

**Valoración del Riesgo en Actividades de Hot Tapping Usando un Modelo
de Toma de Decisiones de Múltiples Atributos (MADM)**

Jorge H. Morales Guzmán (00000108933) y Javier Silva Tole (00000109985)

Universidad ECCI Dirección de Posgrados

Especialización en Gerencia de la Seguridad y Salud en el Trabajo

Bogotá, Colombia

Abril 2022

**Valoración del Riesgo en Actividades de Hot Tapping Usando un Modelo
de Toma de Decisiones de Múltiples Atributos (MADM)**

Jorge H. Morales Guzmán y Javier Silva Tole

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Especialista en Gerencia de la Seguridad y Salud en el Trabajo

Directora:

Julietha Alexandra Oviedo Correa

Universidad ECCI Dirección de Posgrados

Especialización en Gerencia de la Seguridad y Salud en el Trabajo

Bogotá, Colombia

Abril, 2022

A mi familia por el apoyo incondicional en el cumplimiento de mis metas, en especial a un ángel (Ruby) promotora de este proyecto en mi vida en la tierra y ahora desde cielo me acompaña.

Jorge H. Morales G.

La preocupación por el hombre y su destino siempre debe ser el interés primordial de todo esfuerzo técnico. Nunca olvides esto entre tus diagramas y ecuaciones.

Albert Einstein

Declaración de obra original

Nosotros declaramos lo siguiente:

Hemos leído el Reglamento Estudiantil, Capítulo XI de la Universidad ECCI. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa nuestro trabajo original, excepto donde hemos reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, hemos realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

Hemos obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, hemos sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.

Jorge Humberto Morales

Javier Silva Tole

Fecha 10/05/2022

Agradecimientos

Con enorme sentimiento agradecemos a los docentes de la Universidad ECCI, por sus aportes académicos e institucionales para el desarrollo y culminación de este Trabajo de Grado.

A la Dra. Julietha Oviedo, por su paciencia y enorme conocimiento en investigación, sin la cual no se hubiese concretado la publicación de este trabajo de grado.

A la empresa Unión Temporal R&R por permitirnos evaluar su procedimiento de trabajo UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS, el cual es la base procedimental de este trabajo de grado y en especial a la empresa Rhema International de la cual recibí todo el apoyo profesional y técnico de uno de los expertos en el país en procedimientos de Hot tapping, el Ing. William Pitta Meneses, así como al Ing. Giovanni Navarro, experto en Control de Calidad, al viejo Zamir José Camargo Jiménez, Técnico de Hot tapping por sus aporte en campo y al personal operativo que facilitaron el trabajo de campo.

Resumen

Se realizó durante el semestre B de 2021, un estudio de valoración del riesgo sobre intervenciones con procedimiento HOT TAPPING en líneas de conducción de hidrocarburos en servicio, mediante la aplicación de una aproximación adaptada de un Modelo de Toma de Decisiones de Múltiples Atributos (MADM, por su sigla en inglés). Para la aplicación del MADM, los rangos de frecuencia y consecuencias se mapearon en una matriz de riesgo de acuerdo a procedimientos de la industria de hidrocarburos aplicados en Colombia.

La mitigación se seleccionó mediante la implementación del MADM utilizando el método de proceso de jerarquía analítica (AHP, por su sigla en inglés). Con base en los resultados estudiados durante períodos de procedimientos HOT TAPPING, se estableció los perfiles de riesgo de modo general, lo que significó que, técnicamente en la práctica, el riesgo seguirá siendo aceptable y no se requirió más mitigación por el peligro que posee la intervención sobre las líneas de conducción en servicio. Como conclusión de esta investigación, la evaluación de los riesgos se deberá identificar y valorar para cada actividad de intervención y de cada procedimiento HOT TAPPING analizado, de modo que se pueda tomar las medidas de mitigación y control cuando el riesgo valorado, sea inaceptable, para lo cual se deberá implementar una línea base mediante la implementación de un protocolo de seguridad específico para procedimientos HOT TAPPING.

Palabras clave: Evaluación del Riesgo, Hot Tapping, hidrocarburos, seguridad industrial.

Abstract

A risk assessment study on interventions with HOT TAPPING procedures in hydrocarbon pipelines was carried out during semester B of 2021, by applying an adapted approach of a Multiple Attribute Decision-Making Model (MADM, for its acronym in English). For the application of the MADM, the frequency and consequence ranges were mapped in a risk matrix according to the protocols of the hydrocarbon industry applied in Colombia.

The mitigation was selected by implementing the MADM using the analytical hierarchy process (AHP) method. Based on the results studied during periods of HOT TAPPING procedures, the risk profiles were established in a general way, which meant that, technically in practice, the risk will continue to be acceptable and no further mitigation was required due to the danger posed by the intervention on conduction lines. As a conclusion to this investigation, the risk assessment should be taken for each activity of the intervention and for each HOT TAPPING procedure analyzed, so that mitigation can be taken when the assessed risk is unacceptable, for which a baseline will be implemented from a specific industrial safety protocol to HOT TAPPING procedures.

Keywords: Risk Assessment, Tapping, hydrocarbons, industrial safety.

Valoración del Riesgo en Actividades de Hot Tapping Usando un Modelo de Toma de Decisiones de Múltiples Atributos (MADM)

El HOT TAPPING o el tap de presión es el método de hacer una conexión a tuberías o recipientes existentes sin interrumpir el sistema de conducción de hidrocarburos. El HOT TAPPING es también el primer procedimiento en la parada de una línea, donde la sierra perforadora se usa para hacer una abertura en la tubería para que se puede insertar un cabezal de conexión de la línea. Los servicios de HOT TAPPING pueden incluir de 1/2" a 102" en gas natural, agua, alcantarillado, vapor, productos derivados del petróleo y productos químicos (International Flow Technologies Inc., 2017)

En los sistemas de transmisión y distribución de gas natural, con frecuencia es necesario reubicar o expandir las tuberías existentes, instalar nuevas válvulas o reparar las viejas, instalar nuevos laterales, realizar mantenimiento o acceder a las líneas durante emergencias. Históricamente, ha sido una práctica común cerrar la parte del sistema durante la alteración, detectar el gas dentro del segmento aislado y purgar la tubería con gas inerte para garantizar una conexión segura (Environmental Protection Agency EPA, 2016)

El procedimiento para realizar la interconexión de apagado difiere ligeramente según la presión del sistema. En los sistemas de alta presión, las válvulas circundantes están cerradas para aislar el segmento de la tubería a intervenir y con tapones adicionales (tapones insertados) se colocan junto a las válvulas para evitar fugas del producto transportado y mejorar las condiciones de seguridad en el sitio de

interconexión. En un sistema de baja presión, la longitud de la tubería que se cierra suele ser mucho más corta. En lugar de cerrar las válvulas circundantes, se utilizan tapones para aislar la parte de la tubería directamente alrededor del área del grifo. En ambos casos, el gas en el segmento aislado de la tubería se ventila y la línea se purga. Los impactos asociados con la realización de una interconexión de parada son tanto económicos como ambientales (Environmental Protection Agency EPA, 2016).

Para (Jaramillo Correa, 2016), en su tesis de grado Diseño construcción de una máquina para perforar tuberías de petróleo, la función primordial de las líneas de flujo es la de transportar petróleo desde un pozo hasta una estación de bombeo, por lo que se tiene que verificar constantemente que las tuberías se encuentren en buen estado, realizando inspecciones visuales en toda la línea.

La necesidad de realizar conexiones nuevas como líneas de purga, cambios de línea de flujo o cambios de tramo de tubería en campo abierto, para mejorar el transporte del crudo hasta la estación, incita a la innovación de herramientas de corte, con la finalidad de reducir los costos de producción (Jaramillo Correa, 2016)

Debido a la poca literatura académica existente sobre este específico procedimiento, este trabajo de grado es pionero en el campo de evaluar la seguridad y la salud en el trabajo para el mismo, acogiéndose a lo avalado por el Instituto Estadounidense del Petróleo (API), la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos (ASME) y otras organizaciones que dictan normas para la intervención de tuberías en servicio en todos los diámetros, presiones de flujo y ubicaciones.

Por su parte, la investigación se implementó, en la empresa sobre la que uno de los autores labora, Unión Temporal R&R (Rhema Int. y Royma Ingeniería), que utiliza el procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS (Ver Anexo A).

El objetivo alcanzado respecto de evaluar el riesgo sobre procedimientos de HOT TAPPINGPING en intervenciones de líneas de conducción de hidrocarburos en Colombia, mediante la aplicación de una aproximación de un modelo de toma de decisiones en múltiples atributos (MADM), es pionero en el campo académico dirigido a observar estos procedimientos bajo el enfoque de seguridad y salud en el trabajo.

El uso de MADM y de proceso de jerarquía analítica (AHP), ayudaron a la evaluación de los protocolos existentes en procedimientos aprobados de HOT TAPPINGPING en la industria petrolera colombiana, así como a la elaboración de una lista de chequeo ajustada a partir del MADM y el AHP aplicados, que se usaran para mitigar el riesgo sobre procedimientos HOT TAPPINGPING y TAI IN en intervenciones de líneas de conducción de hidrocarburos en Colombia.

Tabla de contenidos

Tabla de contenidos	11
Tabla de tablas	14
Tabla de figuras	16
1 Problema de Investigación	17
1.1 Descripción del Problema	17
1.2 Formulación del Problema	20
2 Objetivos	22
2.1 Objetivo General	22
2.2 Objetivos Específicos	22
3 Justificación y Delimitación	23
3.1 Justificación	23
3.2 Delimitación	24
3.3 Limitaciones	25
4 Marcos de Referencia	26
4.1 Estado del Arte	26
4.1.1 Investigación local y nacional	32
4.1.2 Investigación internacional	38
4.2 Marco Teórico	43
4.2.1 Los riesgos del trabajo en caliente (Hot Work) con el proceso hot tapping (Protocolos API)	43
4.2.2 Seguridad y salud ocupacional para trabajos de hot tapping en equipos o tuberías en servicio.	46

	12
4.3 Marco Legal	50
5 Marco Metodológico de la Investigación	52
5.1 Paradigma	52
5.2 Método	52
5.3 Tipo de investigación	53
5.3.1 Población	53
5.3.2 Determinación de la muestra	53
5.3.3 Fuentes de información	54
5.3.4 Recolección de la información	55
5.4 Fases	55
5.4.1 Aplicación del MADM	55
5.4.2 Aplicación del AHP	55
5.4.3 Elaboración de lista de chequeo al procedimiento hot tapping en la empresa Unión Temporal R&R	56
5.4.4 Elaboración de la matriz de identificación de peligros y evaluación de riesgos para la ejecución de la actividad de hot tapping.	56
5.4.4.1 Marco metodológico elaboración de la matriz de identificación de peligros y evaluación de riesgos para la ejecución de la actividad de hot tapping.	57
6 Resultados	58
6.1 Análisis e interpretación de resultados	58
6.1.1 Aplicación del AHP	58
6.1.2 Aplicación del MADM	67

	13
6.1.3 Elaboración de la matriz de identificación de peligros y evaluación de riesgos para la ejecución de la actividad de hot tapping	75
6.2 Discusión	77
7 Análisis Financiero	83
8 Conclusiones y Recomendaciones	83
8.1 Conclusiones	83
8.2 Recomendaciones	86
Referencias	87
Apéndice	93
Anexo 94	
Apéndice A: Formulario Encuesta Procedimiento Hot Tap.	95
Apéndice B: Check List Preoperacional para Trabajos de Hot Tapping	98
Apéndice C: Matriz de Evaluación del riesgo para la ejecución de actividades de Hot Tapping.	99
Apéndice D: Registro Fotográfico.	100
Anexo A: Procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS de la Unión Temporal R&R.	105
Anexo B. Formato de Inspección Áreas de Trabajo	138

Tabla de tablas

Tabla 1 Comparación Aplicado al AHP para Evaluación del Procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS Frente a lo Recomendado en la Norma API 2019	60
Tabla 2 Categorización de Criterios (Factores) y Sub Criterios Aplicado al AHP para Evaluación del Protocolo UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS Frente a lo Recomendado en la Norma API 2019.	61
Tabla 3 Cuestionario Matriz Criterios Efectivos y Comparación de Pares Aplicados al AHP para la Evaluación del Procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAP Frente a lo Recomendado en la Norma API 2019.	62
Tabla 4 Matriz Triangular Superior para criterios Efectivos y Comparación de Pares, Aplicado al AHP para la Evaluación del Procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS Frente a lo Recomendado en la Norma API 2019.	63
Tabla 5 Matriz Triangular Superior e Inversa para Criterios Efectivos y Comparación por Pares, Aplicado al AHP para la Evaluación del Procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS Frente a lo Recomendado en API 2019.	63
Tabla 6 Normalización de la Matriz Triangular Superior e Inversa para Criterios Efectivos y Comparación por Pares, Aplicado al AHP para la Evaluación del Procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS Frente a lo Recomendado en API 2019.	64

Tabla 7 Calculo del Análisis de Consistencia en la Evaluación al AHP del Procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS Frente a lo Recomendado en la Norma API 2019.	65
Tabla 8 Cálculo de la Media de Consistencia (CI).	66
Tabla 9 Cálculo del Índice de Consistencia	66
Tabla 10 Cálculo del MADM Basado en una Función de Perdida de Alternativa Usando una Regresión Lineal Múltiple para los Criterios y Subcriterios Evaluados para Evaluación del Procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS.	71
Tabla 11 Calculo de cuadrados dentro del MADM basado en una función de perdida de alternativa, usando una regresión lineal múltiple para los criterios y subcriterios evaluados del procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS.	72
Tabla 12 Matriz de Varianzas y Covarianzas Dentro del MADM Basado en una Función de Perdida de Alternativa, Usando una Regresión Lineal Múltiple para los Criterios y Subcriterios Evaluados del Procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS.	72
Tabla 13 Matriz Inversa Dentro del MADM Basado en una Función de Perdida de Alternativa, Usando una Regresión Lineal Múltiple para los Criterios y Subcriterios Evaluados del Procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS.	73
Tabla 14 Análisis de Varianza Dentro del MADM Basado en una Función de Perdida de Alternativa, Usando una Regresión Lineal Múltiple para los Criterios y	

	16
Subcriterios Evaluados del Procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS.	74
Tabla 15 Análisis Financiero de los Recursos Necesarios para el Trabajo de Grado.	83

Tabla de figuras

Ilustración 1 Esquema AHP para Evaluación del Procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS Frente a lo Recomendado en la Norma API 2019.	59
--	----

1 Problema de Investigación

Como se anotó antes, antecedentes académicos a la evaluación en seguridad y salud en el trabajo para el procedimiento de HOT TAPPING, no existen en el país, y son muy esporádicos en la literatura internacional.

