0456	0.0508
C7	0.0687	0.1021	0.0913	0.1037	0.1627	0.1116	0.0966	0.1053	0.0718
C8	0.0687	0.0834	0.2237	0.2933	0.1150	0.1823	0.1184	0.1290	0.1759
C9	0.0972	0.1444	0.2237	0.0733	0.1627	0.1578	0.1674	0.0912	0.1244
Total	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Criterios	Vector prioridad (pesos)
C1	0.1950
C2	0.0574
C3	0.0990
C4	0.1172
C5	0.0725
C6	0.0649
C7	0.1015
C8	0.1544
C9	0.1380
Total	1

Nota: Tabla de elaboración propia

**Tabla 26**

*Cálculo del valor de lambda ( $\lambda$ ) y lambda máxima ( $\lambda_{max}$ ).*

A ( $\lambda$ )	A/PESO ( $\lambda_{max}$ )
1.9108	9.7972
0.5552	9.6644
0.9440	9.5363
1.1191	9.5526
0.6894	9.5030
0.6173	9.5153
0.9820	9.6703
1.5071	9.7611
1.3232	9.5881
9.6481	9.6209

Nota: Tabla de elaboración propia



**Tabla 27**

*Resultado de la relación de consistencia.*

Indice de consistencia	0.08
Consistencia aleatoria	1.584
Relación de consistencia	0.05

*Nota:* Tabla de elaboración propia

Como se puede observar en la Tabla 25, el criterio de seguridad durante la instalación de la reparación (C1) es el más importante, siguiendo sus pasos tenemos al criterio de características operacionales de la tubería (C8) y así sucesivamente hasta llegar al último y con menos importancia; el criterio de costo económico (C2). En la Tabla 27 se puede observar que existe una relación de consistencia menor a 0.10, lo cual respalda la lógica de la metodología.

Para encontrar la jerarquía (pesos) y la relación de consistencia del nivel 3 (comparación entre subcriterios y subcriterios), se realizaron 9 matrices; en la Tabla 28 se presentan los resultados obtenidos para cada cálculo.



**Tabla 28**

*Resultado de los pesos y la relación de consistencia de los subcriterios*

<b>Criterio</b>	<b>Subcriterio</b>	<b>W</b>	<b>R.C.</b>
<b>C1</b>	<b>S1</b>	<b>0.6340</b>	<b>0</b>
	<b>S2</b>	<b>0.3660</b>	
<b>C2</b>	<b>S3</b>	<b>0.6340</b>	<b>0</b>
	<b>S4</b>	<b>0.3660</b>	
<b>C3</b>	<b>S5</b>	<b>0.6340</b>	<b>0</b>
	<b>S6</b>	<b>0.3660</b>	
<b>C4</b>	<b>S7</b>	<b>0.1297</b>	<b>0</b>
	<b>S8</b>	<b>0.8703</b>	
<b>C5</b>	<b>S9</b>	<b>0.2247</b>	<b>0</b>
	<b>S10</b>	<b>0.5505</b>	
	<b>S11</b>	<b>0.2247</b>	
<b>C6</b>	<b>S12</b>	<b>0.1561</b>	<b>0.018</b>
	<b>S13</b>	<b>0.1360</b>	
	<b>S14</b>	<b>0.1499</b>	
	<b>S15</b>	<b>0.5580</b>	
<b>C7</b>	<b>S16</b>	<b>0.7948</b>	<b>0</b>
	<b>S17</b>	<b>0.2052</b>	
<b>C8</b>	<b>S18</b>	<b>0.6044</b>	<b>0</b>
	<b>S19</b>	<b>0.3956</b>	
<b>C9</b>	<b>S20</b>	<b>0.3005</b>	<b>0.055</b>
	<b>S21</b>	<b>0.3521</b>	
	<b>S22</b>	<b>0.1149</b>	
	<b>S23</b>	<b>0.2325</b>	

*Nota:* Tabla de elaboración propia

El subcriterio S1 representa a la seguridad del personal durante la instalación, S2 (seguridad en el área donde se instalará la reparación), S3 (costo de los materiales), S4 (costo de la mano de obra), S5 (conocimiento técnico requerido del personal), S6 (tiempo de aprendizaje de la técnica), S7 (defecto no pasante), S8 (defecto pasante), S9 (defectos por diseño, fabricación y construcción), S10 (defectos por daños de terceros, peligros naturales y estructurales), S11 (daños por operaciones incorrectas), S12 (daños por corrosión interna), S13 (daños por corrosión externa), S14 (defecto por



erosión), S15 (defecto por agrietamiento), S16 (tubería enterrada), S17 (tubería superficial), S18 (tubería operando), S19 (tubería con disponibilidad operativa), S20 (espesor y diámetro nominal de la tubería), S21 (Soldadura circunferencial y longitudinal de la tubería), S22 (elemento recto), S23 (elemento curvo).

Los subcriterios que presentan mayor peso son: S8, S16, S1, S3, S5, S18, S15 y S10.

Se puede observar en la Tabla 28 que del subcriterio S1 al S11 y del S16 al S19, la relación de consistencia es igual a cero, eso es debido a que una matriz cuadrada de 2x2 al ser solo dos elementos los que se comparan no presenta algún tipo de error.

La tabla 29 muestra los datos obtenidos de cada alternativa comparada con respecto a un criterio; así también se muestra el cálculo de la relación de consistencia.

La alternativa A1 representa a la grapa metálica, A2 (cincho kevlar), A3 (parches metálicos), A4 (envolvente metálica), A5 (envolvente no metálica) y A6 (reemplazo de tubería).



**Tabla 29**

Resultados de la comparación de las alternativas respecto a los subcriterios

Subcriterio	Alternativas	W	R.C.	Subcriterio	Alternativas	W	R.C.
S1	A1	0.2634	0.055	S13	A1	0.0599	0.023
	A2	0.2046			A2	0.1463	
	A3	0.0929			A3	0.1475	
	A4	0.0631			A4	0.1850	
	A5	0.2595			A5	0.2150	
	A6	0.1166			A6	0.2463	
S2	A1	0.28590	0.040	S14	A1	0.0483	0.024
	A2	0.18470			A2	0.1574	
	A3	0.08530			A3	0.1946	
	A4	0.07770			A4	0.2250	
	A5	0.22880			A5	0.0929	
	A6	0.13760			A6	0.2819	
S3	A1	0.18360	0.059	S15	A1	0.0713	0.020
	A2	0.38630			A2	0.1007	
	A3	0.19640			A3	0.1396	
	A4	0.07440			A4	0.1964	
	A5	0.12610			A5	0.2154	
	A6	0.03310			A6	0.2766	
S4	A1	0.20990	0.045	S16	A1	0.0503	0.027
	A2	0.16440			A2	0.0836	
	A3	0.21890			A3	0.1737	
	A4	0.11210			A4	0.2836	
	A5	0.22620			A5	0.1569	
	A6	0.06850			A6	0.2518	
S5	A1	0.31070	0.035	S17	A1	0.1253	0.010
	A2	0.12280			A2	0.1023	
	A3	0.10790			A3	0.1224	
	A4	0.09960			A4	0.1461	
	A5	0.15260			A5	0.3356	
	A6	0.20650			A6	0.1682	
S6	A1	0.18440	0.023	S18	A1	0.1821	0.027
	A2	0.12400			A2	0.1182	
	A3	0.20760			A3	0.1130	
	A4	0.14990			A4	0.1525	
	A5	0.13460			A5	0.3906	
	A6	0.19950			A6	0.0436	
S7	A1	0.11530	0.020	S19	A1	0.1135	0.059
	A2	0.05160			A2	0.0459	
	A3	0.09640			A3	0.0880	
	A4	0.16270			A4	0.1284	
	A5	0.31890			A5	0.2480	
	A6	0.25510			A6	0.3762	
S8	A1	0.10950	0.036	S20	A1	0.1400	0.035
	A2	0.05970			A2	0.1153	
	A3	0.05130			A3	0.1244	
	A4	0.09390			A4	0.1672	
	A5	0.15590			A5	0.3368	
	A6	0.52970			A6	0.1163	
S9	A1	0.08040	0.043	S21	A1	0.1228	0.030
	A2	0.12490			A2	0.1212	
	A3	0.14980			A3	0.1028	
	A4	0.26250			A4	0.1707	
	A5	0.23170			A5	0.3069	
	A6	0.15070			A6	0.1757	
S10	A1	0.09930	0.043	S22	A1	0.1604	0.036
	A2	0.18850			A2	0.0527	
	A3	0.10930			A3	0.0777	
	A4	0.19320			A4	0.1151	
	A5	0.21170			A5	0.3135	
	A6	0.19800			A6	0.2807	
S11	A1	0.10230	0.016	S23	A1	0.1510	0.029
	A2	0.16420			A2	0.0399	
	A3	0.14460			A3	0.0889	
	A4	0.21780			A4	0.0988	
	A5	0.19140			A5	0.3335	
	A6	0.17970			A6	0.2879	
S12	A1	0.05670	0.016				
	A2	0.14750					
	A3	0.16060					
	A4	0.23020					
	A5	0.14660					
	A6	0.25840					

Nota: Tabla de elaboración propia



Al tener los pesos parciales y/o locales de los criterios, subcriterios y de las alternativas con respecto a los subcriterios, se procedió al cálculo de los pesos totales y/o globales multiplicando el peso del criterio por el subcriterio. Finalmente los pesos totales se multiplican por el resultado de cada peso de las comparaciones de las alternativas con respecto a los subcriterios (ecuación 15), ver Tabla 30.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.