Esto se debe a la particularidad de la industria de los hidrocarburos, la cual obedece a reglamentaciones operativas de entidades extranjeras como las dictadas por el Instituto Estadounidense del Petróleo (API), la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos (ASME) y otras organizaciones.

1.1 Descripción del Problema

Teniendo en cuenta que el sector energético del país es uno de los más importantes, sin duda alguna su alto riesgo en la ejecución de cada una de sus actividades, es una de las problemáticas que desde la edad moderna hasta la fecha ha contribuido con cifras significativas con la accidentalidad en la clase trabajadora, en cifras tomada por el Ministerio del Trabajo de Colombia en el año 2020 se registraron 450.110 accidentes de trabajo calificados y que para el año 2019 la accidentalidad fue de 611.275 casos, lo cual refleja una reducción del 26% con respecto al año 2020.

Son numerosos los casos de accidentes laborales que se presentan en el sector de los hidrocarburos, casi el medio millón de casos, por lo que es importante diseñar procedimientos de trabajo seguro con el fin de seguir disminuyendo las cifras de accidentalidad y contribuir continuamente por el bienestar de los trabajadores de este

sector que a bien contribuye en gran parte con el desarrollo del país. (Ministerio del Trabajo de Colombia, 2021)

En los sistemas de transporte y distribución de hidrocarburos como oleoductos, poliductos y gasoductos, con frecuencia es necesario reubicar o expandir líneas de tuberías existentes, instalar nuevas válvulas de control o reparar las ya instaladas, instalar derivaciones, realizar mantenimiento o acceder a las líneas durante una emergencia (Environmental Protection Agency EPA, 2016).

Históricamente, ha sido una práctica común cerrar la parte del sistema durante la alteración, ventilar el gas dentro del segmento aislado y purgar la tubería con gas inerte para garantizar una conexión segura (Federal Register USA, 2020).

El procedimiento para realizar la interconexión de apagado difiere ligeramente según la presión del sistema. En los sistemas de alta presión, las válvulas circundantes se cierran para aislar el segmento de la tubería a intervenir y se colocan tapones adicionales (tapones insertados) junto a las válvulas para evitar fugas del producto transportado y mejorar las condiciones de seguridad en el sitio de interconexión (Environmental Protection Agency EPA, 2016).

En un sistema de baja presión, la longitud de la tubería que se apaga suele ser mucho más corta. En lugar de cerrar las válvulas circundantes, se utilizan tapones para aislar la parte de la tubería directamente alrededor del área del grifo. En ambos casos, se purga el gas del segmento aislado de la tubería y se purga la línea cuando el producto transportado es gas natural, si se trata de hidrocarburo este es drenado por completo del sector a intervenir.

El HOT TAPPING es una técnica alternativa que permite realizar intervenciones sin la necesidad de parar el sistema de transporte y ventilar gas a la atmósfera. El HOT TAPPING también se conoce como roscado en línea, roscado a presión, corte a presión o corte lateral. El proceso implica colocar conexiones de derivación y hacer orificios en la tubería operativa sin interrumpir el flujo y sin liberación ni pérdida de producto (Federal Register USA, 2020).

Los HOT TAPPING permiten realizar nuevas conexiones a los sistemas existentes, la inserción de dispositivos en la corriente de flujo, derivaciones permanentes o temporales, y es también la etapa preparatoria para el taponamiento de la línea con tapones de globo temporales inflables (tapones) (Federal Register USA, 2020).

Como toda actividad industrial, el HOT TAPPING no está exento de riesgos y máxime que incorpora además del esfuerzo humano, la destreza en el manejo de la maquina perforadora y la efectividad y calibrado de la misma (Federal Register USA, 2020).

Los manuales de seguridad y los esquemas de procedimientos están disponibles en el Instituto Estadounidense del Petróleo (API), la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos (ASME) y otras organizaciones que dictan normas para la intervención de tuberías en servicio en todos los diámetros, tasas de flujo y ubicaciones.

Estos manuales brindan información sobre lo que se debe considerar durante la soldadura, incluida la prevención de quemaduras, el flujo en las líneas, el grosor del metal, los accesorios, el tratamiento térmico posterior a la soldadura, la temperatura del

metal, la conexión del HOT TAPPING y el diseño de soldadura, y el contenido de las tuberías y el equipo (Federal Register USA, 2020).

La empresa sobre la que los autores desarrollaron la investigación de campo, Unión Temporal R&R utiliza el procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS (Ver Anexo A).

La Especialización en Gerencia de la Seguridad y Salud en el Trabajo atañe al tema de este trabajo de grado, en cuanto este es un proceso industrial de alto riesgo y desarrollado con tecnología avanzada, lo que implica destreza, operatividad y efectividad tanto del personal operativo en campo como de los operadores de equipos especializados para realizar la actividad de HOT TAPPING.

En ese sentido, el tema y sus objetivos alcanzados en este trabajo de grado, se enmarcó en el Grupo de investigación TEIN-ECCI, bajo la Línea de investigación Seguridad y salud en el trabajo y dirigido a la Sublínea Sistemas de Gestión en Seguridad y salud en el trabajo, en tanto como así lo dicta la Universidad ECCI (Dirección de Posgrados - Universidad ECCI, 2020, pág. 7):

A partir del cual se pueden generar procesos investigativos desde el ámbito de la identificación, reconocimiento, intervención y evaluación para el control de los riesgos asociados a las actividades laborales de los trabajadores en cumplimiento con los requisitos legales y auditorías del SG-SST. Abarca el diseño, complementación, evaluación del nivel de cumplimiento de requisitos legales y auditorías del SG - SST.

1.2 Formulación del Problema

Para la empresa sobre la que los autores desarrollaron la investigación de campo, Unión Temporal R&R, el uso del procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS (Ver Anexo A), requiere su constante validación y actualización de acuerdo a los sitios de trabajo, según los estándares y modelos de aplicación que se publican frecuentemente en los manuales de seguridad, los requerimientos de los clientes y los esquemas de procedimientos del Instituto Estadounidense del Petróleo (API, por su sigla en inglés), de la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos (ASME, por su sigla en inglés), entre otras organizaciones afines a la industria de hidrocarburos.

El no contrastar o actualizar dichos procedimientos de trabajo, además de exponerse a riesgos operacionales, riesgos de desastres y de factibles pérdidas de producción y de vidas humanas; implicaría también previsibles sanciones por parte de autoridades ambientales y de salud ocupacional en Colombia, aunado a procesos judiciales que conllevaría a incurrir el pago de altas indemnizaciones.

La formulación de un método sistemático que pueda medir falencias, doble esfuerzo, repetición de acciones, carencia de controles, etc., es indispensable no solo para la empresa Unión Temporal R&R, sino que además puede fortalecer el Know How de los procesos de HOT TAPPING que se llevan a cabo a lo largo de los miles de kilómetros de concesiones mineras por parte del Estado colombiano, amén de servir de fuente para normatividades nacionales al respecto.

Por tanto ¿Desde la óptica de los Sistemas de Gestión en Seguridad y Salud en el Trabajo pudiera ser factible emplear un estudio de valoración del riesgo del procedimiento de Hot Tapping de la Empresa Unión Temporal R&R, mediante la

aplicación de una aproximación adaptada de un Modelo de Toma de Decisiones de Múltiples Atributos (MADM, por su sigla en inglés), junto al método de proceso de jerarquía analítica (AHP, por su sigla en inglés)?

2 Objetivos

2.1 Objetivo General

Evaluar el riesgo en la ejecución del procedimiento de HOT TAPPING en intervenciones de líneas de conducción de hidrocarburos (líquidos y gaseosos) en servicio mediante la aplicación de una aproximación de un modelo de toma de decisiones en múltiples atributos (MADM).

2.2 Objetivos Específicos

Diseñar un modelo de toma de decisiones en múltiples atributos (MADM), aproximado, para evaluar los protocolos existentes en el procedimiento aprobado de HOT TAPPING en la empresa Unión Temporal R&R.

Diseñar un proceso de jerarquía analítica (AHP) para la aproximación del MADM en la evaluación de los protocolos existentes en el procedimiento aprobado de HOT TAPPING en la empresa Unión Temporal R&R.

Elaborar una lista de chequeo ajustada a partir de los resultados del MADM y el AHP aplicados, para mitigar el riesgo durante la ejecución de procedimientos HOT TAPPING en intervenciones de líneas de conducción de hidrocarburos (líquidos y gaseosos) en servicio.

Valorar los riesgos asociados a los peligros a los cuales están expuestos el personal operativo de la Empresa Unión Temporal R&R que ejecutan la actividad de HOT TAPPING, utilizando la Guía Técnica Colombiana GTC-45 segunda actualización 2012, para la identificación de los peligros y la valoración de los riesgos en seguridad y salud ocupacional.

3 Justificación y Delimitación

3.1 Justificación

En lo operacional, la empresa Unión Temporal R&R, se beneficia con la implementación de este trabajo de grado, en tanto se obtiene información valiosa para evaluar el riesgo al ejecutar trabajos de HOT TAPPING frente a otras opciones, incluido el corte o suspensión del servicio en la línea de conducción a intervenir:

Al minimizar la exposición al riesgo inminente del personal que interviene en la ejecución de actividades de HOT TAPPING;

Al determinar las condiciones físicas de la línea existente;

Al calcular el costo de realizar una interconexión con parada total

Al calcular el costo de un procedimiento de HOT TAPPING

Al evaluar los beneficios de ahorro de gas o hidrocarburo utilizando el procedimiento de HOT TAPPING

Al comparar las opciones y determinar la economía del procedimiento HOT TAPPING.

En cuanto a los Sistemas de Gestión en Seguridad y Salud en el trabajo, los operarios de la empresa Unión Temporal R&R y la Especialización en Gerencia de la

Seguridad y Salud en el Trabajo de la Universidad ECCI, estarían a la vanguardia en la actualización de procesos de seguridad y salud en el trabajo, en la perspectiva de confianza que arroja usar por primera vez un estudio de valoración del riesgo con la aplicación de una aproximación adaptada de un Modelo de Toma de Decisiones de Múltiples Atributos (MADM, por su sigla en inglés), junto al método de proceso de jerarquía analítica (AHP, por su sigla en inglés).

En el plano social, la industria de hidrocarburos, cuenta con una validación desde la seguridad y salud en el trabajo, para un procedimiento que es estándar internacional en la industria, lo que conlleva a que debe ser contextualizado en el ambiente laboral colombiano.

En lo económico, tanto los trabajadores como la empresa Unión Temporal R&R, ganan en prevención de accidentes laborales y su respectiva indemnización al crearse ambientes de trabajo seguros con la implementación del procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS (Ver Anexo A).

3.2 Delimitación

El estudio de valoración del riesgo con la aplicación de una aproximación adaptada de un Modelo de Toma de Decisiones de Múltiples Atributos (MADM, por su sigla en inglés), junto al método de proceso de jerarquía analítica (AHP, por su sigla en inglés), se desarrolló, mediante pesquisa virtual, durante el semestre B de 2021 y en los frentes de trabajo activos de la empresa Unión Temporal R&R.

La información recaudada de actividades ejecutadas, se realizó sobre registros existentes de eventos y de seguridad en los mismos, en la implementación del procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS (Ver Anexo A).

3.3 Limitaciones

En el plano legal, el procedimiento HOT TAPPING está configurado como un proceso de tiempos y movimientos, por lo tanto, en la seguridad y salud en el trabajo, aplica a las restricciones y valoraciones generales de cualquier proceso medido en tiempos y movimientos.

Bajo esta consideración, lo dictado por el protocolo estándar internacional, limita el alcance del riesgo en la ejecución por los operarios del mismo, lo que conlleva a generalizar los mismos riesgos, lo que no da la importancia a una óptima operación en campo del procedimiento.

El trabajo de grado, como muchas de las actividades durante la pandemia Covid 19, se limitó a la obtención de información virtual y registros históricos de operaciones de HOT TAPPING ya realizadas por una de sus empresas filiales (Rhema Int.) y en actividades que se ejecutaron a finales del año 2021, lo que llevó a que se pudiera también obtener información in situ.

No obstante, lo anterior, su limitación en espacio y tiempo, los resultados que se ven adelante, partieron de registros operacionales confiables, pues el mismo procedimiento que sigue la empresa, el UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS, precisa tiempos y movimientos exactos para todos los operarios y equipamientos usados en la ejecución de un procedimiento de HOT TAPPING.

4 Marcos de Referencia

4.1 Estado del Arte

La extracción en caliente o HOT TAPPING, también conocida como extracción a presión, es un método de conexión (ya sea mediante perforación o corte) a un sistema presurizado, como una tubería o un recipiente a presión, sin retirar la tubería o el tanque de servicio.

Esto evita riesgos potenciales que afectan la salud de los trabajadores y ambientales costosos y potencialmente peligrosos al tiempo que permite un funcionamiento continuo del sistema (Center for Chemical Process Safety, 2021).

El HOT TAPPING se refiere estrictamente a la instalación de conexiones a tuberías mientras permanecen en servicio el sistema. En el contexto de la soldadura, se usa comúnmente para cualquier soldadura en equipos en servicio.

El HOT TAPPING se usa con frecuencia para reparar áreas que han sufrido daños mecánicos o corrosión, o para agregar líneas para modificaciones del sistema. Existen distintas ventajas económicas y ambientales al realizar esta actividad sin retirar una tubería del servicio y posiblemente ventilar cantidades de gases de efecto invernadero, como el metano a la atmósfera (Center for Chemical Process Safety, 2021).

En ciertas ocasiones el riesgo al ejecutar HOT TAPPING puede ser muy alto cuando el riesgo de quemado, la descomposición inestable del producto que fluye en la línea y el riesgo de agrietamiento por hidrógeno no se detectan adecuadamente de manera oportuna antes de realizar la actividad.

El quemado ocurre cuando al soldar en una tubería presurizada, si el área sin fundir debajo del baño de la soldadura no es lo suficientemente fuerte para contener la presión interna de la tubería. Cuanto mayor sea el grosor de la pared de la tubería, menor será el riesgo de que se presente quemaduras. La descomposición inestable del producto que fluye puede provocar reacciones violentas cuando se calienta a presión; esto se evita tomando precauciones especiales para evitar que la temperatura de la pared interna exceda a una temperatura crítica. Esta temperatura crítica depende de la naturaleza del producto que fluye (Center for Chemical Process Safety, 2021).

El riesgo de agrietamiento por hidrógeno aumenta para el HOT TAPPING en comparación con otras situaciones de soldadura, debido a que el producto que fluye aumenta la tasa de flujo de calor desde la región de soldadura. Esto conduce a tiempos de enfriamiento más cortos, con un mayor riesgo asociado de formar microestructuras duras y, por lo tanto, una mayor susceptibilidad al agrietamiento por hidrógeno (Center for Chemical Process Safety, 2021).

El riesgo de agrietamiento se puede reducir mediante el uso de electrodos con bajo contenido de hidrógeno y mediante una cuidadosa selección de la entrada de calor. El control del precalentamiento a veces es posible, pero la capacidad de enfriamiento del contenido que fluye puede hacer que este sea un enfoque ineficaz.

Se pueden usar secuencias de deposición de perlas de temple para controlar la dureza. Se pueden diseñar procedimientos seguros para la soldadura de HOT TAPPING utilizando técnicas de modelado de flujo de calor por computadora, y calificar mediante bucles de flujo (Center for Chemical Process Safety, 2021).

Parte de este enfoque es igualar y/o controlar la capacidad de enfriamiento de la tubería en servicio, para la cual se encuentran disponibles técnicas de medición. Mediante la aplicación de una aproximación de un modelo de toma de decisiones en múltiples atributos (MADM), se tiene la capacidad para decidir llevar a cabo dicho modelado y se puede asesorar sobre aspectos específicos de las operaciones de soldadura en servicio, incluida la calificación y las pruebas de soldadura (Center for Chemical Process Safety, 2021).

Este trabajo de grado investiga mediante la aplicación de una aproximación de un modelo de toma de decisiones en múltiples atributos (MADM), identificar y gestionar los riesgos asociados por la ejecución de Hot Tapping, la perforación de corte y otros procesos de penetración de límites en equipos y tuberías en servicio, de modo que se puedan evitar incendios o explosiones que podrían resultar en lesiones graves al personal involucrado en la actividad, daños a la propiedad, afectaciones al entorno principalmente a comunidades cercanas y al medio ambiente y por ende impactos económicos elevados.

La empresa ION PRO Services (2021) elaboró las consideraciones durante el desarrollo de un Procedimiento de Seguridad en el Trabajo (SWP, por su sigla en inglés) HOT TAPPING, las cuales incluye:

HOT TAPPING es un proceso intrínsecamente peligroso, ya que siempre resulta en la penetración de los límites de un proceso operativo; de hecho, el HOT TAPPING es un evento de pérdida de contención (LOC) controlada. El primer paso en cualquier SWP de HOT TAPPING es una evaluación obligatoria para garantizar que la operación no se pueda realizar en condiciones normales de mantenimiento; es decir, un "grifo de

agua fría", donde el equipo se desenergiza, se vacía, en condiciones de temperatura ambiente y se limpia antes del procedimiento.

Si no se puede realizar una operación de mantenimiento de rutina, se debe considerar seriamente un proceso de "grifo caliente"; es decir, uno donde el equipo no está fuera de servicio y limpio, pero donde se ha realizado suficiente aislamiento para limitar cualquier liberación de producto en caso de que falle el grifo.

Aunque el HOT TAPPING en equipos activos y tuberías se practica ampliamente en todas las industrias de procesos, y aunque se ha obtenido suficiente experiencia, los riesgos siguen siendo los mismos cada vez que se realiza la actividad.

No hay dos actividades que involucren la soldadura en sistemas activos que sean idénticas. Los riesgos difieren para cada caso y se debe extremar la precaución desde la etapa de diseño de la actividad hasta la finalización de la ejecución.

Durante el desarrollo del procedimiento, se debe prestar especial atención a las circunstancias en las que el HOT TAPPING debe estar absolutamente prohibido. Estas situaciones pueden incluir:

Equipos que contienen materiales altamente tóxicos.

Equipo que contiene fluido calor portador (HTF), ya sea en forma de vapor o líquido, por encima de 250°C

Vapor por encima de 600 psi (ION PRO Services, 2021)

Así mismo la empresa ION PRO Services (2021), considera que el HOT TAPPING se refiere a un proceso de dos pasos:

El primer paso es soldar una boquilla de ramificación en el equipo de operación en vivo a la tubería.

Durante el segundo paso, después de soldar la boquilla de ramificación, el cupón de la boquilla se perfora y se retira mediante una máquina perforadora especialmente diseñada (ION PRO Services, 2021).

La actividad combinada de soldadura y perforación para crear una nueva boquilla en sistemas activos se denomina HOT TAPPING. También hay casos en los que solo se realiza soldadura en sistemas activos sin necesidad de taladrar. Para mayor claridad, en este trabajo de grado, el término " HOT TAPPING " se refiere a todos los tipos de soldadura en equipos activos (con o sin perforación) (ION PRO Services, 2021).

El HOT TAPPING, según las consideraciones técnicas de ION PRO Services (2021), en equipos activos, depende de las siguientes características del sistema:

Metalurgia del equipo principal / tubería

Presión operacional

Temperatura de funcionamiento

Propiedades químicas y físicas (propiedades peligrosas) del fluido operativo

Estado del equipo / oleoducto en el que se realizará la actividad

(ION PRO Services, 2021).

El HOT TAPPING en sistemas activos que contienen fluidos presurizados, es una de las actividades más peligrosas en una unidad operativa. Una pérdida de contención durante la soldadura o perforación en equipos activos o tuberías puede causar daños graves al personal involucrado en los trabajos de soldadura. Las consecuencias pueden incluir lesiones graves que pueden provocar la muerte. También pueden producirse daños a los activos cercanos al lugar de trabajo, dependiendo de la

ubicación y los productos químicos del proceso en el interior (ION PRO Services, 2021). Pueden ocurrir incidentes potenciales si:

La tubería o el equipo en el que se va a realizar el HOT TAPPING no están inspeccionados ni certificados como apto para HOT TAPPING. Una situación común que puede descalificar al equipo para ejecutar el HOT TAPPING es el adelgazamiento de la pared de la tubería a intervenir.

La metalurgia de la tubería o el equipo no es apta para HOT TAPPING.

El flujo o presión de fluido transportado no se mantiene como se requiere para permitir enfriar adecuadamente el metal en el momento de realizar soldaduras.

El procedimiento lo realiza personal no capacitado con la posibilidad de no controlar el aporte de calor para la soldadura.

La conexión del HOT TAPPING está diseñada inadecuadamente o incorrectamente (ION PRO Services, 2021).

Los peligros que deben tenerse en cuenta son, en términos generales, de tres tipos:

Peligros por error humano como la protección de seguridad insuficiente, personal no calificado y poco entrenado, deficiente capacidad de operación del ejecutor, poca motivación, fallas en la coordinación, supervisión y comunicación e inadecuada planificación de las actividades a realizar. (ION PRO Services, 2021)

No obstante, el trabajo de grado se basó en la aplicación de un modelo de toma de decisiones en múltiples atributos (MADM), como método para valorar el riesgo en la implementación del procedimiento de HOT TAPPING. Dado que la especificidad a dichos procesos, en el país, no se conoce en virtud a que las empresas de

hidrocarburos usan los estándares de procesos aprobados en otros países y con ello cumplen las exigencias normativas nacionales. A continuación, se enlistará, por tanto, las experiencias académicas en el uso de la MADM en procesos industriales.

4.1.1 Investigación local y nacional

En el trabajo adelantado por Morales (2019), resalta que the multi-criteria decision-analysis (MCDA) o análisis de decisiones multi-criterio, emerge como una rama de la investigación de operaciones destinada a facilitar la resolución de diferentes problemas considerando la opinión de los decisores. Donde, continua el autor, se han desarrollado una gran cantidad de métodos multiple-criteria decision-making (MCDM), o métodos para la toma de decisiones multicriterio, para abordar tales problemas, bajo diferentes circunstancias y áreas de aplicación; insistiendo además, que cabe resaltar que MCDM abarca al conjunto de herramientas que apoyan en la toma de decisiones, aunque debido a la cantidad de métodos disponibles en la actualidad se generó una clasificación de estos, citando a Yepes (2018). (Morales, 2019, pág. 15). Igualmente, Morales (2019) cita el origen del concepto MDMA:

Al inicio de la década de los 80s el profesor J. Morse organizó una conferencia a nivel internacional (la cuarta de la asociación) donde surgió el nombre Multi-criteria Decision Making Association (MCDM). Actualmente la conferencia de MCDM se convirtió en una pieza clave para el desarrollo del Análisis de Decisiones, dicha conferencia se concentraba en la creación de relaciones entre los académicos, empresarios y la exposición de los casos de aplicación y modelos propuestos, citando a MCDM (2019) (Morales, 2019, pág. 10).

Finalmente, Morales (2019) en su trabajo, sustenta que los modelos multicriterio (MCDM) se dividen en dos tipos: multi-objective decision making (MODM) y multi-attribute decision making (MADM). Sostiene el autor que los métodos MADM, como el que se usará en este trabajo de grado, se utilizan para la resolución de problemas discretos: las alternativas están predeterminadas y se realiza la valoración a priori para cada criterio; mientras que los métodos MODM se utilizan para la resolución de problemas continuos: la participación de los expertos es “a posteriori”, citando nuevamente a Yepes (2018). (Morales, 2019).

En la aplicación del MCDM que hicieron Zapata et al (2020), resaltaron del método que para las etapas previas al diseño geotécnico de una presa, es necesario realizar un estudio de viabilidad técnica, entre lo cual, dicho estudio viene acompañado de un análisis a nivel de detalle donde argumentan se selecciona el tipo de presa a construir, donde la selección del tipo de presa se relacionan factores morfométricos, geológicos, geotécnicos, ambientales y financieros, ante lo cual la mayoría de la toma de decisiones respecto a la selección de tipo de presa a construir se realiza mediante criterios empíricos lo cual genera en algunos casos una opinión sesgada y vagamente sustentada con experiencias previas; por tanto, resumen los autores del Grupo de Geotecnia de la Universidad Nacional de Colombia, la metodología AHP (Analytic Hierarchy Process), la cual se implementó en este trabajo de grado, es una herramienta efectiva para la toma de decisiones complejas, las cuales dependen de variables, objetivas y subjetivas, aduciendo que esta metodología reduce decisiones difíciles a una serie de comparaciones por pares y sintetiza los resultados por medio de pesos estadísticos (Zapata, Ramos, Bustamante, & Echeverri, 2020). Manyoma et al

(2020) en su trabajo en la Universidad del Valle, concluyeron que en los países de América Latina y el Caribe, la mayoría de vertederos se acercan al final de su ciclo de vida, alegando que las expectativas de múltiples actores (la comunidad, el gobierno, entidades no gubernamentales, entre otros) generan mayor complejidad al problema de localización de nuevos sitios, por tanto sostienen que las decisiones sobre la ubicación de estos vertederos requieren la consideración de numerosos criterios que deben evaluarse simultáneamente en su conjunto; de esta manera, en su estudio propusieron una metodología para identificar las mejores ubicaciones para los rellenos sanitarios regionales, los que fueron analizados bajo dos metodologías multicriterio: el proceso de jerarquía analítica (AHP) y la técnica para ordenar la preferencia por la similitud con la solución ideal (TOPSIS) (Manyoma, Vidal, & Torres, 2020).

Estudiando las necesidades energéticas en el consumo ciudadano en Bucaramanga, Jaramillo (2020), propone el desarrollo de una planificación energética en Colombia, mediante un modelo económico de energía para pronosticar la demanda de energía por sectores de consumo, utilizando el análisis de regresión múltiple, técnicas de prospectiva y multi-criteria decision-making (MCDM), con ello proporcionando en su trabajo una metodología sistemática para identificar variables económicas que impactan la demanda de energía (Jaramillo L. , (2020). Rodríguez et al (2018), sostienen, dentro de su estudio en producción de petróleo, que la selección del sistema de levantamiento artificial es un factor clave para mejorar la eficiencia energética, aumentar los beneficios y ampliar la vida útil de los activos en cualquier pozo productor de petróleo, considerando, teóricamente, que esta selección debe tener en cuenta un gran número de variables, lo que dificulta la elección del sistema óptimo,

siendo los métodos de toma de decisiones multicriterio los que presentan modelos matemáticos para procesos de selección con alternativas finitas y un alto número de criterios, aduciendo que estas metodologías hacen factible tomar una decisión considerando todas las variables involucradas, resaltando que en su estudio, realizaron una aplicación software basada en un análisis matemático secuencial jerárquico de variables, una validación numérica de datos de entrada y una implementación de métodos multicriterio para toma de decisiones (MCDM, por sus siglas en inglés): SAW, ELECTRE y VIKOR, considerando esto con el fin de seleccionar el sistema de levantamiento artificial más adecuado, el cual mediante su novedoso algoritmo está diseñado para clasificar siete sistemas, considerando diversas variables en la toma de decisión (Rodríguez, Duran, Garcia, & Castillo, 2018).

Para Pabón (2019), Colombia está estableciendo un objetivo nacional de energía renovable que proporciona una indicación clara del nivel de desarrollo de energía renovable y el cronograma previsto para 2020 con casi el 7% de la producción de energía, excluidas las grandes centrales hidroeléctricas, se generará a partir de energía eólica; dentro de ese panorama, la autora, se cuestionó que aún debe definirse el potencial real de energía eólica de todas las regiones de Colombia, y en ese sentido su estudio es un comienzo útil para generar hallazgos de investigación para descubrir sitios adecuados para el desarrollo de la energía eólica, proporcionando una evaluación más precisa y diferenciada para un parque de energía eólica terrestre en la región del Caribe Norte de Colombia seleccionando áreas de estudio de tres departamentos de Colombia (Atlántico, Magdalena y La Guajira), integrando criterios sociopolíticos, ambientales y tecno económicos en un sistema de información geográfica (SIG), los

que se combinaron con una toma de decisiones multicriterio (MCDM) con su enfoque de proceso de jerarquía analítica (Pabón, 2019).