**Tabla 30**  
Resultados del cálculo de los pesos globales finales

	Pesos parciales	Pesos totales	Alternativa 1 Cincho kevlar	Alternativa 2 Grapa metálica	Alternativa 3 Parches o medias cañas	Alternativa 4 Envolvente metálica	Alternativa 5 Envolvente no metálica	Alternativa 6 Reemplazo de tubería
Seguridad durante instalación de la reparación (C1)	0.1950							
Seguridad del personal durante la instalación	0.6340	0.1236	0.2634	0.2046	0.0929	0.0631	0.2595	0.1166
Seguridad en el área donde se instalará la reparación	0.3660	0.0714	0.2859	0.1847	0.0853	0.0777	0.2288	0.1376
Costo económico (C2)	0.0574							
Costo de los materiales	0.6340	0.0364	0.1836	0.3863	0.1964	0.0744	0.1261	0.0331
Costo de la mano de obra	0.3660	0.0210	0.2099	0.1644	0.2189	0.1121	0.2262	0.0685
Disponibilidad y capacitación del personal técnico (C3)	0.0990							
Conocimiento técnico requerido del personal	0.6340	0.0628	0.3107	0.1228	0.1079	0.0996	0.1526	0.2065
Tiempo de aprendizaje de la técnica	0.3660	0.0362	0.1844	0.1240	0.2076	0.1499	0.1346	0.1995
Características del defecto (C4)	0.1172							
Defecto no pasante	0.1297	0.0152	0.1153	0.0516	0.0964	0.1627	0.3189	0.2551
Defecto pasante	0.8703	0.1020	0.1095	0.0597	0.0513	0.0939	0.1559	0.5297
Amenazas independientes del tiempo (C5)	0.0725							
Defecto por diseño, fabricación y construcción	0.2247	0.0163	0.0804	0.1249	0.1498	0.2625	0.2317	0.1507
Defectos por daños de terceros, peligros naturales y estructurales	0.5505	0.0399	0.0993	0.1885	0.1093	0.1932	0.2117	0.1980
Daños por operaciones incorrectas	0.2247	0.0163	0.1023	0.1642	0.1446	0.2178	0.1914	0.1797
Amenazas dependientes del tiempo (C6)	0.0649							
Daños por corrosión interna	0.1561	0.0101	0.0567	0.1475	0.1606	0.2302	0.1466	0.2584
Daños por corrosión externa	0.1360	0.0088	0.0599	0.1463	0.1475	0.1850	0.2150	0.2463
Defecto por erosión	0.1499	0.0097	0.0483	0.1574	0.1946	0.2250	0.0929	0.2819
Defecto por agrietamiento	0.5580	0.0362	0.0713	0.1007	0.1396	0.1964	0.2154	0.2766
Localización de la tubería (accesibilidad) (C7)	0.1015							
Tubería enterrada	0.7948	0.0807	0.0503	0.0836	0.1737	0.2836	0.1569	0.2518
Tubería superficial	0.2052	0.0208	0.1253	0.1023	0.1224	0.1461	0.3356	0.1682
Características operacionales de la tubería (C8)	0.1544							
Tubería operando	0.6044	0.0933	0.1821	0.1182	0.1130	0.1525	0.3906	0.0436
Tubería con disponibilidad operativa	0.3956	0.0611	0.1135	0.0459	0.0880	0.1284	0.2480	0.3762
Características físicas-mecánicas de la tubería y/o accesorios (C9)	0.1380							
Espesor y diámetro nominal de la tubería	0.3005	0.0415	0.1400	0.1153	0.1244	0.1672	0.3368	0.1163
Soldadura circunferencial y longitudinal de la tubería	0.3521	0.0486	0.1228	0.1212	0.1028	0.1707	0.3069	0.1757
Elemento recto	0.1149	0.0159	0.1604	0.0527	0.0777	0.1151	0.3135	0.2807
Elemento curvo	0.2325	0.0321	0.1510	0.0399	0.0889	0.0988	0.3335	0.2879

Nota: Tabla de elaboración propia



En la Tabla 31 se muestra el resultado de los cálculos de los pesos globales finales en cada alternativa, como se observa tenemos como orden jerárquico al más importante de la siguiente manera: en primer lugar la alternativa 5 (envolvente no metálica), la alternativa 6 (reemplazo de la tubería) en segundo lugar, en tercer lugar la alternativa 1 (cincho kevlar), en cuarto lugar la alternativa 4 (envolvente metálica), en quinto lugar a la alternativa 2 (grapa metálica) y en último lugar la alternativa 3 (parches o medias cañas).

**Tabla 31**

*Resultados de los pesos finales de cada alternativa analizada*

Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5	Alternativa 6
Cincho kevlar	Grapa metálica	Parches o medias cañas	Envolvente metálica	Envolvente no metálica	Reemplazo de la tubería
0.1640	0.1308	0.1161	0.1392	0.2362	0.2137
16.40%	13.08%	11.61%	13.92%	23.62%	21.37%

*Nota:* Tabla de elaboración propia

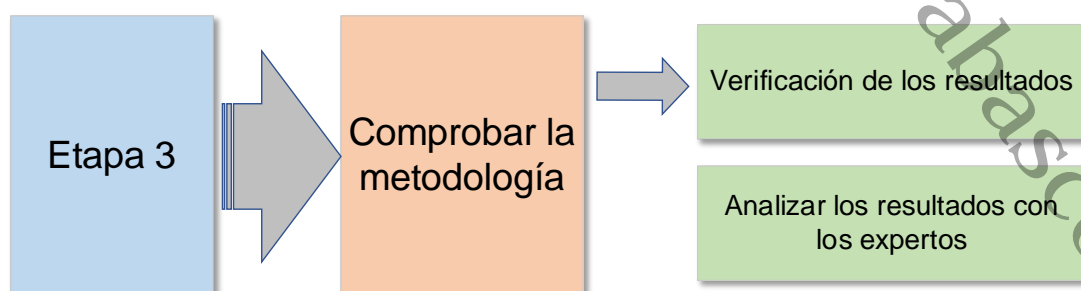
### 4.3 Comprobar la metodología

#### 4.3.1. Verificación de los resultados

La etapa 3 consta de 2 actividades requeridos para la comprobación de la metodología en la Figura 20 se muestran esos pasos.

**Figura 20**

*Elementos que conforman la etapa 3 de la metodología AHP*



*Nota:* Figura de elaboración propia



Para garantizar la validez de los resultados obtenidos mediante la metodología AHP, es crucial realizar una verificación de consistencia en las matrices de comparación por pares. Este proceso asegura que las preferencias asignadas a las alternativas y criterios sean coherentes entre sí, evitando contradicciones significativas en los juicios de los expertos. La relación de consistencia (CR) es el indicador utilizado para este propósito. Si el valor de CR es menor a 0.1, los resultados son considerados aceptables. En caso contrario, es necesario revisar las comparaciones para identificar posibles inconsistencias y ajustar los valores.

#### 4.3.2. Analizar los resultados con los expertos

Se puede validar el modelo revisando los pesos calculados para cada alternativa y evaluando su alineación con las expectativas o experiencias previas de los expertos involucrados. Esta doble verificación incrementa la confianza en los resultados obtenidos y refuerza la robustez del análisis.



## CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

- Con la aplicación de la metodología AHP, se determinó que la alternativa con mayor peso relativo es la **envolvente no metálica** (23.62%), posicionándose como la opción más adecuada dentro del análisis realizado. Esta alternativa destaca por su capacidad de satisfacer de manera efectiva los criterios establecidos en el proceso de evaluación. Le sigue el **reemplazo de tubería** (21.37%), en tercer lugar el **Cincho kevlar** (16.40%), cuarto lugar la **envolvente metálica** (13.92%), quinto lugar la **grapa metálica** (13.08%) y en el último lugar los **parches o medias cañas** (11.60%).
- Mediante la comparación por pares, el AHP permite capturar y cuantificar las preferencias subjetivas de los expertos, convirtiéndolas en valores numéricos que reflejan la importancia relativa de cada criterio y alternativa. Esto asegura que las decisiones se basen en una evaluación racional, transparente y consistente, integrando tanto aspectos cualitativos como cuantitativos.
- Los índices de consistencia obtenidos en el análisis fueron menores a 0.1, lo que permitió confirmar la coherencia de los juicios emitidos en las comparaciones por pares realizadas durante el proceso. Este resultado indica que las valoraciones realizadas por los expertos son consistentes, asegurando que las preferencias asignadas entre los criterios y las alternativas no presentan contradicciones significativas.
- La metodología despertó un gran interés en su aplicación a otras áreas de la empresa debido a su capacidad para estructurar problemas complejos y facilitar la toma de decisiones fundamentadas. El enfoque sistemático y transparente de esta metodología proporciona un marco versátil para analizar múltiples criterios, lo que la convierte en una herramienta altamente adaptable a diversas necesidades, como la



optimización de recursos, la evaluación de proyectos, la selección de proveedores, y la mejora de procesos internos.

- Con respecto a las alternativas que obtuvieron mayor importancia en el análisis, la empresa tiene la intención de considerar prioritariamente las opciones mejor posicionadas en el ranking. Esto permitirá enfocar los recursos internos en las soluciones más viables y alineadas con los objetivos estratégicos de la organización. En particular, se busca conformar un equipo de trabajo compuesto por personal propio, evitando la necesidad de recurrir a la subcontratación.

## **5.2 Recomendaciones**

- Aplicar la metodología AHP puede implicar cálculos complejos, especialmente cuando se manejan grandes volúmenes de datos o matrices de comparación con numerosos criterios y alternativas. Existen softwares como Expert Choice que permiten automatizar los cálculos, generar matrices de comparación y evaluar los pesos relativos de los criterios y alternativas de manera más eficiente, lo que resulta particularmente útil en proyectos de gran envergadura o con restricciones de tiempo.
- Sugerir la ampliación del grupo de expertos involucrados en el proceso de evaluación. Contar con un mayor número de especialistas aporta diversidad de perspectivas, reduce sesgos individuales y fortalece la validez y la confiabilidad de los juicios realizados. Es particularmente relevante en proyectos complejos, donde los criterios y alternativas abarcan áreas interdisciplinarias o requieren un conocimiento técnico especializado.
- Implementar que la técnica AHP esté compuesto por personas que hayan trabajado previamente o que tengan un conocimiento sólido



sobre los problemas asociados con las tuberías en la Terminal Marítima Dos Bocas. Esta experiencia previa resulta clave para garantizar que las matrices de comparación por pares y los juicios emitidos reflejen adecuadamente la realidad operativa y los desafíos específicos que enfrenta esta infraestructura.