En la tesis de Camargo (2020), identificó y evaluó áreas potenciales disponibles en lugares públicos para implementar prácticas agrícolas urbanas dentro del perímetro urbano de la ciudad de Bogotá en Colombia, considerando dentro de la metodología que se realizó variables que reflejan los componentes físicos, ambientales y socioeconómicos del área, desde dos enfoques para evaluar un análisis de idoneidad de la tierra para la agricultura urbana para aliviar la pobreza mediante el aumento de la seguridad alimentaria y la nutrición en el área de estudio, usando dentro del primer enfoque, el conocimiento experto combinando SIG con análisis de toma de decisiones multicriterio (MCDM) utilizando el método de proceso analítico jerárquico (AHP), estimando que el 21% del área de estudio presenta condiciones de alta idoneidad para implementar actividades de agricultura urbana (Camargo, 2020).

En cuanto al trabajo de Anaya y Mora (2020), analizando la participación ciudadana como necesaria para el fortalecimiento de la gobernanza territorial al mejorar las dinámicas de los actores involucrados en el ordenamiento territorial, decidieron aplicar una metodología de evaluación multicriterio integrada a un proceso de análisis y modelamiento geoespacial como herramienta para fortalecer la participación ciudadana enfocada en la densificación del uso del suelo en la zona normativa Ciudadela del municipio de Bucaramanga, donde la investigación se enfocó en la aplicación del proceso analítico jerárquico, el alistamiento de las capas vectoriales y el procesamiento y análisis geoespacial para la identificación de predios que permitan densificar el uso del suelo, considerando el proceso analítico jerárquico AHP y su integración a un

proceso de análisis y modelamiento geoespacial, lo que permitió representar los juicios de valor en datos numéricos y describir la realidad de un sector de la ciudad de Bucaramanga, por medio de un modelo geoespacial a partir de variables físicas, económicas, políticas y sociales, concluyendo que la integración de la metodología de evaluación multicriterio a un proceso de análisis y modelamiento geoespacial, demostró ser una herramienta flexible, escalable y que facilita la interpretación de fenómenos y dinámica en problemas complejos del ordenamiento territorial (Anaya & Mora, 2020).

Vásquez (2018), en su tesis doctoral, encontró que el profesional de ingeniería colombiano presenta desafíos relacionados con el desarrollo de su profesión en los nuevos mercados emergentes, analizando que la certificación de los profesionales de ingeniería es una de las formas de controlar estas características, se dieron en estudiar una propuesta metodológica de análisis multicriterio, para la determinación de los criterios y alternativas, en certificación de los profesionales de ingeniería en Colombia, con la cual está enfocada en la revisión, análisis y priorización de criterios, tomando como base el enfoque basado en metas y la aplicación del método PROACT (Problem, Objectives, Alternatives, Consequences, Trade-offs) para la organización de los criterios y alternativas, seguidamente se realiza la priorización de los criterios por medio del análisis de decisión multicriterio y la aplicación del Proceso de Análisis Jerárquico (AHP por sus siglas en inglés), concluyendo que su uso es aplicable para la toma de decisiones que involucre los juicios de valor en grupo y depende de la percepción y el consenso de los expertos para otorgar la importancia en los criterios y la prioridad en las alternativas (Vásquez, 2018).

Finalmente, Moreno (2021), analizó y estudió la implementación de energías renovables en zonas rurales no interconectadas (ZNI) a la red, proponiendo la implementación de una metodología multicriterio (MCDM), que ayudó en la mejor selección de sistema de generación de energía renovables en zonas rurales y zonas rurales no interconectadas (ZNI), aplicando para ello el Proceso Analítico Jerárquico Difuso (FAHP, por su sigla en inglés), cuyos datos fueron obtenidos por medio de una encuesta a un grupo de expertos, con la única finalidad de disminuir cualquier imprecisión por parte del decisor, resaltando además que este método aplica lógica difusa para eliminar la indiferencia o subjetividad de los juicios entregados por los decisores, a su vez que resalta que los métodos de decisión multicriterio (MCDM, Multicriterio decision making) se emplean cuando el decisor tiene una situación problema de decisión frente a un conjunto de múltiples opciones (Moreno, 2021).

4.1.2 Investigación internacional

Tavana et al (2020), aplicando a la industria petrolera la MCDM, consideran que los estudios gerenciales y ambientales realizados en el área de investigación energética reflejan una importancia sustancial, particularmente a la hora de optimizar y modificar los patrones de consumo, hacer la transición a fuentes renovables alejadas de las fósiles y diseñar planes y sistemas, por ello proporcionaron una revisión sistemática de la literatura que permitió identificar qué temas de investigación han sido priorizados en los campos de la energía y la sustentabilidad en los últimos años, determinar las posibles razones que explican estas tendencias y categorizar las técnicas aplicadas para analizar la incertidumbre que enfrentan los tomadores de

decisiones; revisaron artículos publicados en revistas de alto rango durante el período 2003-2020 y aplicando análisis de texto para agrupar sus principales características, demostrando la importancia sustancial de los métodos y las técnicas de toma de decisiones relacionados, como el proceso de jerarquía analítica y la técnica de preferencias de pedidos por similitud con soluciones ideales (TOPSIS) (Tavana, Shaaban, Santos, & Vanan, 2020).

En la tesis doctoral de Ivanko (2021), aplicando los procesos HOT TAPPING a los sistemas de agua caliente sanitaria (ACS) de edificios en Noruega, ante la necesidad de tomar decisiones basadas en la gestión frente a la demanda, un mejor diseño y dimensionamiento, tarifas progresivas, sistemas de calefacción de baja temperatura, tecnologías de aguas residuales, sistemas combinados de ACS basados en fuentes de energía tradicionales y renovables, y otras tecnologías sostenibles y soluciones de gestión en sistemas de ACS son esenciales para lograr la eficiencia energética en los edificios, resaltando que para ello se necesita también de la implementación adecuada de estas soluciones se requiere del uso de un análisis de datos avanzados, perfiles representativos y modelos predictivos precisos del uso de calor, por lo que su estudio se orientó a mejorar los métodos de análisis del uso del calor de los sistemas ACS en los edificios en Noruega, aplicando los métodos de toma de decisiones multicriterio en dos escenarios, con y sin Covid19 (Ivanko, 2021).

En el estudio de Jaramillo (2016), considera que hoy el proceso HOT TAPPING es un trabajo fundamental que se realiza en la industria petrolera, el cual ayuda a prevenir los riesgos que se puedan presentar cuando se intervienen líneas de flujo, para lo cual en su tesis realizó el estudio, selección, dimensionamiento, diseño y

construcción de una máquina Hot Tap (corte en caliente), utilizada para la perforación de tuberías cuando se requiere realizar un cambio de tramo o instalación de una nueva línea de flujo.(Jaramillo C. , 2016).

El Instituto API (American Petroleum Institute) como referente mundial en normas para el aseguramiento de la integridad de los sistemas de la industria petroquímica, en los años 2003, 2009 y 2015 ha renovado sucesivamente los requerimientos y categorías de seguridad para la ejecución del procedimiento HOT TAPPING, teniendo en cuenta que la ejecución de este procedimiento implica intervenir con soldadura el sistema en servicio y cortar el material de contención, actividades que implican riesgos significativos diferentes a los de un "trabajo en caliente" normal; en tanto la soldadura en equipos en servicio se aborda como un caso especial en API RP 2009, junto con las prácticas generales de trabajo seguro de soldadura; por su parte el HOT TAPPING es un caso aún "más especial" de trabajo en equipos en servicio, previendo que el HOT TAPPING nunca debe considerarse como un procedimiento "rutinario", sino que su estricto conocimiento, la experiencia, la planificación, la elaboración de procedimientos seguros de trabajo, el disponer de personal competente con habilidades adecuadas que realizan su trabajo de conformidad con los procedimientos aprobados y una herramienta adecuada para la perforación, son condiciones claves para que la ejecución de un procedimiento de HOT TAPPING seguro y exitoso.

De otra parte la actividad de HOT TAPPING no debe considerarse como un trabajo de emergencia; si no se pueden establecer y cumplir con las precauciones previas, la unidad o el equipo deben retirarse de servicio o apagarse, dado que: 1) Por

lo general, siempre existe un volumen considerable de productos inflamables contenidos en los recipientes o equipos a intervenir y, por lo tanto, la contención es muy importante; y 2) La soldadura asociada con el HOT TAPPING puede estresar el metal y calentar los fluidos contenidos en los recipientes y tuberías (API, 2003, 2009, 2015).

El mismo Instituto API (2019), dentro de sus criterios de Seguridad y salud ocupacional para las operaciones de perforación y mantenimiento de pozos de petróleo y gas, considera dentro de sus prácticas recomendadas para las operaciones de HOT TAPPING y de congelación, que se debe realizar una evaluación previa de los riesgos para determinar la ubicación segura apropiada y la distancia del pozo (6.9.1), y se deben tomar las medidas de control para que las operaciones de HOT TAPPING y congelación sean seguras, entre lo cual se ha de tener en cuenta que el trabajo en caliente (Hot Work): Operaciones de trabajo en caliente, soldadura y corte con llama (6.2.1 General) (trabajo en caliente, soldadura, corte con llama):

6.2.1.1 Se debe realizar una evaluación de los riesgos y comunicarlos a los trabajadores involucrados en la actividad de HOT TAPPING y al resto del personal (según corresponda) que determine la ubicación segura y apropiada a la distancia del pozo y otras fuentes inflamables y combustibles potenciales, medidas de seguridad apropiadas para operaciones de trabajo en caliente, soldadura y corte con llama, y el requisito de contar con un procedimiento escrito y aprobado. Consulte API 2009 para obtener información adicional.

6.2.1.2 Dependiendo de la evaluación de los riesgos, se debe utilizar un procedimiento escrito y aprobado que cubra las operaciones de trabajo en caliente,

soldadura y corte con soplete. El procedimiento escrito debe considerar lo siguiente si aplica:

a) Etapa previa al trabajo:

1) Designación de roles y responsabilidades.

2) Reuniones preoperacionales con el personal y otras personas involucradas en

relación con:

- Alcance del trabajo,

- Operaciones simultáneas,

- Mediciones de atmósferas peligrosas,

- Aislamiento del equipo,

- Preparación del equipo,

- Identificación, valoración y control de los peligros y riesgos asociados a la

actividad,

- Planes de manejo y respuesta de emergencia,

- Requisitos de los elementos de protección personal, y

- Equipo de monitoreo y extinción de incendios

3) Autorización para realizar el trabajo (permisos de trabajo, AST)

b) Etapa de trabajo en curso:

1) Monitoreo periódico de atmósferas peligrosas.

2) Gestión de cambios, incluidos cambios de turno del personal. Procedimientos

/ precauciones especiales

c) Retorno a la etapa de servicio (completamiento):

1) Verificación de finalización del trabajo en caliente

2) Autorización de regreso al trabajo

6. 2.1.3 Normalmente no se requiere un permiso de trabajo en caliente para el trabajo realizado en áreas designadas para trabajo en caliente que están separadas de las áreas donde pueden estar presentes hidrocarburos, materiales inflamables o combustibles.

6.2.1.4 Soldadores calificados (soldadores certificados cuando sea necesario) deben realizar soldaduras u operaciones de corte con llama en instalaciones de superficie, tuberías y equipos para los cuales la función principal es contener hidrocarburos o está designado como equipo crítico. (API, 2019, pág. 20 y 28)

4.2 Marco Teórico

4.2.1 Los riesgos del trabajo en caliente (*Hot Work*) con el proceso *hot tapping* (Protocolos API)

El HOT TAPPING es la técnica de unir una línea o ramal soldada a una tubería o equipo en servicio, y luego crear una abertura en esa tubería o equipo perforando o cortando una parte de la tubería o equipo dentro del accesorio adjunto (en ciertas situaciones específicas, una tubería atornillada o mecánica (API, 2003, 2009, 2015).

Este enfoque no es una práctica común en las plantas de procesamiento de petróleo y petroquímicas y este trabajo de grado, no aborda ninguna consideración exclusiva del HOT TAPPING sin soldadura (API, 2003, 2009, 2015).

El HOT TAPPING se realiza generalmente cuando no es posible poner el equipo o tubería a intervenir fuera de servicio, o para purgarla o limpiarla por métodos convencionales.

Con una revisión adecuada antes de iniciar las actividades a los estándares y requerimientos tanto técnicos como de seguridad y salud en el trabajo, se puede determinar que la ejecución del procedimiento de HOT TAPPING es seguro, y su desarrollo será un éxito si se cumple con los procedimientos específicos de trabajo aprobado (API, 2003, 2009, 2015).

Este trabajo de grado, cubre los aspectos de seguridad que se deben considerar antes y durante la ejecución del procedimiento de HOT TAPPING en tuberías o en equipos en servicio, al proporcionar:

Las ayudas para reconocer, revisar y abordar los problemas de seguridad;

Una revisión de los riesgos potenciales sobre HOT TAPPING según la experiencia de la industria;

La orientación sobre la planificación de HOT TAPPING;

La aplicación de conceptos de “peligro versus riesgo” aplicados al HOT TAPPING;

Los elementos a considerar durante el proceso de HOT TAPPING desde el análisis del trabajo hasta la finalización del mismo; que hacer si las cosas salen mal (API, 2003, 2009, 2015).

La soldadura en tuberías en servicio (condición de operación) da como resultado tres escenarios de alto riesgo: fugas y/o explosiones por quemado, reacciones químicas por inestabilidad o incluso explosión debido al calor en el fluido interno y agrietamiento en zonas afectadas por calor (ZAT, por su sigla en inglés) (API, 2003, 2009, 2015).

Según Sabapathy et al. (2005), dos factores dificultan la soldadura en tuberías en servicio: 1) El flujo de gas (o líquido) crea una gran pérdida de calor en la pared de la tubería, lo que resulta en un enfriamiento rápido de la soldadura. Los aceros de alta resistencia son comunes en las tuberías y son sensibles a altas tasas de enfriamiento que pueden disminuir la tenacidad de la ZAT a través de la formación de áreas endurecidas, aumentando la posibilidad de agrietamiento en la ZAT; y 2) El segundo problema es la pérdida de resistencia mecánica debido a las altas temperaturas durante el proceso de soldadura con la posibilidad de rotura localizada de la pared de la tubería debido a la presión interna (Sabapathy, Wahab, & Painter, 2005).