- Demostrar predisposición de los expertos al momento de completar las encuestas o matrices de comparación por pares. Una actitud abierta, colaborativa y comprometida con el proceso es esencial para garantizar que los juicios emitidos sean consistentes, precisos y representativos de su conocimiento técnico y experiencia.
- Aplicar otras técnicas multicriterio que permitan comparar los resultados obtenidos mediante la metodología AHP. La comparación entre métodos contribuye a validar la solidez de las conclusiones, identificar posibles inconsistencias y analizar cómo las diferentes metodologías pueden influir en la priorización de alternativas.
- Aplicar la metodología AHP en casos donde se disponga de poca o nula información histórica, ya que su enfoque se basa principalmente en los juicios de expertos para construir matrices de comparación y calcular prioridades. Sin embargo, es importante señalar que la precisión y la calidad de los resultados pueden mejorar significativamente si se cuenta con una mayor cantidad y calidad de información.



## 6. REFERENCIAS

- Akhrouf M. (2023). Use of Analytic Hierarchy Process model for selection of health infrastructure projects, p-4.  
<https://doi.org/10.13033/ijahp.v15i1.1040>
- API 1160 (2019). *API Recommended Practice 1160, Managing System Integrity for Hazardous Liquid Pipelines.*
- API 571 (2020). *ANSI/API Recommended Practice 571, Damage Mechanisms Affecting Fixed.*
- API 570 (2016). Piping inspection code: in-service inspection, rating, repair and alteration of piping systems.
- ASME B31.8S (2022). *Managing system integrity of gas pipelines* (Revision of ASME B31.8S-2020).
- ASME PCC-2 (2022). *Repair of pressure equipment and piping* (Revision of ASME PCC-2–2018).
- Aydin, F., & Gümüş, B. (2022). Comparative analysis of multi-criteria decision making methods for the assessment of optimal SVC location. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*, 70(2).  
<https://doi.org/10.24425/bpasts.2022.140555>
- Brunelli Matteo (2015). *Introduction to the Analytic Hierarchy Process.* Springer.
- Bushan N. y Rai K. (2004). *Strategic Decision Making Applying the Analytic Hierarchy Process.* Springer.
- Çelikkilek, Y., & Tüysüz, F. (2020). An in-depth review of theory of the TOPSIS method: An experimental analysis. *Journal of Management Analytics*, 7(2), 281–300. <https://doi.org/10.1080/23270012.2020.1748528>
- Diario Oficial de la Federación. (2017). *Norma Oficial Mexicana NOM-009-ASEA-2017, Administración de la integridad de ductos de recolección, transporte y distribución de hidrocarburos, petrolíferos y petroquímicos.*  
[https://dof.gob.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=5548790](https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5548790)
- Eltarabishi, F., Omar, O. H., Alsyof, I., & Bettayeb, M. (2020). *Multi-Criteria Decision Making Methods And Their Applications-A Literature Review.*



- Gharieb Mohammad, N. El, Rawash, Y. Y., Aly, S. M., Sayed Awad, M. El, & Mohamed, M. H. H. (2023). Enhancing gas pipeline network efficiency through vikor method. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 6(2), 853–879. <https://doi.org/10.31181/dmame622023868>
- Gomes Mota, P. J., & Campos, A. R. (s/f). *Comparative Analysis of Multicriteria Decision Making Methods Setembro 2013, Comparative Analysis of Multicriteria Decision Making Methods for Project Selection*.
- González L. (2021). *Propuesta de un sistema integrado de gestión para el proceso de medición del volumen de hidrocarburos* [Tesis de maestría, CIATEQ, A. C. Centro de Tecnología Avanzada].
- Ibrahim, A., & Surya, R. A. (2019). The Implementation of Simple Additive Weighting (SAW) Method in Decision Support System for the Best School Selection in Jambi. *Journal of Physics: Conference Series*, 1338(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1338/1/012054>
- IEC/ISO 31010. (2020). Gestión del riesgo. Técnicas de evaluación del riesgo. En *NTC-IEC/ISO 31010:2020*.
- INPRO. (2019). *Application of multi-criteria decision analysis methods to comparative evaluation of nuclear energy system options*.
- ISO 31000. (2018). *NORMA INTERNACIONAL Traducción oficial Official translation Traduction officielle ISO 31000 Gestión del riesgo-Directrices Risk management-Guidelines*. [www.iso.org](http://www.iso.org)
- Jaske, C. E., Hart, B. O., & Bruce, W. A. (2006). *Pipeline repair manual realizado por Pipeline Research Council International*. Technical Toolboxes, Inc.
- Javier Arias Izquierdo, Luís Gabriel Rodríguez García, Rosain de la Cruz Méndez, Juan Carlos Peña Chaparro, Jesús Manuel Méndez Pérez, & Elder Alberto Fuentes. (2013). *Contexto operacional de los procesos de manejo de aceite en la terminal marítima dos bocas*.
- Kumar, P., Osuri, G. M., Arlos, P., Gade, P. K., & Osuri, M. (2014). *Evaluation of Multi Criteria Decision Making Methods for Potential Use in Application Security*.



- Nantes E. (2019). El método Analytic Hierarchy Process para la toma de decisiones. Repaso de la metodología y aplicaciones, 61-62.
- Oubahman, L., & Duleba, S. (2021). Review of PROMETHEE method in transportation. En *Production Engineering Archives* (Vol. 27, Número 1, pp. 69–74). Sciendo. <https://doi.org/10.30657/pea.2021.27.9>
- Özomay, M. (2023). Sustainable and Environmental Dyeing with MAUT Method Comparative Selection of the Dyeing Recipe. *Sustainability (Switzerland)*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/su15032738>
- Pedro Jorge Gomes Mota. (2013). *Comparative Analysis of Multicriteria Decision Making Methods*.
- PEMEX (2022). *Anuario estadístico PEMEX 2022*. <https://www.PEMEX.com/ri/Publicaciones/Paginas/AnuarioEstadistico.aspx>
- Petróleos Mexicanos, & PEMEX Exploración y Producción. (2015). *Especificación técnica interna para seguridad industrial y protección ambiental*.
- Jaske, C. E., Hart, B. O., & Bruce, W. A. (2006). *Pipeline repair manual* (Contract PR-186-0324). *Pipeline Research Council International, Inc.*
- Ramírez Patricia. (2022). *PEMEX registra 176 derrames y fugas de alto impacto ambiental de 2018 a 2021*. <https://causanatura.org/periodismo-cn/PEMEX-registra-176-derrames-y-fugas-de-alto-impacto-ambiental-de-2018-a-2021>
- Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2012). *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process* (Vol. 175). Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3597-6>
- Sarjono Putro, U., & Brihaspati, I. P. A. (2023). HSSE (Health, Safety, Security, and Environment) Knowledge Program Prioritization Using Kepner-Tregoe Model in PT. Pertamina EP Regional 2 Zone 7. *European Journal of Business and Management Research*, 8(5), 76–87. <https://doi.org/10.24018/ejbmr.2023.8.5.2094>
- Vega, V. B., J., Romero, J. I., Universidad, G., & Lozano, J. T. (s/f). *Modelo de asignación de proveedores a partir de la teoría de decisión multicriterio*.





Anexo 1. Tabla 1: Información técnica de la tubería de proceso DBLIN-CM-008.

Tabla 2-I. Información técnica de la red.

Descripción	Valor
Activo o gerencia:	Gerencia de Operaciones de Tratamiento y Logística Primaria Marinas
No. de equipo SAP:	No disponible
No. orden SAP:	No disponible
Ubicación técnica:	LOG-TLP-PRO-P08GM-TMDBC-ITA01
Origen:	Desde válvula manual desde fuera de dique del TV-2006
Destino:	CB-2, Incluye succión de MB-6, 7, 8 de CB-1
Diámetro nominal:	48"Ø
Espesor nominal:	ver secc. 2.3
Fluido transportado:	Crudo maya
Clase:	3
Instalación:	Líneas de integración
Presión de operación:	1.0 kg/cm <sup>2</sup>
Presión máxima de operación:	2.0 kg/cm <sup>2</sup>
Temperatura de operación:	36°C
Temperatura Máx. de operación:	No disponible
Presión de diseño:	No disponible
Temperatura de diseño:	No disponible
Tiempo de servicio:	39 años
Especificación del material:	No especificado (ver sección 2.3)
Año de construcción:	1980 <sup>#</sup>

<sup>#</sup>De acuerdo con la hoja de validación de los datos de operación de líneas de proceso de la TMDB.



Anexo 2. Tabla 2: Métodos de reparación aprobados por la NOM-009-ASEA-2017.