El enfriamiento rápido puede compensarse aumentando la entrada de calor, lo que a su vez provoca un aumento de la penetración con el consiguiente aumento del riesgo de quemado. El equilibrio entre estos dos factores establecerá los límites de seguridad para realizar soldaduras en tuberías en servicio. Además de los dos factores citados por Sabapathy et al. (2005), existe un tercer factor que es la interacción entre el fluido y la temperatura en la superficie interna de la tubería, que puede provocar una explosión debido a una reacción inestable. Esta reacción inestable no se trata en casi ninguna referencia sobre simulación numérica de soldaduras en tuberías en servicio, pero es una realidad que debe ser considerada, y se trata bien en la práctica recomendada API 577 “Inspección de soldadura y metalurgia” (API, 2003, 2009, 2015). Por todo ello, se necesita la propuesta de un modelo matemático más completo, principalmente con espesores inferiores a 5 mm, lo que sigue siendo un desafío para la soldadura en tuberías en servicio, y con la aplicación de aceros de alta resistencia, se

convertirá en un desafío aún mayor para la industria, especialmente de petróleo, gas y petroquímicos (API, 2003, 2009, 2015).

Se debe considerar estudios y tesis que propongan modelos computadorizados integrales para simular y evaluar la viabilidad del HOT TAPPING, de acuerdo a los riesgos relacionados con la soldadura en tubería en servicio, involucrando sus diversos aspectos y parámetros con respecto al proceso de soldadura (amperaje, voltaje, velocidad de desplazamiento, etc.), propiedades del material, características y condiciones de operación del fluido contenido en el sistema intervenido a fin de evitar quemaduras y/o reacciones químicas inestables del fluido interno debido al calor y/o agrietamiento debido al enfriamiento rápido de la ZAT, lo que podría resultar en una condición insegura que puede causar un accidente durante la actividad de soldadura (API, 2003, 2009, 2015).

4.2.2 Seguridad y salud ocupacional para trabajos de hot tapping en equipos o tuberías en servicio.

Este trabajo de grado fue diseñado para proporcionar una mejor comprensión de los peligros y riesgos que se pueden presentar al instalar conexiones por el método de HOT TAPPING en tuberías, recipientes o tanques que contienen líquidos o gases inflamables o combustibles.

Los elementos esenciales del presente trabajo se basan en el conocimiento y la experiencia acumulada de la industria del petróleo, las prácticas operativas seguras de la industria actual y los estándares de consenso existentes.

Las prácticas descritas están diseñadas para proteger la integridad del personal y las instalaciones para el trabajo de HOT TAPPING. Debe considerarse, sin embargo,

que son posibles riesgos especiales que pueden estar más allá del alcance del presente trabajo de grado, de los Sistemas de Gestión en Seguridad y Salud en el trabajo implementados por las empresas ejecutoras, de la Especialización en Gerencia de la Seguridad y Salud en el Trabajo, así como de la empresa Unión Temporal R&R.

Además, las regulaciones o leyes internacionales o nacionales pueden considerar requisitos adicionales que deben tenerse en cuenta cuando se va a desarrollar la actividad de Hot Tap para una instalación específica.

El Instituto API ha hecho todos los esfuerzos posibles para asegurar la exactitud y confiabilidad de los datos contenidos en sus normas. Estas se basan en utilizar la autorización de trabajos en caliente cuando se realizan actividades que puedan provocar un incendio, una explosión o una fuga. Estos permisos pueden ser necesarios cuando:

Cerca o cerca de equipos inflamables o combustibles con una llama abierta

Soldadura,

Incendio,

Tapping en caliente,

Molienda,

Cerca de equipos capaces de generar una chispa

Estar atento a la escoria o las chispas que pueden resultar en un incendio o causar lesiones a los trabajadores involucrados en la actividad.

Asegurarse de que el personal involucrado en la actividad, estén autorizados, capacitados y sean competentes. Supervisar periódicamente el trabajo en caliente para verificar el cumplimiento de los requisitos del permiso y procedimiento aprobado.

API es el organismo líder mundial en el establecimiento de estándares para la industria del petróleo y gas natural, el cual es acreditado por el American National Standards Institute (ANSI), donde API ha emitido casi 700 estándares de consenso que gobiernan todos los segmentos de la industria del petróleo y el gas.

Estos incluyen estándares, pautas y prácticas recomendadas con respecto a la seguridad de los trabajadores, el equipo, las operaciones, la gestión eficaz del agua, la prevención de derrames y la protección del medio ambiente.

Muchos estándares y prácticas de API están incorporados en las regulaciones internacionales de petróleo y gas natural y son los estándares de la industria petrolera más citados por los reguladores en el mundo, incluido Colombia.

API ha desarrollado los estándares para ayudar a la industria del petróleo y el gas a promover la seguridad del personal y del público. El propósito de los estándares es recomendar prácticas y procedimientos para la promoción y el mantenimiento de condiciones de trabajo seguro y saludables para el personal involucrado en el desarrollo de actividades con hidrocarburos, incluidas las operaciones de perforación y mantenimiento de pozos. Los estándares API proporcionan un marco o punto de partida para que las empresas diseñen programas de seguridad individuales que se ajusten a sus necesidades operativas únicas, como es el caso de la Unión Temporal R&R.

El API se formó en 1919 como una organización que establece estándares y es líder mundial en convocar a expertos en la materia en todos los segmentos para establecer, mantener y distribuir estándares de consenso para la industria del petróleo y el gas. En sus primeros 100 años, el API desarrolló más de 700 estándares para

mejorar la seguridad operativa, la protección ambiental y la sostenibilidad en toda la industria, especialmente a través de la adopción de estos estándares a nivel mundial.

Los estándares del API se desarrollan conforme al proceso de acreditación del API de los estándares nacionales de los EE. UU., lo que garantiza que los estándares del API sean reconocidos no solo por su rigor técnico, sino también por la acreditación de terceros. Desde 1924, el Instituto Americano del Petróleo ha sido una piedra angular en el establecimiento y el mantenimiento de estándares para la industria mundial del petróleo y gas natural.

Los estándares mejoran la seguridad de las operaciones de la industria, aseguran la calidad, ayudan a mantener los costos bajos, reducen el desperdicio y minimizan la confusión. Ayudan a acelerar la aceptación, llevan los productos al mercado más rápidamente y evitan tener que reinventar la rueda cada vez que se fabrica un producto.

Los peligros están asociados a las propiedades de los materiales con la capacidad inherente de causar daño. La inflamabilidad, la toxicidad, la corrosividad, la energía química o mecánica almacenada son peligros asociados con diversos materiales industriales.

El riesgo requiere exposición y una superficie o material caliente puede causar quemaduras térmicas en la piel o un ácido corrosivo puede causar quemaduras químicas en la piel, pero estas solo pueden ocurrir si hay exposición por contacto directo con la piel. No hay riesgo cuando no hay potencial de exposición y por tanto determinar el nivel de riesgo implica estimar la probabilidad y la gravedad de la exposición que podría provocar daños.

4.3 Marco Legal

En Colombia en lo referente a hidrocarburos son productos esenciales de un yacimiento el petróleo y en segundo lugar el gas natural, el petróleo es el que genera mayor riqueza y esto ha contribuido en gran medida al desarrollo económico del país.

La utilización del petróleo se remonta hasta momentos anteriores a la conquista, ya que los indígenas lo utilizaban para recubrir sus embarcaciones con el fin evitar filtraciones, prender hornos y también para la medicina rudimentaria de esa época, en Colombia a finales del siglo XIX se perfora cerca de Barranquilla el primer pozo petrolero llamado Tubará que logro producir 400 barriles diarios (Acipet-Alip, s.f.) el gas natural se quemaba en chimeneas ya que se consideraba como un subproducto hasta inicios de los años 60 cuando en 1961 se empieza a reconocer como un hidrocarburo independiente, mediante la ley 10 de 1961 se prohíbe su quema, luego en 1973, en la costa atlántica se inicia la construcción del primer gasoducto; lo cual da inicio a la regulación de gasoductos en nuestro país.

El marco legal en Colombia aplicable para la ejecución de actividades con hidrocarburos como la explotación, producción, transporte, refinación y comercialización, lo conforma el Decreto Ley 1072 de 2015, la Resolución 0312 de 2019 y también las leyes anti-COVID, deben ser de prioritario cumplimiento; por lo cual es indispensable tener en cuenta la siguiente normatividad:

Ley 9 de 1979

Por la cual se dictan medidas sanitarias y algunas disposiciones en el Título III:
Salud Ocupacional

Resolución 2400 de 1979

Por la cual se establecen algunas disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad en los establecimientos de trabajo.

Resolución 1016 de 1989

Por la cual se reglamenta la organización, funcionamiento forma de los Programas de Salud Ocupacional que deben desarrollar los patronos o empleadores en el país.

Ley 1523 de 2012

Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones

Decreto 1072 de 2015

Por el cual se dictan las disposiciones para la implementación del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST)

Decreto 612 de 2018

Por el cual se fijan directrices para la integración de los planes institucionales y estratégicos plan de acción por parte de las entidades del Estado.

Resolución 0312 de 2019

Por la cual se definen los Estándares Mínimos del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo para empleadores y contratantes

Resolución 0491 de 2020

Reglamenta el trabajo seguro en espacios confinados en Colombia, estableciendo los requisitos mínimos para garantizar la seguridad y salud de los

trabajadores que desarrollan este tipo de actividades incluyendo trabajos en excavaciones a cielo abierto.

Resolución 4272 de 2021

Por la cual se establecen los requisitos mínimos de seguridad para el desarrollo de trabajos de altura, estableciendo el contenido del programa de prevención y protección contra caídas para la ejecución de trabajos en alturas.

Decreto 1347 de 2021

Por el cual se adiciona el Capítulo 12 al Título 4 de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto 1072 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo, para adoptar el Programa de Prevención de Accidentes Mayores – PPAM

5 Marco Metodológico de la Investigación

5.1 Paradigma

La investigación es mixta, cualitativa y cuantitativa, dado que asumió un fenómeno ya implícito en la actividad de la explotación de los hidrocarburos, con unos estándares previamente definidos, lo que conllevó únicamente a valorar escenarios posibles con sus contingencias permitiendo validar dichos parámetros o considerar variables locales que pudieron afectar los estándares permitidos.

5.2 Método

El método fue de análisis, dado que el modelo estadístico – matemático usado en la investigación es de tipo mixto, ya que a través de herramientas de indagación se valoró la aprehensión de los responsables de ejecutar las actividades de HOT

TAPPING en el caso de la empresa Unión Temporal R&R, redefiniendo, localmente los protocolos de seguridad en dichos procesos.

5.3 Tipo de investigación

La investigación fue descriptiva con un análisis cuantitativo y cualitativo, en razón que se analiza un procedimiento, evaluándose, ya establecido internacionalmente, limitándose solo a la observación de su cumplimiento entre el personal operario y la tasación de sus posibles riesgos al ser ejecutado.

5.3.1 Población

Para determinar la población se tiene en cuenta que se ejecutaron un promedio de 10 actividades de Hot Tapping durante el segundo semestre de 2021 en la empresa Unión Temporal R&R y participan en promedio en cada una de ellas un total de 30 empleados para una población total de 300 trabajadores contratados en su gran mayoría oriundos de las zonas donde se ejecutan los proyectos con cargos operativos.

5.3.2 Determinación de la muestra

Se toma un muestreo aleatorio simple para una población infinita, debido a que los trabajadores no son en su mayoría los mismos en cada actividad de Hot Tapping y así como también en cada proyecto a ejecutar estos no poseen las mismas condiciones de ambientes de trabajo, Fundaciones de muestreo (Jany, 2005) teniendo en cuenta lo anterior se toma la siguiente ecuación:

$$n = \frac{Z^2 * PQN}{e^2(N - 1) + Z^2PQ}$$

Donde:

Z: margen de confiabilidad expresado en desviación estándar para el caso se desea alcanzar el 95,77 de los datos en una distribución normal, es decir $Z = 1.725$.

P y Q: Probabilidad de que el evento ocurra (que el procedimiento Hot Tapping se realice con los estándares correctos), se establece 0.5 para cada uno porque puede existir también que el procedimiento no se ejecute de la forma correcta.

e: error de estimación, se considera un error del 5%

N: población (universo a investigar) 30 trabajadores por 10 eventos aproximadamente en el semestre B de 2021 para un total de 300 trabajadores.

N-1: factor de corrección de finitud

$$n = \frac{1.725^2 * 0.5 * 0.5 * 300}{0.05^2(300 - 1) + 1.725^2 * 0.5 * 0.5}$$

Muestra $n = 150$

5.3.3 Fuentes de información

Como fuentes de información para la elaboración del presente trabajo de grado se tiene:

Fuente Primaria: Aplicación de encuestas, Registro fotográfico, el Procedimiento de Hot Tapping de la empresa Unión Temporal R&R, información obtenida de inspecciones de campo a los frentes de trabajo.

Fuente Secundaria: Páginas web, Tesis de grado, Artículos de Revistas técnicas, Normas API, Guía Técnica Colombiana GTC-45 segunda actualización 2012 y base de datos.

Fuente Terciaria: Trabajos de tesis nacionales o internacionales, manuales de proveedores de accesorios y herramientas de Hot tapping.

5.3.4 Recolección de la información

Como herramienta de recolección para evaluar el procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS (Ver Anexo A), se diseñó un formulario de encuesta (Ver Apéndice A), entregado de forma virtual y en físico (presencial) cuando las circunstancias de la pandemia por COVID -19 lo permitieron.

5.4 Fases

5.4.1 Aplicación del MADM

Una vez se diseñaron las encuestas y los formatos de entrevista (Ver Apéndice A), se procedió al diseño y aplicación del MADM. Se calificó la respuesta a las encuestas y entrevistas, mediante la calificación de una escala tipo Likert. Para ello, previamente se establecieron criterios, conceptos y términos relativos al procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS (Ver Anexo A) y a lo dispuesto en la norma API RP 2009, entre otras. Con la información obtenida se obtuvo lo que se verá adelante en el capítulo de Resultados.

5.4.2 Aplicación del AHP

De las mismas respuestas calificadas mediante la escala tipo Likert, se procesó la información para el diseño y aplicación del AHP; al igual que en la anterior fase, se establecieron criterios, conceptos y términos relativos al procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS (Ver Anexo A) y a lo dispuesto en la norma API RP 2009, entre otras. Con la información obtenida se obtuvo lo que se verá adelante en el capítulo de Resultados.

5.4.3 Elaboración de lista de chequeo al procedimiento hot tapping en la empresa Unión Temporal R&R

Con los resultados observados en la MADM y en el AHP, se elaboró una lista de chequeo ajustada del procedimiento HOT TAPPING para la empresa Unión Temporal R&R (Ver Apéndice B)

Como se estableció desde un principio, el objeto de este trabajo de grado, fue validar el protocolo internacional y ajustar el protocolo local, confrontando posibles falencias en los procesos operativos, que permitan identificar, valorar y mitigar los riesgos al ejecutar el procedimiento de HOT TAPPING en intervenciones de líneas de conducción de hidrocarburos en servicio en Colombia.

5.4.4 Elaboración de la matriz de identificación de peligros y evaluación de riesgos para la ejecución de la actividad de hot tapping.

Se realiza la matriz de riesgos para la actividad de Hot Tapping basándose en la Guía Técnica Colombiana GTC 45 segunda actualización 2012, esta es una herramienta bastante eficaz que permite identificar los peligros, evaluar y valorar los riesgos en los ambientes de trabajo, por consiguiente, determinar todos los peligros a los cuales los trabajadores están expuestos al ejecutar la actividad de Hot Tapping, es

una labor primordial para poder definir las medidas de control en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo por parte de la empresa Unión Temporal R&R.

Para la toma de información de campo se contó con la colaboración de los integrantes del Comité Paritario de Seguridad y Salud en el Trabajo y el personal del área de SG-SST de la empresa Unión Temporal R&R, mediante inspección de área de trabajo, con el fin de identificar los peligros y riesgos que está expuesto el personal operativo al ejecutar la actividad de Hot Tapping.

Se formula la matriz con los parámetros establecidos en la norma GTC 45, la cual se presenta en el *Apéndice C*.

5.4.4.1 Marco metodológico elaboración de la matriz de identificación de peligros y evaluación de riesgos para la ejecución de la actividad de hot tapping.

La línea de investigación es Seguridad y Salud en el Trabajo y la sub línea de Salud, Ambiente y Trabajo, se identifican y evalúan los riesgos que están expuesto los trabajadores de la empresa Unión temporal R&R al ejecutar el procedimiento de Hot Tapping teniendo en cuenta la Guía Técnica Colombiana GTC 45 segunda actualización 2012.

Esta actividad se desarrolla identificando y evaluando los riesgos mediante una inspección a las áreas de trabajo, donde se verifica las condiciones en que se ejecuta la actividad de Hot Tapping en líneas de flujo en servicio.

La valoración es subjetiva ya que esta depende del criterio del inspector y está a cargo de los integrantes del COPASST y del equipo de SG-SST, quienes están debidamente capacitados por la ARL y la Empresa. Se consigna esta inspección en el formato de inspección de áreas de trabajo (Ver Anexo B).

Posteriormente de haberse ejecutado dicho ejercicio, se procesa la información de las inspecciones y se diligencia la Matriz de Evaluación del riesgo para la ejecución de la actividad de Hot Tapping, teniendo en cuenta los peligros, riesgos, niveles de deficiencia, niveles de exposición, niveles de consecuencia y los controles actuales que cuenta la empresa Unión Temporal R&R; se establecen las medidas de intervención del riesgo teniendo en cuenta los de mayor peligro (Nivel I y Nivel II) en la matriz.

6 Resultados

6.1 Análisis e interpretación de resultados

6.1.1 Aplicación del AHP

El proceso de análisis jerárquico se elaboró a partir de los resultados en respuestas calificadas a las herramientas encuestas y entrevistas aplicadas a una muestra de 150 trabajadores operativos que realizan intervención de HOT TAPPING de la empresa Unión Temporal R&R, ya ejecutados y otros en proceso de ejecución, para lo cual se tuvo en cuenta que el procedimiento de HOT TAPPING conlleva tres componentes claves necesarios para perforar de forma segura una línea en servicio:

- Las condiciones de la línea a intervenir
- La válvula sándwich
- La máquina de HOT TAPPING.

En la instalación, un accesorio está conectado a la tubería, principalmente por soldadura, siendo en la mayoría de los casos un Weldolet donde se solda una brida, o Split tee de división con una brida de salida (Jaramillo S., 2016, pág. 5).

Una vez el accesorio esta soldado sobre la tubería en servicio, se adjunta una válvula sándwich, y la máquina HOT TAPPING está unida a esta válvula. Como lo precisa (Jaramillo Correa, 2016), la conexión de ajuste / válvula, está unido a la tubería y normalmente se hace una prueba de presión, la cual es muy importante, a fin de asegurar de que no existen fallas estructurales en el accesorio, de modo que no se presenten fugas en las soldaduras ((Jaramillo Correa, 2016), pág. 8).

Con lo anterior y las respuestas de las herramientas, ante el uso del procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS (Ver Anexo A), se realizó el esquema de AHP de la siguiente figura 1, para determinar el sumatorio de fallas encontradas en las respuestas dadas por los operarios, frente a lo dispuesto por la API en su norma estándar de 2019 (API, 2019).

Ilustración 1

Esquema AHP para Evaluación del Procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS Frente a lo Recomendado en la Norma API 2019.

Meta	Seguridad en Ejecución del Proceso HOT TAP en la Empresa UNION TEMPORAL R&R						Alternativa
Criterio	Instalación de accesorios		Válvula sándwich		Maquina HOT TAPPING		
Subcriterio	Instalación Maquina	Corte	Retiro del Cupón	Perforado	Cierre válvula		
Seguridad del Protocolo	UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCION DE HOT TAP	UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCION DE HOT TAP	UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCION DE HOT TAP	UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCION DE HOT TAP	UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCION DE HOT TAP	UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCION DE HOT TAP	API RP 2009 Y2019: Seguridad y salud ocupacional para las operaciones de Hot tap.
UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCION DE HOT TAPS	SUMATORIA DE FALLAS POR INICIO MAQUINA	SUMATORIA DE FALLAS POR STOP MAQUINA	SUMATORIA DE FALLAS POR CORTE	SUMATORIA DE FALLAS POR RETIRO CUPON	SUMATORIA DE FALLAS POR PERFORADO	SUMATORIA DE FALLAS POR CIERRE DE VALVULA SÁNDWICH	PROCESO SIN FALLA

Nota. Elaboración propia de los autores.

Con la definición de criterios y alternativas vistas en la figura anterior, se definió una escala de importancia, así:

Tabla 1

Comparación Aplicado al AHP para Evaluación del Procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS Frente a lo Recomendado en la Norma API 2019

Escala	Grado de importancia
1	Igual de importante
3	Moderada importancia de un factor sobre otro
5	Fuerte o esencialmente importante
7	Muy fuertemente importante
9	Extremadamente importante
2,4,6,8	Valores para comparación inversa

Nota. Tomado de Saaty y Vargas 1991

Los resultados de la comparación (para cada par de factores) se describieron en términos de valores enteros de 1 (valor igual) a 9 (muy diferente) donde un número más alto significa que el factor elegido se considera más importante en mayor grado que el otro factor con el que se compara. Por tanto, para la evaluación del HOT TAPPING en la empresa Unión Temporal R&R, a través de su procedimiento empleado UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS (Ver Anexo A), conforme al esquema de la Figura 1 anterior, se tiene:

Tabla 2

Categorización de Criterios (Factores) y Sub Criterios Aplicado al AHP para Evaluación del Protocolo UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS Frente a lo Recomendado en la Norma API 2019.

Criterios	Subcriterios		
Instalación de accesorios	C1	Instalación de la Maquina Perforadora	SC1
		Corte	SC2
		Perforado	SC3
		Stop Maquina	SC4
		Retiro del "Cupón"	SC5
		Cierre de Válvula	SC6
Válvula sándwich	C2	Instalación de la Maquina Perforadora	SC1
		Corte	SC2
		Perforado	SC3
		Stop Maquina	SC4
		Retiro del "Cupón"	SC5
		Cierre de Válvula	SC6
Maquina HOT TAPPING	C3	Instalación de la Maquina Perforadora	SC1
		Corte	SC2
		Perforado	SC3
		Stop Maquina	SC4
		Retiro del "Cupón"	SC5
		Cierre de Válvula	SC6

Nota. Elaboración propia de los autores.

Con ella se construyó la matriz de valoración, para comparar los pares de las respuestas a las encuestas y entrevistas aplicadas a los operarios que trabajaron y están trabajando en actividades de HOT TAPPING.

Tabla 3

Cuestionario Matriz Criterios Efectivos y Comparación de Pares Aplicados al AHP para la Evaluación del Procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAP Frente a lo Recomendado en la Norma API 2019.

FACTOR	PESO DEL PUNTAJE DEL FACTOR															FACTOR		
	Más importante que					Igu al					Menos importante que							
C1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	C1
C2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	C2
C3	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	C3

Nota. Cuestionario entregado a cada operario para que califique el paso a paso del HOT TAPPING de acuerdo a los criterios y subcriterios del procedimiento de la empresa. Elaboración propia de los autores.

Cada operario, en cada encuesta y entrevista, abordó la calificación del paso a paso de la actividad de HOT TAPPING acorde al procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS, previo a un taller sobre la norma estándar internacional API 2019 (API, 2019), y su experiencia en la ejecución del procedimiento.

Se comenzó con el criterio de riesgo total asegurado y generó los siguientes datos en una hoja de cálculo:

Tabla 4

Matriz Triangular Superior para criterios Efectivos y Comparación de Pares, Aplicado al AHP para la Evaluación del Procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS Frente a lo Recomendado en la Norma API 2019.

Factor	C1	C2	C3
C1	1,00	7,00	3,00
C2	=1/7	1,00	0,14
C3	=1/3	=1/0,14	1,00

Nota. Elaboración propia de los autores

La matriz triangular superior se completó usando las siguientes reglas:

1. Si el valor de calificación del operario está en el lado izquierdo de 1, colocamos el valor de juicio real.
2. Si el valor de calificación del operario está en el lado derecho de 1, ponemos el valor recíproco.

Tabla 5

Matriz Triangular Superior e Inversa para Criterios Efectivos y Comparación por Pares, Aplicado al AHP para la Evaluación del Procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS Frente a lo Recomendado en API 2019.

	A	B	C	D
1	Factor	C1	C2	C3
2	C1	1,00	7,00	3,00

3	C2	0,14	1,00	0,14
4	C3	0,33	7,14	1,00
5	Total	1,47	15,14	4,14

Nota. Elaboración propia de los autores.

Tabla 6

Normalización de la Matriz Triangular Superior e Inversa para Criterios Efectivos y Comparación por Pares, Aplicado al AHP para la Evaluación del Procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS Frente a lo Recomendado en API 2019.

	A	B	C	D
6	C3	0,33	7,14	1,00
7	Total	1,47	15,14	4,14

Factor	C1	C2	C3	Total	Promedio
C1	0,68	0,46	0,72	1.86	0.62
C2	0,09	0,07	0,03	0.19	0.06
C3	0,25	0,47	0,24	0.96	0.32

Nota. Elaboración propia de los autores

Con la información obtenida del más alto valor de la evaluación de criterios y subcriterios, la cual recayó en la categoría C1 es decir en INSTALACION DE ACCESORIO, con sus seis subcategorías, según lo calificado por los operarios encuestados y entrevistados, se elaboró el Análisis de Consistencia, así:

Tabla 7

Calculo del Análisis de Consistencia en la Evaluación al AHP del Procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS Frente a lo Recomendado en la Norma API 2019.

	C1	C2	C3	Total	Promedio	Análisis de consistencia
C1	0,6803	0,4624	0,7246	1,87	0,62	2,02
C2	0,0952	0,0661	0,0338	0,2	0,07	0,2
C3	0,2245	0,4716	0,2415	0,94	0,31	0,98

Nota. Elaboración propia de los autores.

Se calculó la relación de consistencia y se verificó su valor, donde el propósito de hacer esto es asegurar que la preferencia original de las calificaciones de los operarios fue consistente.

Se realizaron tres pasos para llegar a la relación de consistencia:

Cálculo de la medida de consistencia.

Cálculo del índice de consistencia (CI).

Cálculo de la relación de consistencia (CI / RI, donde RI es un índice aleatorio).

$$CR = CI / RI$$

Tabla 8*Cálculo de la Media de Consistencia (CI).*

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.46	1.49

Nota. Elaboración propia de los autores.

La tabla que valora el RI aleatorio es, por tanto, al calcular el índice se obtiene

Tabla 9*Cálculo del Índice de Consistencia*

	C1	C2	C3	Total	Promedio	Análisis de consistencia
C1	0,6803	0,4624	0,7246	1,87	0,62	2,02
C2	0,0952	0,0661	0,0338	0,2	0,07	0,2
C3	0,2245	0,4716	0,2415	0,94	0,31	0,98
					0,33	
					Índice de consistencia	0,47

Nota. Elaboración propia de los autores.

Como se obtiene un Índice de Consistencia de 0,47, entonces el RI es 2, según la tabla anterior, por tanto, la Relación de Consistencia es

$$\mathbf{CR = CI / RI}$$

$$\mathbf{CR = 0,47 / 2}$$

$$\mathbf{CR = 0,235}$$

En la práctica, un CR de 0,1 o menos se considera aceptable. Como en el caso de la evaluación del procedimiento de HOT TAPPING en los operarios de la empresa Unión Temporal R&R, da mayor a 0,1 significa que las apreciaciones, para el caso de manejo del procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS (Ver Anexo A), no está debidamente afianzado entre los operarios que ejecutan la actividad, lo que puede llevar en algún momento a errores técnicos, y con ello a fallas en la seguridad y salud del personal operativo de la empresa.

No obstante, a lo anterior, con el AHP aplicado a la operación en campo de la actividad de HOT TAPPING en las 150 encuestas, algunos por la experiencia realizada, otros por la experiencia en ejecución, se puede medir el grado de consistencia en la aprehensión del procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS (Ver Anexo A), y si es inaceptable, como en el presente caso que el CR dio por encima 0,1, es necesario revisar las comparaciones por pares.

De otra parte, si esta relación de consistencia (CR) es muy grande (la literatura sugiere $> 0,10$), entonces la muestra evaluada de operarios no es lo suficientemente consistente y lo mejor que se puede hacer es volver atrás y revisar las comparaciones o encontrar más criterios y subcriterios para que la matriz arroje información más ajustada.

6.1.2 Aplicación del MADM

Una vez se realizó el proceso de análisis jerárquico, AHP, a los tres criterios y seis subcriterios, determinados para el procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS (Ver Anexo A), se procede a aproximar el modelo MADM.