Defectos	Métodos de reparación aceptados para Ducto, Segmento o sección Marino.													
	Métodos de reparación aceptados													
	Sustitución	Desbaste	Depósito de soldadura	Envolvente Metálica			Tipo B		Tapones		Envolvente No Metálica	Parches	Soportes	Elementos prefabricados de concreto
				Con soldadura longitudinal	Pernadas	Sello con soldadura	Sello por fricción	Mecánicos	Tipo cachucha soldados					
Férdida metal externa generaliza	S	NO	NO	S	NO	S	NO	NO	NO	S4	NO	NO	NO	
Férdida metal externa localizada.	S	NO	S12	S	S3	S	NO	NO	NO	S4	S	NO	NO	
Férdida metal externa por picadura.	S	NO	S12	S	S3	S	S	S	S	S4	S	NO	NO	
Férdida metal interna generalizada.	S	NO	NO	NO	NO	S	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
Férdida metal interna localizada.	S	NO	NO	NO	S3	S	S	NO	NO	NO	S	NO	NO	
Férdida metal interna por picadura.	S	NO	NO	NO	S3	S	S	S	S	NO	S	NO	NO	
Abolladuras simples.	S	NO	NO	S	S3	S	S	S	NO	S4	NO	NO	NO	
Muesca o tallón.	S	S1	S2	S	S3	S	S	S	NO	S4	S	NO	NO	
Abolladuras con muesca o tallón.	S	S1	NO	S	S3	S	S	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
AIH (laminações).	S	NO	NO	NO	NO	S	S	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
Ampollas simples.	S	NO	NO	NO	NO	S	S	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
Pliegues por pandeo local.	S	NO	NO	NO	S3	S	S	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
Grietas o defectos tipo grieta axiales abiertas a la superficie interna.	S	S	NO	NO	S3	S	S	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
Grietas o defectos tipo grieta circunferenciales abiertas a la superficie interna.	S	NO	NO	NO	S3	S	S	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
Defectos en soldadura circunferencial.	S	S1	NO	NO	S3	S	S	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
Defectos en soldadura longitudinal.	S	S1	NO	NO	S3	S	S	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
Defectos metalúrgicos localizados (puntos duros, quemaduras, áreas de segregación de inclusiones slaber).	S	S1	S2	NO	S3	S	S	NO	NO	S4	NO	NO	NO	
Claros libres o soportes no funcionales.	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	S	NO	
Segmento inestable.	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	S	



**Anexo 3.** Tabla 3: muestra la relación que para cada tipo de defecto existe un tipo de reparación adecuada para cada tipo de caso (PRCI).

Tipo de Defecto (a)	Desbaste	Envolvente tipo A	Envolvente de compresión	Envolvente tipo B	Envolvente de compuesto	Deposición de soldadura	Abrazadera atornillada con celloc	Abrazadera para fuga de tornillo de fuerza	Parohe soldado	Hot Tapping (b)
1. Fuga (de alguna causa) o defecto > 0.8t	No	No	No	Permanente	No	No	Permanente	Temporal (c)	No	Permanente
2. Corrosión externa										
2a. De pocas a moderadas picaduras < 0.8t	No	Permanente	Permanente	Permanente	Permanente	Permanente	Permanente	No	Temporal	Permanente
2b. Picaduras profundas $\geq$ 0.8t	No	No	No	Permanente	No	No	Permanente	No	No	Permanente
2c. Ataque selectivo a costuras	No	No	Permanente	Permanente (d)	No	No	Permanente (d)	No	Temporal	No
3. Defecto interno o corrosión	No	Permanente (e)	Permanente (e)	Permanente	Permanente (e)	No	Permanente (e)	No	No	No
4. Muesca u otra pérdida de metal en el cuerpo de la tubería	Permanente (f)	Permanente (g)	Permanente (g)	Permanente (h)	Permanente (g)	Permanente (g)	Permanente (h)	No	No	Permanente
5. Quemada de arco, inclusión o laminación	Permanente (f)	Permanente	Permanente	Permanente	Permanente (g)	Permanente (g)	Permanente	No	No	Permanente
6. Punto duro	No	Permanente	Permanente	Permanente	No	No	Permanente	No	No	Permanente
7. Abolladura										
7a. Abolladura suave	No	Permanente (i)	Permanente (i)	Permanente	Permanente (i)	No	Permanente	No	No	No
7b. Abolladura con concentrador de tensión en soldadura de costura o cuerpo de la tubería	Permanente (k)	Permanente (g) (l) (j)	Permanente (g) (l) (j)	Permanente	Permanente (g) (l) (j)	No	Permanente	No	No	Permanente
7c. Abolladura con concentrador de tensión en la soldadura circunferencial	Permanente (k)	No	Permanente (g) (l) (j)	Permanente	No	No	Permanente (l)	No	No	No
8. Grieta o agrietamiento										
8a. Grieta superficial < 0.4t	Permanente (f)	Permanente (g)	Permanente	Permanente (d)	Permanente (g)	Permanente (g)	Permanente (d)	No	Temporal	Permanente
8b. ¿Grieta profunda? De 0.4t y no más de 0.8t	No	Permanente (g)	Permanente	Permanente (d)	Permanente (g)	Permanente (g)	Permanente (d)	No	No	Permanente
9. Defecto de soldadura de costura										
9a. Defecto volumétrico	Permanente (f)	Permanente (g)	Permanente	Permanente	Permanente (g)	No	Permanente	No	No	Permanente
9b. Defecto lineal	Permanente (f)	Permanente (g)	Permanente	Permanente (d)	Permanente (g)	No	Permanente (d)	No	No	Permanente
9c. Defecto en/o cerca de una costura ERW	No	No	Permanente	Permanente (d)	No	No	Permanente (d)	No	No	No
10. Defecto de soldadura circunferencial	Permanente (f)	No	No	Permanente	No	Permanente (m)	Permanente (l)	No	No	No
11. Arrugas, dobleces, hebillas o acoplamientos	No	No	No	Permanente (n)	No	No	No	No	No	No
12. Ampollas, HIC	No	Permanente	Permanente	Permanente	No	No	Permanente	No	No	No

Observaciones:

(a) El reemplazo de la sección de tubería afectada podrá utilizarse para reparar cualquier defecto.

(b) El hot tap se puede aplicar sólo a defectos que sean lo suficientemente pequeños como para ser eliminados por el hot tap.

(c) Una abrazadera para fuga de tornillo de fuerza se puede aplicar sólo a todas las fugas pequeñas que pueden sellarse con dicha abrazadera.



- (d) Asegúrese de que la longitud del defecto sea subcrítica o presurice la envolvente.
- (e) Asegúrese de que los defectos internos o la corrosión no continúen creciendo más allá de los límites aceptables.
- (f) Se puede utilizar el desbaste solo hasta una profundidad de 0.4 t, siempre que se eliminen los defectos y el metal defectuoso, y además que la pérdida local de la pared sea aceptable.
- (g) Se puede utilizar la reparación para defectos de menos de 0.8 t de profundidad, siempre que el material dañado se haya eliminado mediante desbaste y que la eliminación se haya verificado mediante inspección.
- (h) Se recomienda que el material dañado sea removido con la remoción verificada por inspección o que se haga una perforación en la tubería transportadora para esta reparación.
- (i) Se recomienda el uso de material de relleno para indentaciones y una evaluación de ingeniería de la fatiga.
- (j) Se deben seguir las restricciones reglamentarias y de códigos sobre el tamaño máximo de la abolladura.
- (k) Deben cumplirse los límites reglamentarios y de código sobre la cantidad de desbaste permitido.
- (l) La abrazadera de manga dividida debe ser del tipo que transfiera cargas axiales y proporcione integridad estructural completa.
- (m) El defecto debe eliminarse mediante desbaste, y el área debe ser inspeccionada antes y después de soldar.
- (n) La envolvente debe diseñarse y fabricarse con una configuración especial de "calabaza".



Anexo 4. Prueba cualitativa realizada al experto 1.

Nombre: *José Baez Montero*  
Puesto: *borde de gestión de Activos*

Firma: *[Handwritten Signature]*

Prueba cualitativa de jerarquización

Antes de realizar la encuesta se realizará esta pequeña prueba cualitativa de jerarquización, con la cual los resultados que se obtengan aquí serán comparados con los resultados finales de la encuesta; lo anterior para mostrar la ventaja del uso de la metodología Proceso Analítico Jerárquico (AHP).

Instrucción: Ordene del 1 al 6 los tipos de reparación que aparecen en la tabla, siendo el número 1 el que represente más importancia para usted y que el número 6 represente el menos importante. Coloque los números debajo de la casilla que dice: Jerarquización cualitativa (importancia). Tome en cuenta que el análisis se basa en una tubería de proceso (crudo maya) que se encuentra dentro de la Terminal Marítima Dos Bocas (TMDB).

Tipo de reparación	Jerarquización cualitativa (importancia)
Grapa metálica	6
Cincho kevlar	5
Parches o medias cañas	4
Envolvente metálica	3
Envolvente no metálica	2
Reemplazo de la tubería	1



**Anexo 4.** Prueba cualitativa realizada al experto 2.

Nombre

FABIAN JIMENEZ AMADO

Firma:

Puesto:

INGENIERIA MECANICA

**Prueba cualitativa de jerarquización**

Antes de realizar la encuesta se realizará esta pequeña prueba cualitativa de jerarquización, con la cual los resultados que se obtengan aquí serán comparados con los resultados finales de la encuesta; lo anterior para mostrar la ventaja del uso de la metodología Proceso Analítico Jerárquico (AHP).

Instrucción: Ordene del 1 al 6 los tipos de reparación que aparecen en la tabla, siendo el número 1 el que represente más importancia para usted y que el número 6 represente el menos importante. Coloque los números debajo de la casilla que dice: Jerarquización cualitativa (importancia). Tome en cuenta que el análisis se basa en una tubería de proceso (crudo maya) que se encuentra dentro de la Terminal Marítima Dos Bocas (TMDB).

Tipo de reparación	Jerarquización cualitativa (importancia)
Grapa metálica	6
Cincho kevlar	2
Parches o medias cañas	4
Envolvente metálica	3
Envolvente no metálica	1
Reemplazo de la tubería	5



## Anexo 5. Instrucciones para los expertos que respondieron la encuesta.

### Instrucciones

Para realizar la comparación entre dos criterios se tomará la siguiente escala:

Escala		
1: De igual importancia	3: Moderadamente importante	5: Fuertemente importante
7: Muy fuertemente importante	9: Extremadamente importante	
2,4,6,8: Valor intermedio entre dos juicios adyacentes.		

Ejemplo 1. Si de manera personal se cree que entre la comparación del criterio características operacionales de la tubería y características físicas-mecánicas de la tubería y/o accesorios son de igual importancia, se colocará una X en la casilla que dice (De igual importancia [1]).

Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Características operacionales de la tubería									X									Características físicas-mecánicas de la tubería y/o accesorios

Ejemplo 2. Si se cree que entre la comparación del criterio características operacionales de la tubería y características físicas-mecánicas de la tubería y/o accesorios, es moderadamente importante el criterio características operacionales de la tubería ante el criterio características físicas-mecánicas de la tubería y/o accesorios, se colocará una X en la casilla que dice (Moderadamente importante [3]), ubicada en el lado izquierdo de la tabla.

Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Características operacionales de la tubería							X											Características físicas-mecánicas de la tubería y/o accesorios

Ejemplo 3. Si al contrario se cree que las características físicas-mecánicas de la tubería y/o accesorios, es moderadamente más importante que el criterio características operacionales de la tubería, se colocará una X en la casilla que dice (Moderadamente importante [3]), pero ahora en el lado derecho de la tabla.

Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Características operacionales de la tubería											X							Características físicas-mecánicas de la tubería y/o accesorios

Ejemplo 4. Así también se pueden usar valores intermedios en caso de tener decisiones que son sutiles y se encuentran entre dos valores impares (3,5,7,9). Por ejemplo si creo que las características físicas-mecánicas de la tubería y/o accesorios, es un poco más importante que el criterio características operacionales de la tubería casilla que dice (Moderadamente importante [3]) pero sin llegar a ser Fuertemente importante [5], se colocará una X en la casilla que dice (Valor intermedio [4]) del lado derecho.

Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Características operacionales de la tubería												X						Características físicas-mecánicas de la tubería y/o accesorios



Anexo 6. Respuestas del experto 1 (nivel 2).

Nombre:

Puesto:

Firma:

Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Seguridad en la instalación de la reparación			X				X					X						Costo económico
Capto económico																		Disponibilidad y capacitación del personal técnico
Responsabilidad y capacitación del personal técnico																		Características del defecto
Características del defecto																		Características de la tubería
Amenazas independientes del tiempo																		Características físicas de la tubería y/o accesorios
Amenazas dependientes del tiempo																		Localización de la tubería (accesibilidad)
Localización de la tubería (accesibilidad)																		Características operacionales de la tubería
Características operacionales de la tubería																		Características físicas de la tubería y/o accesorios
Características físicas de la tubería y/o accesorios																		Características del defecto
Disponibilidad y capacitación del personal técnico																		Amenazas independientes del tiempo
Características del defecto																		Amenazas dependientes del tiempo
Amenazas independientes del tiempo																		Localización de la tubería (accesibilidad)
Amenazas dependientes del tiempo																		Características operacionales de la tubería
Localización de la tubería (accesibilidad)																		Características físicas de la tubería y/o accesorios







Nombre:

Puesto:

Firma:

Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
						X											Localización de la tubería (accesibilidad)
					X												Características operacionales de la tubería
						X											Características físicas-mecánicas de la tubería y/o accesorios
																	Localización de la tubería (accesibilidad)
																	Características operacionales de la tubería
																	Características físicas-mecánicas de la tubería y/o accesorios
																	Localización de la tubería (accesibilidad)
																	Características operacionales de la tubería
																	Características físicas-mecánicas de la tubería y/o accesorios



Anexo 6. Respuestas del experto 1 (nivel 3).

Nombre:

Puesto:

Firma:

Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio Seguridad en el uso de los materiales y su renovación
Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio Costo de la mano de obra
Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio Tiempo de aprendizaje de la técnica
Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio Defecto pasante
Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio Defectos por daños de terceros, peligros naturales y estructurales
Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio Daños por operaciones incorrectas
Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio Daños por corrosión externa
Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio Defecto por agrietamiento



Nombre:

Puesto:

Firma:

Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	Da igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Daños por corrosión externa						X												Defecto por erosión
																		Defecto por agratamiento
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	Da igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Defecto por erosión																		Defecto por agratamiento
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	Da igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Tubería enterrada																		Tubería superficial
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	Da igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Tubería operario																		Tubería con disponibilidad operativa
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	Da igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Espesor y diámetro nominal de la tubería																		Soldadura circunferencial y longitudinal de la tubería
																		Elemento recto
																		Elemento curvo
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	Da igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Soldadura circunferencial y longitudinal de la tubería																		Elemento recto
																		Elemento curvo
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	Da igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Elemento recto																		Elemento curvo



Nombre:

Puesto:

Firma:

		Con respecto al subcritero de la seguridad del personal durante la instalación. ¿Cuál de las alternativas considera más segura, y en qué grado?																
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Cincho kevlar					X		X						X					Grapa metálica
																		Parches o medias cañas
																		Envoltorio metálica
																		Envoltorio no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Grapa metálica					X		X						X					Parches o medias cañas
																		Envoltorio metálica
																		Envoltorio no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Parches o medias cañas																		Envoltorio metálica
																		Envoltorio no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Envoltorio metálica																		Envoltorio no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Envoltorio no metálica																		Reemplazo de la tubería





Nombre:

Puesto:

Firma:

Criterio	Con respecto al subcriterio de costo de los materiales, ¿Cuál de las alternativas considera más accesible con respecto al costo, y en qué grado?																	
	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	
Grapa metálica							X											
Parches o medias cañas								X										
Envolverte metálica							X											
Envolverte no metálica							X											
Reemplazo de la tubería																		

Criterio	Con respecto al subcriterio de costo de los materiales, ¿Cuál de las alternativas considera más accesible con respecto al costo, y en qué grado?																	
	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	
Parches o medias cañas																		
Envolverte metálica																		
Envolverte no metálica																		
Reemplazo de la tubería																		

Criterio	Con respecto al subcriterio de costo de los materiales, ¿Cuál de las alternativas considera más accesible con respecto al costo, y en qué grado?																	
	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	
Parches o medias cañas																		
Envolverte metálica																		
Envolverte no metálica																		
Reemplazo de la tubería																		

Criterio	Con respecto al subcriterio de costo de los materiales, ¿Cuál de las alternativas considera más accesible con respecto al costo, y en qué grado?																	
	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	
Envolverte metálica																		
Envolverte no metálica																		
Reemplazo de la tubería																		

Criterio	Con respecto al subcriterio de costo de los materiales, ¿Cuál de las alternativas considera más accesible con respecto al costo, y en qué grado?																	
	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	
Envolverte no metálica																		
Reemplazo de la tubería																		



Nombre:

Puesto:

Firma:

Criterio	Con respecto al subcritero de costo de la mano de obra, ¿Cuál de las alternativas considera más accesible con respecto al costo, y en qué grado?										Criterio							
	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [0]		Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [0]	Extremadamente importante [9]
Grapa metálica																		Extremadamente importante [9]
Parches o medias cañas																		Extremadamente importante [9]
Envoltivo metálica																		Extremadamente importante [9]
Envoltivo no metálica																		Extremadamente importante [9]
Reemplazo de la tubería																		Extremadamente importante [9]
Grapa metálica																		Extremadamente importante [9]
Parches o medias cañas																		Extremadamente importante [9]
Envoltivo metálica																		Extremadamente importante [9]
Envoltivo no metálica																		Extremadamente importante [9]
Reemplazo de la tubería																		Extremadamente importante [9]
Grapa metálica																		Extremadamente importante [9]
Parches o medias cañas																		Extremadamente importante [9]
Envoltivo metálica																		Extremadamente importante [9]
Envoltivo no metálica																		Extremadamente importante [9]
Reemplazo de la tubería																		Extremadamente importante [9]
Grapa metálica																		Extremadamente importante [9]
Parches o medias cañas																		Extremadamente importante [9]
Envoltivo metálica																		Extremadamente importante [9]
Envoltivo no metálica																		Extremadamente importante [9]
Reemplazo de la tubería																		Extremadamente importante [9]







Nombre:

Puesto:

Firma:

Con respecto al subcritero de tiempo de aprendizaje de la técnica. ¿Cuál de las alternativas considera que requiere una mayor cantidad de tiempo para el dominio de la técnica por qué grado?																		
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Cincho kevlar				X		X		X		X		X		X				Grapa metálica
																		Parches o medias cañas
																		Envolvente metálica
																		Envolvente no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Grapa metálica																		Parches o medias cañas
																		Envolvente metálica
																		Envolvente no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Parches o medias cañas																		Envolvente metálica
																		Envolvente no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Envolvente metálica							X				X							Envolvente no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Envolvente no metálica							X				X							Reemplazo de la tubería



Nombre:

Puesto:

Firma:

Con respecto al subcriterio de defectos no pasantes, ¿Cuál de las alternativas considera que sea más conveniente para la reparación si el defecto en la tubería no pasa a través del pasador, y en qué grado?																		
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Cincho kevlar						X					X							Grapa metálica
																		Parches o medias cañas
																		Envoltente metálica
																		Envoltente no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Grapa metálica						X					X							Parches o medias cañas
																		Envoltente metálica
																		Envoltente no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Parches o medias cañas																		Envoltente metálica
																		Envoltente no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Envoltente metálica																		Envoltente no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Envoltente no metálica																		Reemplazo de la tubería

Nivel 4

1 de 1



Nombre:

Puesto:

Firma:

Con respecto al subcriterio de defecto gasados, ¿Cuál de las alternativas considera que sea más conveniente para la reparación si el defecto en la tubería pasa a través del gasador, y en qué grado?

Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Grapas metálicas						X												Grapas metálicas
Parches o medias cañas							X											Parches o medias cañas
Envolvente metálica						X												Envolvente metálica
Envolvente no metálica																	X	Envolvente no metálica
Reemplazo de la tubería																		Reemplazo de la tubería

Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Grapas metálicas																		Grapas metálicas
Parches o medias cañas																		Parches o medias cañas
Envolvente metálica																		Envolvente metálica
Envolvente no metálica																	X	Envolvente no metálica
Reemplazo de la tubería																		Reemplazo de la tubería

Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Parches o medias cañas																		Parches o medias cañas
Envolvente metálica																		Envolvente metálica
Envolvente no metálica																	X	Envolvente no metálica
Reemplazo de la tubería																		Reemplazo de la tubería

Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Envolvente metálica																		Envolvente metálica
Envolvente no metálica																	X	Envolvente no metálica
Reemplazo de la tubería																		Reemplazo de la tubería

Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Envolvente no metálica																		Envolvente no metálica
Reemplazo de la tubería																	X	Reemplazo de la tubería



Nombre:

Puesto:

Firma:

Con respecto al subcriterio de defectos por diseño, fabricación y construcción. ¿Cuál de las siguientes alternativas se ve más afectada por el defecto de diseño, fabricación y construcción, y en qué grado?																		
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	
Grapa metálica									X									Grapa metálica
Parches o medias cañas																		Parches o medias cañas
Envolvente metálica																		Envolvente metálica
Envolvente no metálica																		Envolvente no metálica
Reemplazo de la tubería																		Reemplazo de la tubería
Cincho kevlar																		
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Grapa metálica																		Grapa metálica
Parches o medias cañas																		Parches o medias cañas
Envolvente metálica																		Envolvente metálica
Envolvente no metálica																		Envolvente no metálica
Reemplazo de la tubería																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Envolvente metálica																		Envolvente metálica
Envolvente no metálica																		Envolvente no metálica
Reemplazo de la tubería																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Envolvente no metálica																		Envolvente no metálica



Nombre:

Puesto:

Firma:

Con respecto al subcriterio de defectos por daños de terceros, peligros naturales y estructurales, ¿Cuál de las siguientes alternativas se ve más afectada por los defectos de daños de terceros, peligros naturales y estructurales, y en qué grado?

Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	
Cincho levitar							X	X										Grapa metálica
																		Parques o medias cañas
																		Envoltorio metálica
																		Envoltorio no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Grapa metálica																		Parques o medias cañas
																		Envoltorio metálica
																		Envoltorio no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Parques o medias cañas																		Envoltorio metálica
																		Envoltorio no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Envoltorio metálica																		Envoltorio no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Envoltorio no metálica																		Reemplazo de la tubería



Nombre:

Puesto:

Firma:

Con respecto al subcriterio de daños por operaciones incorrectas. ¿Cuál de las siguientes alternativas es más afectada por los daños en operaciones incorrectas de la tubería, y en qué grado?

Criterio	Extremadamente importante [9]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Cincho levlar																							Grapa metálica
																							Parches o medias cañas
																							Envoltivo metálica
																							Envoltivo no metálica
																							Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Grapa metálica																							Parches o medias cañas
																							Envoltivo metálica
																							Envoltivo no metálica
																							Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Parches o medias cañas																							Envoltivo metálica
																							Envoltivo no metálica
																							Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Envoltivo metálica																							Envoltivo no metálica
																							Reemplazo de la tubería



Nombre:

Puesto:

Firma:

Con respecto al subterfijo de daños por corrosión interna, ¿Cuál de las siguientes alternativas es más afectada por los daños debido a la corrosión interna, y en qué grado?												
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Valor intermedio [3]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]
Grapa metálica												
Parches o medias cañas												
Envoltente metálica												
Envoltente no metálica												
Reemplazo de la tubería												
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Valor intermedio [3]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]
Parches o medias cañas												
Envoltente metálica												
Envoltente no metálica												
Reemplazo de la tubería												
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Valor intermedio [3]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]
Parches o medias cañas												
Envoltente metálica												
Envoltente no metálica												
Reemplazo de la tubería												
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Valor intermedio [3]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]
Envoltente metálica												
Envoltente no metálica												
Reemplazo de la tubería												
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Valor intermedio [3]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]
Envoltente no metálica												
Reemplazo de la tubería												





Nombre:

Puesto:

Firma:

Con respecto al subcriterio de daños por corrosión externa, ¿Cuál de las siguientes alternativas es más afectada por los daños debido a la corrosión externa, y en qué grado?

Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Grapa metálica						X												Grapa metálica
Parches o medias cañas							X											Parches o medias cañas
Envoltorio metálica					X													Envoltorio metálica
Envoltorio no metálica																		Envoltorio no metálica
Reemplazo de la tubería																		Reemplazo de la tubería
Cincho textil																		Cincho textil
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Grapa metálica																		Grapa metálica
Parches o medias cañas																		Parches o medias cañas
Envoltorio metálica																		Envoltorio metálica
Envoltorio no metálica																		Envoltorio no metálica
Reemplazo de la tubería																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Envoltorio metálica																		Envoltorio metálica
Envoltorio no metálica																		Envoltorio no metálica
Reemplazo de la tubería																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Envoltorio no metálica																		Envoltorio no metálica
Reemplazo de la tubería																		Reemplazo de la tubería





Nombre:  
Puesto:

Firma:

Con respecto al subcriterio de defecto por arístamiento, ¿Cuál de las siguientes alternativas es más afectada por el defecto de arístamiento, y en qué grado?																		
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	
Cincho leñal						X												Grapa metálica
																		Parches o medias cañas
																		Envoltivo metálica
																		Envoltivo no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
																		Parches o medias cañas
																		Envoltivo metálica
																		Envoltivo no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
																		Envoltivo no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
																		Reemplazo de la tubería



Nombre:

Puesto:

Firma:

Con respecto al subcritero de tubería enterrada, ¿Cuál de las siguientes alternativas tiene mayor accesibilidad para una tubería enterrada, y en qué grado?												
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]
Grapa metálica					X							
Parches o medias cañas												
Envolvente metálica												
Envolvente no metálica												
Reemplazo de la tubería											X	
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]
Grapa metálica												
Parches o medias cañas												
Envolvente metálica												
Envolvente no metálica												
Reemplazo de la tubería											X	
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]
Parches o medias cañas												
Envolvente metálica												
Envolvente no metálica												
Reemplazo de la tubería											X	
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]
Envolvente metálica												
Envolvente no metálica												
Reemplazo de la tubería											X	





Nombre:

Puesto:

Firma:

Con respecto al subcritero de tubería operando, ¿Cuál de las siguientes alternativas presenta ventajas en su instalación en una tubería operando, y en qué grado?

Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Grapa metálica																		Grapa metálica
Parchas o medias cañas																		Parchas o medias cañas
Envoltivo metálica																		Envoltivo metálica
Envoltivo no metálica																		Envoltivo no metálica
Reemplazo de la tubería																		Reemplazo de la tubería
Cincho kevlar																		
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Grapa metálica																		Grapa metálica
Parchas o medias cañas																		Parchas o medias cañas
Envoltivo metálica																		Envoltivo metálica
Envoltivo no metálica																		Envoltivo no metálica
Reemplazo de la tubería																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Envoltivo metálica																		Envoltivo metálica
Envoltivo no metálica																		Envoltivo no metálica
Reemplazo de la tubería																		Reemplazo de la tubería





Nombre:

Puesto:

Firma:

Con respecto al subcritero de espesor y diámetro nominal de la tubería, ¿Cuál de las siguientes alternativas presentan ventajas en su colocación tomando en cuenta su espesor y diámetro nominal de la tubería, y en qué grado?

Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Cincho levitar					X								X					Grage metálica
					X								X					Parches o medias cañas
					X								X					Envolverte metálica
					X								X					Envolverte no metálica
					X								X					Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
					X								X					Parches o medias cañas
					X								X					Envolverte metálica
					X								X					Envolverte no metálica
					X								X					Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Envolverte metálica					X								X					Envolverte no metálica
					X								X					Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Envolverte no metálica					X								X					Reemplazo de la tubería





Nombre:

Puesto:

Firma:

Con respecto al subcriterio de soldadura circumferencial y longitudinal de la tubería, ¿Cual de las siguientes alternativas presentan ventajas en su colocación tomando en cuenta las soldaduras circumferenciales y longitudinales de la tubería, y en qué grado?

Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Cincho kevlar					X																										Grapas metálicas
																															Parques o medias cañas
																															Envoltivo metálica
																															Envoltivo no metálica
																															Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Grapas metálica																															Parques o medias cañas
																															Envoltivo metálica
																															Envoltivo no metálica
																															Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Parques o medias cañas																															Envoltivo metálica
																															Envoltivo no metálica
																															Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Envoltivo metálica																															Envoltivo no metálica
																															Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Envoltivo no metálica																															Reemplazo de la tubería





Nombre:

Puesto:

Firma:

Con respecto al subcriterio de elemento curvo, ¿Cuál de las siguientes alternativas presentan ventajas en su colocación tomando en cuenta la forma del elemento es curvo y en qué grado?

Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertes importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertes importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Cincho teilar						X												Grapa metálica
																		Parches o medias cañas
																		Envolvente metálica
																		Envolvente no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertes importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertes importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Grapa metálica																		Parches o medias cañas
																		Envolvente metálica
																		Envolvente no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertes importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertes importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Parches o medias cañas																		Envolvente metálica
																		Envolvente no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertes importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertes importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Envolvente metálica																		Envolvente no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertes importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertes importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Envolvente no metálica																		Reemplazo de la tubería



Anexo 6. Respuestas del experto 2 (nivel 2).