Como con el AHP, la información para el MADM se obtuvo a partir de los resultados en respuestas calificadas a las herramientas encuestas y entrevistas aplicadas a una muestra de 150 trabajadores operativos que realizan intervenciones de HOT TAPPING en la empresa Unión Temporal R&R y otros en proceso de ejecución durante la realización del presente trabajo de grado.

Por otra parte, como lo menciona Vommi & Kakollu (2016): Los métodos de toma de decisiones de atributos múltiples (MADM) son muy esenciales en todos los campos de la ingeniería, la gestión y otras áreas donde existen alternativas limitadas y el tomador de decisiones tiene que seleccionar la mejor alternativa. En la literatura se encuentran disponibles diferentes métodos para abordar los problemas de MADM. Los problemas MADM se clasifican en métodos de puntuación, métodos de comprensión y métodos de concordancia. Los métodos de concordancia son difíciles de entender en comparación con los métodos de puntuación y comprensión. El MADM simple se basa en la filosofía de los métodos de puntuación y de comprensión y se basa además en la pérdida por no elegir la mejor alternativa ideal. Se han propuesto diferentes funciones de pérdida como funciones lineales, cuadráticas y cúbicas para calcular la pérdida (Vommi & Kakollu, 2016).

Así las cosas, con la valoración recogida de encuestas y entrevistas a los 150 trabajadores operativos que realizan o realizaron la actividad de HOT TAPPING, los autores procesaron como en el anterior análisis del AHP, solamente trabajando con promedios de datos transformados por la Prueba de Bartlett.

Este trabajo de grado usó un método sencillo para problemas MADM, basado en funciones de pérdida. Este método utiliza la filosofía de los métodos de puntuación y

comprensión. Los autores solo trabajaron el enfoque de función de pérdida propuesto y se deriva la pérdida total para elegir una alternativa, para el caso y continuando con lo obtenido en el AHP, se trabajó con la información recogida del criterio INSTALACION DE ACCESORIOS (es decir la soldadura del dispositivo Weldolet donde se instala una brida llamada Splet tee al tubo) en la sección de tubería a perforar (Jaramillo S., 2016).

Para este trabajo de grado, se ha propuesto un método simple y convincente para MADM. El presente método se basa en el principio de medir la pérdida causada por cada atributo, en el criterio INSTALACION DE ACCESORIOS, por no ser el mejor con respecto al mejor valor disponible entre todas las alternativas.

Los problemas de toma de decisiones de atributos múltiples, plantean un desafío al tomador de decisiones para seleccionar la mejor alternativa entre el conjunto de alternativas. Cada alternativa consta en base de algunos atributos, en los cuales el tomador de decisiones elige la mejor alternativa (Vommi & Kakollu, 2016).

Dichos atributos generales son de dos tipos, a saber, beneficiosos y no beneficiosos. En el caso de atributos beneficiosos, se desean valores más altos y para atributos no beneficiosos se prefieren valores más bajos. En general, ninguna alternativa presentará los dos atributos a la vez, los atributos beneficiosos a valores más altos y todos los no beneficiosos atributos en valores más bajos. Algunas alternativas pueden poseer los mejores valores con respecto a algunos atributos y pueden poseer valores no deseados, en niveles más altos con respecto a los demás (Vommi & Kakollu, 2016).

Además, los atributos poseerán pesos diferentes entre sí. Debido a esta naturaleza conflictiva, el tomador de decisiones tiene que elegir la mejor alternativa

basándose en algún criterio. Por ejemplo, en la metodología TOPSIS, una de muchas para aplicar un MADM, la mejor alternativa se elige con base en las distancias euclidianas de las alternativas de la mejor alternativa ideal y la peor alternativa ideal. Independientemente de la naturaleza del atributo, en la metodología TOPSIS, solo se considerarán las distancias euclidianas.

Pero, en realidad, el efecto del atributo no siempre tiene que ser proporcional únicamente a la distancia en línea recta. Por ejemplo, en el enfoque de función de pérdida de Taguchi, las pérdidas se toman proporcionales al cuadrado de la desviación de la característica de calidad del valor nominal deseado (Vommi & Kakollu, 2016).

En el método propuesto, inicialmente, la mejor alternativa ideal debe obtenerse de las alternativas disponibles. La mejor alternativa ideal consiste en todos los valores más altos para los atributos beneficiosos y todos los valores más bajos para los valores no beneficiosos. La pérdida por elegir cada alternativa debe calcularse con respecto a la mejor alternativa ideal. La alternativa con la menor pérdida total posible se elige como la mejor alternativa. Las pérdidas se pueden calcular no solo en función de la función cuadrática, sino que también se pueden calcular utilizando funciones de pérdida lineal y cúbica (Vommi & Kakollu, 2016).

En el caso de los criterios y subcriterios vistos anteriormente, dicha información proviene de la tabulación y calificación de respuesta al ejercicio del procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS de la empresa Unión Temporal R&R (Ver Anexo A).

En tal sentido se distribuyó la información calificada en las 150 entrevistas, considerando 10 de los más complejos, estos en tiempo de operación superior a la

media de otros procesos en otros sitios. La información de los criterios INSTALACION DE ACCESORIOS, VALVULA SÁNDWICH y MAQUINA HOT TAPPING, se dejó en su lectura sin transformación de Bartlett. En la tabla siguiente se observa el resumen de la información:

Tabla 10

Cálculo del MADM Basado en una Función de Perdida de Alternativa Usando una Regresión Lineal Múltiple para los Criterios y Subcriterios Evaluados para Evaluación del Procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS.

PUNTO	Intervención	C1	C2	C3
	(Yi)	(X1i)	(X2i)	(X3i)
1	88	844	67	5.75
2	80	1678	57	6.05
3	42	1573	39	5.45
4	37	3025	54	5.70
5	37	653	46	5.55
6	20	1991	62	5.0
7	20	2187	69	6.40
8	18	1262	74	6.10
9	18	4624	69	6.05
10	4	6249	76	6.15
11	2	4258	80	5.55
12	2	2943	79	6.48
13	-2	5092	82	6.55
14	-7	4496	85	6.5

Nota. Datos promedios sin transformar. Elaboración propia de los autores.

Como quiera que los autores emplearon la regresión lineal múltiple para determinar la relación existente entre la alternativa y los criterios del procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS (Ver Anexo A), este trabajo de grado halló esta ecuación de regresión con la información de la tabla anterior, así:

Tabla 11

Calculo de cuadrados dentro del MADM basado en una función de perdida de alternativa, usando una regresión lineal múltiple para los criterios y subcriterios evaluados del procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS.

$(Y_i)^2$	$(X_{1i})^2$	$(X_{2i})^2$	$(X_{3i})^2$	$(Y_i)(X_{1i})$	$(Y_i)(X_{2i})$	$(Y_i)(X_{3i})$	$(X_{1i})(X_{2i})$	$(X_{1i})(X_{3i})$	$(X_{2i})(X_{3i})$
20171	1,48E+08	65499	497,17	593914	20851	2071,75	2865483	241394,7	5632,8

Nota. Datos promedios sin transformar. Elaboración propia de los autores.

Con la información anterior se obtienen las varianzas y covarianzas, y con esta la matriz de covarianzas, que resultó en:

Tabla 12

Matriz de Varianzas y Covarianzas Dentro del MADM Basado en una Función de Perdida de Alternativa, Usando una Regresión Lineal Múltiple para los Criterios y Subcriterios Evaluados del Procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS.

	L11	L12	L13		2443871,6	13643,6	315,94
L	L21	L22	L23	=	13643,55	179,92	3,74

L31	L32	L31	315,94	3,74	0,19
-----	-----	-----	--------	------	------

Nota. Datos promedios sin transformar. Elaboración propia de los autores.

Con la anterior matriz de varianzas y covarianzas se calcula y obtiene la matriz inversa, así:

Tabla 13

Matriz Inversa Dentro del MADM Basado en una Función de Pérdida de Alternativa, Usando una Regresión Lineal Múltiple para los Criterios y Subcriterios Evaluados del Procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS.

	$7,14 \times 10^{-7}$	$4,992 \times 10^{-5}$	$2,0585 \times 10^{-4}$
Cij =	$4,992 \times 10^{-5}$	0,01289977	0,17091071
	$2,0585 \times 10^{-4}$	0,17091071	8,97296300

Nota. Datos promedios sin transformar. Elaboración propia de los autores.

Con los datos de la matriz inversa, finalmente se obtiene la ecuación de regresión lineal que interpreta la función de pérdida de alternativa en los criterios y subcriterios evaluados del procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS:

$$Y_i = 42,8903 - 9,44 \times 10^{-3} X_{1i} - 0,6872 X_{2i} + 6,137 X_{3i}$$

Donde el coeficiente o intercepto, es igual a 42,89.

Con la regresión lineal anterior, se realizó un análisis de varianza a la ecuación hallada, resultando en la siguiente ANAVA:

Tabla 14

Análisis de Varianza Dentro del MADM Basado en una Función de Perdida de Alternativa, Usando una Regresión Lineal Múltiple para los Criterios y Subcriterios Evaluados del Procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Razón de varianza	F tabulado	
					0,05	0,01
Modelo	3	420,1	140,03	3,85 (*)	3,71	6,55
Error	10	363,12	36,31			
Total	13	783,22	60,24			

Nota. Elaboración propia de los autores.

Lo hallado con la ANAVA, afirma que la ecuación encontrada se ajusta al modelo a nivel significativo, es decir que de cada 100 veces que se use, 99 veces dará la misma información correcta de criterios y subcriterios de los operarios frente al procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS (Ver Anexo A) y a lo recomendado en la norma API 2019.

El R2 calculado arrojó un 54%, esto es que la ecuación hallada, maneja el 54% de lo opinado por los operadores frente a los criterios y sus subcriterios.

Calculado el Coeficiente de Variación, CV, este arrojó un 23,5%, esto es que al estar por encima del 15%, la información colectada mediante las encuestas y entrevistas no fue optima, es decir cómo se encontró en la AHP, se debe mirar más criterios y más subcriterios para poder minimizar el sesgo de las comparaciones y en el presente caso de la información dada por los operarios evaluados.

6.1.3 Elaboración de la matriz de identificación de peligros y evaluación de riesgos para la ejecución de la actividad de hot tapping

La mayoría de los riesgos altos que se pueden apreciar en la evaluación y valoración de riesgo basados en la Guía Técnica Colombiana GTC 45 segunda actualización 2012, durante la ejecución de la actividad de Hot Tapping son los siguientes:

Nivel de Riesgo I:

En este nivel de riesgo, los peligros químicos y las condiciones de seguridad son los que más pueden afectar a los trabajadores por condiciones como:

- Los gases y vapores son uno de los peligros a los que se exponen los trabajadores, que al presentarse en los frentes de trabajo en grandes concentraciones pueden ser letales para la salud, por lo que se debe mantener una evaluación periódica de atmósferas peligrosas para asegurar ambientes de trabajo seguro al ejecutar la actividad de Hot Tapping.

- Las explosiones por gases a altas presiones es un factor que puede desencadenar una tragedia principalmente cuando se realiza la soldadura de accesorios para ejecutar el Hot Tapping, por ello es necesario el aseguramiento de la actividad mediante la realización de ensayos no destructivos que permiten identificar las condiciones de la tubería a intervenir.

-En excavaciones a cielo abierto, se pueden crear condiciones muy similares a un espacio confinado durante la ejecución de una actividad de Hot Tapping, lo que implica un mayor riesgo para el personal operario al poder quedar atrapados por derrumbes o por la formación de atmósferas peligrosas por una deficiente ventilación del área de trabajo.

-Los riesgos por choque eléctrico se deben tener en cuenta también debido a la utilización de equipos que generan corriente eléctrica para la ejecución de Hot Tapping, por consiguiente, es necesario que las instalaciones eléctricas se mantengan señalizadas, secas y en buen estado.

Nivel de Riesgo II:

En este nivel se identificaron los siguientes peligros:

- El trabajo en alturas que se ejecuta cuando se necesita acceder operar la máquina perforadora de Hot tapping (Ver Apéndice D), a pesar de que se realiza la entrega de los EPP para la protección contra caídas, en algunos casos el personal operario omite su uso correcto, convirtiéndose en una condición subestándar que puede generar accidentes de trabajo.

- El izaje de cargas debido al cargue, transporte y descargue de accesorios necesarios para ejecutar la actividad de Hot Tapping condiciona también que la actividad sea considerada de riesgo alto (Ver Apéndice D).

- Riesgos mecánicos; el adecuado uso de los equipos además de permitir ejecutar actividades más fácilmente para el trabajador, también evita que se presente un accidente al evitar el contacto directo de partes de su cuerpo con riesgos latentes, por lo que es conveniente la capacitación en el manejo, uso adecuado de herramientas y de cuidado de manos, esto logra en el trabajador una sensibilización del riesgo ante un eventual incidente.

- Superficies calientes generadas por la actividad de soldadura de accesorios necesarios para ejecutar Hot Tapping, el personal operativo (soldadores y ayudantes técnicos) pueden entrar en contacto con partes o superficies calientes por lo que es importante el seguimiento permanente de la actividad, la demarcación y señalización de las áreas de trabajo y el suministro de los elementos de protección personal adecuados.

- Los riesgos por factor humano es uno de los más difíciles de controlar debido a su dificultad de percibir, las evaluaciones de desempeño, las auditorias de proceso, programas de capacitación y entrenamiento son herramientas eficaces para controlar este tipo de riesgos, por lo que este trabajo de grado propone una forma de lograr detectarlo es mediante encuestas o evaluaciones periódicas al personal operativo y realizar un seguimiento continuo durante la ejecución del procedimiento de Hot tapping.

6.2 Discusión

Evaluar un protocolo de operación de un procedimiento de HOT TAPPING, en Colombia no tiene precedente, dado que la industria de hidrocarburos, usa una norma adaptada estandarizada internacionalmente por la API.

En ese contexto la empresa Unión Temporal R&R, usa en sus puntos de intervención de HOT TAPPING, el procedimiento adaptado a partir de la norma API y el procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS (Ver Anexo A).

Específicamente estos protocolos para la seguridad y salud en el trabajo durante la operación de un HOT TAPPING, buscan, según Jaramillo (2016), que:

Un HOT TAPPING no se considerará un procedimiento de rutina, pero debe utilizarse sólo cuando no hay otra alternativa práctica para realizar una intervención.

HOT TAPPING debe ser ejecutado por personal calificado.