Nombre: FABIAN JIMENEZ AMADO  
 Puesto: INTEGRIDAD MECANICA

Firma:

Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	
Seguridad durante la instalación de la reparación								X		X								
								X		X								
Costo económico																		



Nombre: FABIAN JUHENEZ AMADO  
Puesto: INTEGRIDAD MECANICA

Firma:

Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]
Características del defecto								X									
Amenazas independientes del tiempo								X				X					
Amenazas dependientes del tiempo								X				X					
Localización de la tubería (accesibilidad)								X									
Características operacionales de la tubería								X									
Características físicas-mecánicas de la tubería y/o accesorios								X									

Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]
Amenazas independientes del tiempo																	
Amenazas dependientes del tiempo																	
Localización de la tubería (accesibilidad)																	
Características operacionales de la tubería								X									
Características físicas-mecánicas de la tubería y/o accesorios								X									

Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]
Amenazas independientes del tiempo												X					
Amenazas dependientes del tiempo																	
Localización de la tubería (accesibilidad)								X									
Características operacionales de la tubería								X									
Características físicas-mecánicas de la tubería y/o accesorios								X									



Nombre: FABIAN JUAREZ RAMOS  
Puesto: INTEGRIDAD MECANICA

Firma: \_\_\_\_\_

Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuerte importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertes importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Fuertes importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	Muy fuerte importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio	
							X	X				X										Localización de la tubería (pequeñitud)
							X	X														Características operacionales de la tubería (accesibilidad)
																						Características operacionales de la tubería (accesibilidad)
																						Características operacionales de la tubería (accesibilidad)









Anexo 6. Respuestas del experto 2 (nivel 4)

Nombre: FABIAN TIMENEZ AMADO  
Puesto: INTEGRADOR MECANICA

Firma:

Con respecto al subcriterio de la seguridad del personal durante la instalación, ¿Cuál de las alternativas considera más segura, y en qué grado?																		
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Moderadamente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Cincho levár																		Grapa metálica
																		Parches o medias cañas
																		Envoltorio metálica
																		Envoltorio no metálica
Grapa metálica																		Reemplazo de la tubería
																		Reemplazo de la tubería
																		Reemplazo de la tubería
																		Reemplazo de la tubería
Grapa metálica																		Reemplazo de la tubería
																		Reemplazo de la tubería
																		Reemplazo de la tubería
																		Reemplazo de la tubería
Grapa metálica																		Reemplazo de la tubería
																		Reemplazo de la tubería
																		Reemplazo de la tubería
																		Reemplazo de la tubería



Nombre: FABIAN JIMENEZ AMADO  
Puesto: INTEGRIDAD MECANICA

Firma: \_\_\_\_\_

Con respecto al subcritero de la seguridad en el área donde se instalará la reparación, ¿Cuál de las alternativas considera más segura, y en qué grado?																		
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Cincho levilar																		Grapa metálica
		X																Parches o medias cañas
		X																Envoltente metálica
							X											Envoltente no metálica
Grapa metálica																		Reemplazo de la tubería
																		Parches o medias cañas
																		Envoltente metálica
																		Envoltente no metálica
Criterio																		Reemplazo de la tubería
																		Envoltente metálica
																		Envoltente no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio																		Envoltente metálica
																		Envoltente no metálica
																		Reemplazo de la tubería
																		Envoltente no metálica
Envoltente metálica																		Reemplazo de la tubería
																		Envoltente metálica
																		Envoltente no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio																		Envoltente metálica
																		Envoltente no metálica
																		Reemplazo de la tubería
																		Envoltente no metálica
Envoltente no metálica																		Reemplazo de la tubería
																		Envoltente metálica
																		Envoltente no metálica
																		Reemplazo de la tubería





Nombre:

Puesto:

Firma:

FABIAN JIMENEZ AMADO  
INTEGRIDAD MECANICA

Con respecto al subcritero de costo de la mano de obra, ¿Cuál de las alternativas considera más accesible con respecto al costo, y en qué grado?

Criterio	Extremadamente importante [9]		Muy fuertemente importante [7]		Fuertemente importante [5]		Valor intermedio [4]		Moderadamente importante [3]		De igual importancia [1]		Valor intermedio [2]		Moderadamente importante [3]		Fuertemente importante [5]		Muy fuertemente importante [7]		Extremadamente importante [9]		Criterio
	Valor intermedio [8]	Valor intermedio [9]	Valor intermedio [7]	Valor intermedio [8]	Valor intermedio [5]	Valor intermedio [6]	Valor intermedio [4]	Valor intermedio [5]	Valor intermedio [3]	Valor intermedio [4]	Valor intermedio [1]	Valor intermedio [2]	Valor intermedio [3]	Valor intermedio [4]	Valor intermedio [5]	Valor intermedio [7]	Valor intermedio [8]	Valor intermedio [9]	Valor intermedio [7]	Valor intermedio [8]	Valor intermedio [9]		
Cincho kevlar							X																Cincha metálica
																							Parches o medias cañas
																							Envoltente metálica
																							Envoltente no metálica
																							Reemplazo de la tubería
Criterio																							Criterio
																							Parches o medias cañas
																							Envoltente metálica
																							Envoltente no metálica
																							Reemplazo de la tubería
Criterio																							Criterio
																							Parches o medias cañas
																							Envoltente metálica
																							Envoltente no metálica
																							Reemplazo de la tubería
Criterio																							Criterio
																							Parches o medias cañas
																							Envoltente metálica
																							Envoltente no metálica
																							Reemplazo de la tubería
Criterio																							Criterio
																							Parches o medias cañas
																							Envoltente metálica
																							Envoltente no metálica
																							Reemplazo de la tubería



Nombre: FABIAN SIMIENES AMARO  
Puesto: INTEGRADOR MECANICA

Firma: \_\_\_\_\_

Con respecto al subcritero de conocimiento técnico requerido del personal, ¿Cuál de las alternativas considera que requiere una mayor capacidad de conocimiento técnico para aplicar la técnica, y en qué grado?

Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Cincho kevlar				X	X													Cincho o medias cañas
																		Envoltorio metálica
																		Envoltorio no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Grapa metálica																		Grapas o medias cañas
																		Envoltorio metálica
																		Envoltorio no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Envoltorio metálica																		Envoltorio no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Envoltorio no metálica																		Reemplazo de la tubería





Nombre:

FABIAN JIMENEZ AMADO

Puesto:

INTEGRADOR MECANICA

Firma:

Con respecto al subterfugio de defectos no pasantes. ¿Cuál de las alternativas considera que sea más conveniente para la reparación si el defecto en la tubería no pasa a través del espesor, y en qué grado?																			
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	
Cincho kevlar				X															Grapa metálica
										X									Parches o medias cañas
																			Envolverte metálica
																			Envolverte no metálica
																			Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
																			Parches o medias cañas
																			Envolverte metálica
																			Envolverte no metálica
																			Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
																			Parches o medias cañas
																			Envolverte metálica
																			Envolverte no metálica
																			Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
																			Parches o medias cañas
																			Envolverte metálica
																			Envolverte no metálica
																			Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
																			Parches o medias cañas
																			Envolverte metálica
																			Envolverte no metálica
																			Reemplazo de la tubería



Nombre:

FABIAN JIMENEZ AMADO

Puesto:

INTEGRADOR MECANICA

Firma:

Con respecto al subcriterio de defecto pasante, ¿Cuál de las alternativas considera que sea más conveniente para la reparación si el defecto en la tubería pasa a través del espesor, y en qué grado?																		
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	
Cincho levitar				X		X			X									Grapa metálica
																		Parches o medias cañas
																		Envoltivo metálica
																		Envoltivo no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
																		Parches o medias cañas
									X		X							Envoltivo metálica
																		Envoltivo no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
																		Envoltivo no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
																		Reemplazo de la tubería





Nombre:

Puesto:

FABIAN JIMENEZ AMADO  
INTE GRADADO MECANICA

Firma:

Con respecto al subterfugio de defectos por diseño, fabricación y construcción, ¿Cuál de las siguientes alternativas se ve más afectada por el defecto de diseño, fabricación y construcción, y en qué grado?																		
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
				X				X										Grapa metálica
				X				X										Parches o medias cañas
				X				X										Envolverte metálica
									X									Envolverte no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
																		Parches o medias cañas
																		Envolverte metálica
																		Envolverte no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
																		Parches o medias cañas
																		Envolverte metálica
																		Envolverte no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
																		Parches o medias cañas
																		Envolverte metálica
																		Envolverte no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Envolverte no metálica									Nivel 4									Reemplazo de la tubería





Nombre: FABIAN JIMENEZ AMADO  
Puesto: INTEGRADO MECANICA

Firma:

Con respecto al subcriterio de daños por operaciones incorrectas es más afectada por los daños en operaciones incorrectas de la tubería, y en qué grado?												
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]
Cincho levitar				X						X		
Parches o medias cañas												
Envoltorio metálica												
Reemplazo de la tubería												
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]
Envoltorio metálica												
Reemplazo de la tubería												
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]
Envoltorio metálica												
Reemplazo de la tubería												
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]
Envoltorio metálica												
Reemplazo de la tubería												



# UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”



Nombre:

FABIAN JIMENEZ ANADO  
INTEGRACION MECANICA

Puesto:

Firma:

Con respecto al subcriterio de daños por corrosión interna, ¿Cuál de las siguientes alternativas es más afectada por los daños debido a la corrosión interna, y en qué grado?																		
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	
Cincho levijar						X												Grapa metálica
							X											Parches o medias cañas
							X											Envoltorio metálica
								X										Envoltorio no metálica
										X								Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
																		Parches o medias cañas
																		Envoltorio metálica
																		Envoltorio no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
																		Envoltorio metálica
																		Envoltorio no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
																		Envoltorio no metálica
																		Reemplazo de la tubería



Nombre:

FABIAN JIMENEZ AMADO  
INTEGRIDAD MECANICA

Firma:

Con respecto al subterrito de defecto por erosión, ¿Cuál de las siguientes alternativas es más afectada por el defecto de erosión, y en qué grado?																		
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertes importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertes importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Cincho levitar																		Grapa metálica
																		Parches o medias cañas
																		Envoltente metálica
																		Envoltente no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertes importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertes importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Grapa metálica																		Parches o medias cañas
																		Envoltente metálica
																		Envoltente no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertes importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertes importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Parches o medias cañas																		Envoltente metálica
																		Envoltente no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertes importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertes importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Envoltente metálica																		Envoltente no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertes importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertes importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Envoltente no metálica																		Reemplazo de la tubería





Nombre: FABIAN JIMENEZ AYADO  
 Puesto: INTEGRADOR MECANICA

Firma: \_\_\_\_\_

Con respecto al subterfugio de tubería enterrada, ¿Cuál de las siguientes alternativas tiene mayor accesibilidad para una tubería enterrada, y en qué grado?																																						
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertes importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertes importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertes importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertes importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio				
Cincho kevlar							X																												Grupa metálica			
							X																												Parches o medias cañas			
							X																												Envoltorio metálica			
Grupa metálica																																				Envoltorio no metálica		
																																				Reemplazo de la tubería		
																																				Reemplazo de la tubería		
Parches o medias cañas																																					Envoltorio metálica	
																																					Envoltorio no metálica	
																																				Reemplazo de la tubería		
Envoltorio metálica																																					Envoltorio no metálica	
																																					Reemplazo de la tubería	
																																					Reemplazo de la tubería	
Envoltorio no metálica																																						Reemplazo de la tubería
																																						Reemplazo de la tubería
																																						Reemplazo de la tubería



Nombre:

Puesto:

**FABIAN DIMENIS AMADO  
INTEGRADO MECANICA**

Firma:

Con respecto al subcriterio de tubería superficial, ¿Cuál de las siguientes alternativas tiene mayor accesibilidad para una tubería superficial, y en qué grado?																		
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	
Cincho kevlar						X						X						Grapa metálica
									X									Parches o medias cañas
																		Envoltivo metálica
																		Envoltivo no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
																		Parches o medias cañas
																		Envoltivo metálica
																		Envoltivo no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
																		Envoltivo metálica
																		Envoltivo no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
																		Envoltivo metálica
																		Envoltivo no metálica
																		Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [8]	Extremadamente importante [9]	Criterio
																		Envoltivo metálica
																		Envoltivo no metálica
																		Reemplazo de la tubería
																		Reemplazo de la tubería





Nombre:

Puesto:

FABIAN JIMENEZ AMARO  
INTEGRADOR MECANICA

Firma:

Com respecto al subcritero de tubería operando, ¿Cuál de las siguientes alternativas presenta ventajas en su instalación en una tubería operando, y en qué grado?																												
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [0]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [0]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Cincho kevlar			X																									Grapa metálica
																												Parches o medias cañas
																												Envoltivo metálica
Grapa metálica																												Envoltivo no metálica
																												Reemplazo de la tubería
																												Envoltivo metálica
Criterio																												Envoltivo no metálica
																												Reemplazo de la tubería
																												Envoltivo metálica
Parches o medias cañas																												Envoltivo no metálica
																												Reemplazo de la tubería
																												Envoltivo metálica
Criterio																												Envoltivo no metálica
																												Reemplazo de la tubería
																												Envoltivo metálica
Envoltivo metálica																												Envoltivo no metálica
																												Reemplazo de la tubería
																												Envoltivo metálica
Criterio																												Envoltivo no metálica
																												Reemplazo de la tubería
																												Envoltivo metálica
Envoltivo no metálica																												Envoltivo no metálica
																												Reemplazo de la tubería
																												Envoltivo metálica







Nombre: FABIAN JIMENEZ AMAO  
Puesto: INTEGRADOR MECANICA

Firmas:

Con respecto al subcritero de soldadura circunferencial y longitudinal de la tubería, ¿Cuál de las siguientes alternativas presentan ventajas en su colocación tomando en cuenta las soldaduras circunferenciales y longitudinales de la tubería, y en qué grado?												
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	De igual importancia [3]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [1]	Valor intermedio [0]	Extremadamente importante [9]	Criterio
Cincho kevlar		X	X	X								Grapa metálica
							X					Parches o medias cañas
												Envoltiva metálica
												Envoltivo no metálica
												Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	De igual importancia [3]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [1]	Valor intermedio [0]	Extremadamente importante [9]	Criterio
												Parches o medias cañas
												Envoltiva metálica
												Envoltivo no metálica
												Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	De igual importancia [3]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [1]	Valor intermedio [0]	Extremadamente importante [9]	Criterio
												Parches o medias cañas
												Envoltiva metálica
												Envoltivo no metálica
												Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	De igual importancia [3]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [1]	Valor intermedio [0]	Extremadamente importante [9]	Criterio
												Parches o medias cañas
												Envoltiva metálica
												Envoltivo no metálica
												Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	De igual importancia [3]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [1]	Valor intermedio [0]	Extremadamente importante [9]	Criterio
												Parches o medias cañas
												Envoltiva metálica
												Envoltivo no metálica
												Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	De igual importancia [3]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [1]	Valor intermedio [0]	Extremadamente importante [9]	Criterio
												Parches o medias cañas
												Envoltiva metálica
												Envoltivo no metálica
												Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	De igual importancia [3]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [1]	Valor intermedio [0]	Extremadamente importante [9]	Criterio
												Parches o medias cañas
												Envoltiva metálica
												Envoltivo no metálica
												Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	De igual importancia [3]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [1]	Valor intermedio [0]	Extremadamente importante [9]	Criterio
												Parches o medias cañas
												Envoltiva metálica
												Envoltivo no metálica
												Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	De igual importancia [3]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [1]	Valor intermedio [0]	Extremadamente importante [9]	Criterio
												Parches o medias cañas
												Envoltiva metálica
												Envoltivo no metálica
												Reemplazo de la tubería
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	De igual importancia [3]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [1]	Valor intermedio [0]	Extremadamente importante [9]	Criterio
												Parches o medias cañas
												Envoltiva metálica
												Envoltivo no metálica
												Reemplazo de la tubería



Nombre:

Puesto:

FABIAN JIMENEZ AMADO  
INTEGRAADOR MECANICA

Firma:

Con respecto al subcriterio de elemento recto, ¿Cuál de las siguientes alternativas presentan ventajas en su colocación tomando en cuenta que la forma del elemento es recto, y en qué grado?												
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [2]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]
Cincho levitar				X		X						
									X			
						X						
Grupe metálica												
Criterio												
Parches o medias cañas												
Envolveinte metálica												
Criterio												
Envolveinte no metálica												
Criterio												
Envolveinte no metálica												
Criterio												
Envolveinte no metálica												



Nombre: FABIAN JUJENEZ AMADO  
Puesto: INTEGRIDAD MECÁNICA

Firma: \_\_\_\_\_

Con respecto al subcriterio de elemento curvo, ¿Cuál de las siguientes alternativas presentan ventajas en su colocación tomando en cuenta la forma del elemento es curvo, y en qué grado?															
Criterio	Extremadamente importante		Muy fuertemente importante		Fuertemente importante		Moderadamente importante		De igual importancia		Moderadamente importante		Extremadamente importante		
	Valor intermedio [3]	Valor intermedio [3]	Valor intermedio [6]	Valor intermedio [7]	Valor intermedio [4]	Valor intermedio [5]	Valor intermedio [2]	Valor intermedio [3]	Valor intermedio [1]	Valor intermedio [2]	Valor intermedio [3]	Valor intermedio [4]	Valor intermedio [5]	Valor intermedio [9]	
Cincho levitar			X						X						
Grapa metálica													X		
Parches o medias cañas													X		
Envolverte metálica														X	
Reemplazo de la tubería														X	
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Extremadamente importante [9]
Envolverte metálica															X
Envolverte no metálica															X
Reemplazo de la tubería															X
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Extremadamente importante [9]
Envolverte metálica															X
Envolverte no metálica															X
Reemplazo de la tubería															X
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Extremadamente importante [9]
Envolverte metálica															X
Envolverte no metálica															X
Reemplazo de la tubería															X
Criterio	Extremadamente importante [9]	Valor intermedio [8]	Muy fuertemente importante [7]	Valor intermedio [6]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [4]	Moderadamente importante [3]	De igual importancia [1]	Valor intermedio [2]	Moderadamente importante [3]	Valor intermedio [4]	Fuertemente importante [5]	Valor intermedio [6]	Muy fuertemente importante [7]	Extremadamente importante [9]
Envolverte metálica															X
Envolverte no metálica															X
Reemplazo de la tubería															X

<b>Alojamiento de la Tesis en el Repositorio Institucional</b>	
<b>Título de Tesis:</b>	Desarrollo e implementación del método Proceso Analítico Jerárquico para la selección del tipo de mantenimiento correctivo en la línea de proceso crudo maya de la TMDB.
<b>Autor de la Tesis:</b>	Jorge Enrique Flores Dayet
<b>ORCID:</b>	<a href="https://orcid.org/0009-0007-7080-2729">https://orcid.org/0009-0007-7080-2729</a>
<b>Resumen de la Tesis</b>	<p>Los mantenimientos correctivos en la Terminal Marítima Dos Bocas (TMDB) se han llevado a cabo mediante empresas subcontratistas, quienes, adaptando y aplicando sus técnicas de reparación, han logrado disminuir la cantidad de fugas en las líneas de proceso. Como resultado, surgió el interés de crear un grupo de trabajo propio de la empresa contratista, capaz de realizar las mismas actividades de mantenimiento correctivo en las líneas de proceso dentro de la TMDB. Este estudio propone el desarrollo de la metodología del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para seleccionar el tipo de mantenimiento correctivo en la línea de proceso crudo maya de la TMDB; la metodología AHP compara criterios y alternativas por pares para determinar sus ponderaciones, evaluando la importancia de cada elemento jerárquico mediante datos simultáneos. Los cálculos proporcionan pesos o prioridades, generando una jerarquía de preferencia que evalúa criterios y opciones, produciendo un puntaje global para cada opción. Este trabajo se ha enfocado en describir cómo las ciencias matemáticas, a través del AHP, han abordado la necesidad de resolver problemas multicriterio. Específicamente, se presenta el AHP como una alternativa para seleccionar el método o los métodos de reparación en la TMDB. En conclusión, la metodología AHP es una herramienta muy útil en la toma de decisiones multicriterio, permitiendo convertir lo cualitativo (juicios humanos) en cuantitativo mediante matrices y, de esa manera, tomar la o las mejores decisiones.</p>
<b>Palabras claves de la Tesis:</b>	AHP, mantenimiento correctivo, TMDB, decisiones multicriterio, toma de decisiones.
<b>Referencias citadas:</b>	Se presentan en la página 93