Para cada HOT TAPPING se garantizará que la tubería a perforar posee un espesor de pared suficiente que permita de forma segura realizar la actividad sin poner en riesgo al personal operario y el sistema intervenido, lo cual se puede determinar mediante la medición de espesores con medidores por ultrasonido.

La soldadura de tuberías en servicio requiere procesos de soldadura calificados, así como de personal altamente capacitado y certificado para garantizar la integridad de las uniones cuando están operando a plena presión y bajo condiciones de caudal total (Jaramillo S., 2016, pág. 5).

Y según este mismo investigador, todo HOT TAPPING en esencia requiere la operación y la destreza, bajo un esquema de seguridad y salud en el trabajo, con base a que:

Es un método utilizado para hacer reparaciones, mantenimiento y servicio a tuberías, recipientes de alta presión, sin interrupción del flujo, es decir, que el sistema puede seguir operando normalmente.

El objetivo de ejecutar un HOT TAPPING es el de añadir conexiones a la tubería sin acudir a la despresurización o interrupción de las operaciones de proceso normales.

El HOT TAPPING también es usado para aislar secciones de tubería para el mantenimiento o unir un nuevo sistema de tubería a una existente. Frecuentemente, durante proyectos de extensión, este proceso es necesario para evitar el cierre total de las instalaciones en operación.

Aunque las máquinas de HOT TAPPING están disponibles comercialmente, algunas empresas prefieren construir su propia máquina perforadora. Pueden ser alimentadas con aire, fluido hidráulico, o electricidad. Debe ser capaz de retener y retirar el panel o cupón que se obtiene del corte.

Los sellos y los materiales de construcción de la máquina deben ser compatibles con el contenido o producto en la tubería a intervenir (petróleo, gas, agua, etc.). El material del taladro o del cortador debe ser adecuado para la penetración efectiva en la tubería metálica que será intervenido. Las máquinas de HOT TAPPING deben estar diseñadas y construidas para soportar las temperaturas, presiones y estrés mecánico que se pueden presentar durante su operación (Jaramillo S., 2016, pág. 4).

Bajo este contexto, en este trabajo de grado, se evaluó la receptividad, destreza y aprehensión de 150 operarios que ejecutaron intervenciones de HOT TAPPING para la empresa Unión Temporal R&R en el país, durante el trabajo de campo que se desarrolló en el semestre B de 2021.

Para ello se diseñaron encuestas y entrevistas, enviadas digital y virtualmente a los operarios, para que estos mediante las matrices de calificación y con vista al procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS (Ver Anexo A), calificaran libremente el grado de manejo de los criterios y subcriterios implícitos en la operación de un HOT TAPPING.

Dichas respuestas (calificaciones) a las herramientas, se procesaron mediante dos modelos, que permitieron evaluar que tan diestros, aprehendidos y capaces son los operarios bajo los estrictos requisitos de seguridad y salud en el trabajo que maneja el procedimiento empleado por la empresa Unión Temporal R&R.

Respecto al primer modelo, el proceso de análisis jerárquico, se pudo determinar que el criterio INSTALACION DE ACCESORIOS, es el de mayor manejo por los operarios evaluados, pero la calificación de la Relación de Consistencia, frente a las respuestas evaluadas, al ser superior al rango permitido, obliga a que se determinen más criterios y más subcriterios en los ítems de los HOT TAPPING, con el fin de dar más elementos de seguridad al procedimiento empleado.

Con respecto al uso del MADM, para la toma de decisión si es posible una alternativa al procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS (Ver Anexo A) actualmente utilizado por la empresa Unión Temporal R&R, al hacer el análisis de las respuestas a las herramientas, frente a los criterios y subcriterios del HOT TAPPING que es implícito al protocolo usado por la compañía, al evaluar el MADM con una regresión lineal múltiple, se encontró que los criterios y subcriterios manejados por los operarios son fiables, pero al observar la confiabilidad de la toma de datos de las herramientas, esta ordena que se debe ampliar el rango de calificación y

del procesamiento de los mismos, lo que es igual a que los operarios evaluados, no conocen o no manejan el total de la información contenida en el procedimiento con destreza y precisión, o que si lo manejan, no identifican algunas pautas dentro del procedimiento.

Los resultados obtenidos teniendo en cuenta la Guía Técnica Colombiana GTC 45 segunda actualización 2012, en el procedimiento del Hot Tapping se establece que las condiciones de seguridad son la principal causa de peligros de Nivel I entre los cuales se identificaron:

Tecnológico (explosión, fuga, derrame, incendio), al estar en contacto con líquidos o gases inflamables, que generalmente fluyen a través de la tubería en servicio a altas presiones.

Espacios confinados, en algunos sitios durante la actividad se debe trabajar en excavaciones a cielo abierto donde el espacio es reducido.

Eléctrico (media y baja tensión, estática) este peligro se presenta por el uso de energía eléctrica para la iluminación de las áreas de trabajo y equipos de apoyo; por lo tanto las conexiones y demás elementos de conducción eléctrica deben estar en buenas condiciones para garantizar la seguridad de los trabajadores.

Entre tanto los riesgos químicos como los gases y vapores son provocados por atmósferas peligrosas producidas por acumulaciones paulatinas o fugas accidentales que se pueden presentar mientras se ejecuta el procedimiento de Hot tapping.

Los peligros asociados a fenómenos naturales son peligros difíciles de controlar debido a que los fenómenos climáticos son difíciles de predecir, por lo cual es

necesario diseñar planes de emergencia y capacitar continuamente las brigadas de emergencia en cada proyecto donde se realice Hot Tapping.

Como peligros de Nivel II se establecieron las condiciones de seguridad como los trabajos en alturas, locativos y los izajes de cargas; para estos peligros los controles y medidas que ha tomado la empresa han sido suficientes para mitigar los riesgos sobre el personal operativo, sin embargo, se debe tener en cuenta una vigilancia permanente durante la ejecución del procedimiento para identificar situaciones subestándares y tomar los correctivos necesarios oportunamente.

El peligro Mecánico (elementos o partes de máquinas, herramientas, equipos, piezas a trabajar, materiales proyectados sólidos o fluidos), causa también riesgos que deben controlarse; es importante verificar el estado de las herramientas y equipos utilizados en el procedimiento de Hot tapping, el uso inadecuado de estos elementos pueden ser generadores de chispas provocando conatos de incendios y explosiones.

Las temperaturas extremas (calor y frío) por el clima pueden causar discomfort térmico en las áreas de trabajo donde se ejecuta Hot tapping, causando en el trabajador deshidratación o hipotermia y por ende afectar su salud.

También el trabajo de soldadura y el contacto con superficies calientes está dentro de los peligros que generan riesgo Nivel II, aunque esta actividad se realiza de manera frecuente durante la labor del Hot Tapping, es necesario que los trabajadores tomen las precauciones necesarias para no incrementar la probabilidad de que se presente incidentes que pueden terminar en fatalidades.

7 Análisis Financiero

Los recursos necesarios para ejecutar el presente trabajo de grado como personal profesional, técnicos especializados y operativos, equipos y vehículos; se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 15

Análisis Financiero de los Recursos Necesarios para el Trabajo de Grado.

Recurso	Cantidad	Función del Recurso	Valor
Profesional	2	Equipo Investigador	\$ 9.000.000
Técnicos y operativos	150	Población encuestada	\$ 2.550.000
Equipo de computo	2	Procesamiento digital de la información del proyecto de investigación	\$ 900.000
Datos Móviles	2	Medio de recolección de información y datos	\$ 900.000
Papelería	12	Recolección información cuestionarios	\$ 150.000
Logística y Transporte (Vehículo)	1	Movilización de Profesionales.	\$ 1.500.000
Total			\$ 15.000.000

Nota. Elaboración propia de los autores.

8 Conclusiones y Recomendaciones

8.1 Conclusiones

Frente al objetivo general, en el presente trabajo de grado se obtuvo la evaluación del riesgo sobre la ejecución del procedimiento de HOT TAPPING en intervenciones de líneas de conducción de hidrocarburos en Colombia mediante la aplicación de una aproximación de un modelo de toma de decisiones en múltiples

atributos (MADM). Al mismo tiempo que se usó además el MADM, se realizó también un análisis AHP, con el cual se midieron doblemente las respuestas calificadas en las encuestas y entrevistas realizadas a 150 operarios que han ejecutado el procedimiento de HOT TAPPING de la empresa Unión Temporal R&R, durante el semestre B de 2021.

En términos generales se desprende que se debe hacer énfasis en un mayor manejo y comprensión de los contenidos que se establecen en el procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS (Ver Anexo A).

Realizar una adaptación del procedimiento de Hot tapping no solo teniendo en cuenta los lineamientos de la norma API 2019 si no también los de la normatividad colombiana de SG-SST para minimizar aún más el riesgo que se pueda presentar por error humano.

.De otra parte, ante el objetivo de diseñar y aplicar un modelo de toma de decisiones en múltiples atributos (MADM), aproximado, para evaluar los procedimientos y su aplicación, en el trabajo de grado se usó el modelo MADMA, a través de una regresión lineal múltiple, evaluada con un análisis de varianza, cimentando un esquema de evaluación pionero en la industria de hidrocarburos, factible de ser replicado en el medio teniendo en cuenta los resultados del presente trabajo de grado.

Ante el objetivo de usar el modelo de análisis AHP, el trabajo de grado también cumplió su objetivo, en tanto que al igual que el anterior objetivo, se instala por primera vez en el país, un formato de evaluación de operarios y su conocimiento de la normatividad de seguridad y salud en el trabajo, al ejecutar actividades de HOT TAPPING, resaltándose que entre la muestra de operarios encuestados, se presenta

un preponderante mejor manejo y conocimiento del paso a paso ante el primer criterio, de tres, de todo el HOT TAPPING: El de la instalación de los accesorios necesarios para realizar la actividad (Split tee y Tor) mediante soldadura en las condiciones de la tubería a perforar (líneas en servicio) con la máquina de HOT TAPPING (Ver Apéndice D).

Respecto al tercer objetivo del presente trabajo de grado que consiste en la elaboración de una lista de chequeo a partir de lo hallado en los dos primeros objetivos, los autores de este trabajo de grado, con base en los resultados obtenidos en los análisis MADM y AHP, en el entendido, que se requiere más apropiación del procedimiento por parte del personal, por darse que no todo los criterios y subcriterios del proceso, se comparan equitativamente entre lo calificado por ellos mismos, se presenta en el Apéndice B, una propuesta de formato de lista de chequeo preoperacional ajustando la lista de chequeo que actualmente utiliza la empresa Unión Temporal R&R, con miras que se pueda garantizar el éxito de la operación teniendo en cuenta las medidas de control y de mitigación ante los peligros y riesgos identificados en la ejecución de la actividad de Hot Tap.

Las inspecciones preoperacionales y la verificación del cumplimiento de protocolos mediante el diligenciamiento de la check list propuesta (Ver Apéndice B), son herramientas muy importantes a tener en cuenta antes de ejecutar un procedimiento de Hot Tapping, por ser esta una actividad considerada de riesgo alto; además de antesala a la ejecución del procedimiento, debe estar acompañado de capacitaciones, reentrenamiento, divulgación del procedimiento y sensibilización de los peligros y riesgos de la actividad a todo el personal involucrado en la ejecución del

procedimiento, con el fin de evitar errores humanos al realizar este tipo de tareas que no se pueden considerar como rutinarias.

A pesar que durante la ejecución de cada procedimiento de Hot Tapping la empresa realiza la divulgación y socialización de los protocolos y el análisis de riesgos para cada punto o sistema a intervenir, es necesario evaluar el grado de afianzamiento por parte del personal operativo, de los procedimientos seguros de trabajo, para controlar desviaciones subestándares que pueda surgir durante la ejecución de la actividad.

8.2 Recomendaciones

Para futuras investigaciones sobre la misma temática, los autores recomiendan lo siguiente:

Ampliar el nivel de criterios y de subcriterios en las cuatro etapas definidas del procedimiento de HOT TAPPING, para que las decisiones que arrojen los modelos matemáticos, respecto a pertinencia del manejo por los operarios, brinde un mayor grado de seguridad en la ejecución de los trabajos de HOT TAPPING.

Emplear más comparaciones entre pares, según el AHP estudiado, es decir aumentando los criterios y subcriterios, las matrices arrojaran más precisión en la Relación de Consistencia, como principal parámetro del AHP.

La actividad de Hot Tapping, es considerada de riesgo “**Alto**” para su ejecución y por consiguiente no se debe considerar una actividad rutinaria, así el personal operativo tenga experiencia en el tema, porque cada trabajo de Hot Tapping tiene sus propios escenarios, lo que representa peligros y riesgos diferentes.

Referencias

Anaya, S. A., & Mora, C. E. (2020). Aplicación de una metodología de evaluación multicriterio integrada a un proceso de análisis y modelamiento geoespacial como herramienta para fortalecer la participación ciudadana enfocado en la densificación del uso del suelo. Caso de estudio. Magíster en Ordenamiento Territorial, Facultad de Arquitectura. Bucaramanga: Universidad Santo Tomas.

Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/29897?show=full>

ANH. (31 de diciembre de 2020). anhe.gov. Obtenido de (Anaya Estévez, 2020) <https://www.misgsst.com/public/documento/f8OgASrz3u.pdf>

API. (2003, 2009, 2015). Safe Hot Tapping Practices in the Petroleum & Petrochemical Industries: API RECOMMENDED PRACTICE 2201. Washington: American Petroleum Institute. Obtenido de <https://www.kimzim.org/valerotd/ValeroMER/MER%20Safety/HotTap/HotTap.docx>

API. (2019). Occupational Safety and Health for Oil and Gas Well Drilling and Servicing Operations. Washington: American Petroleum Institute. Obtenido de https://www.api.org/-/media/Files/Publications/RP-54_e4.pdf

Camargo, M. F. (2020). Land Suitability Analysis to Assess the Potential of Public Open Spaces for Urban Agriculture Activities. Master of Science in Geospatial Technologies, Institute for Geoinformatics. Münster: University of Münster.

Obtenido de <https://run.unl.pt/bitstream/10362/94399/1/TGEO0235.pdf>

Center for Chemical Process Safety. (19 de February de 2021). aiche.org.

Obtenido de <https://www.aiche.org/ccps/resources/tools/safe-work-practices/hot-tapping/strategies-effective-practices-manage-and-mitigate-hazards>

Dirección de Posgrados - Universidad ECCI. (2020). Guía Metodológica para el desarrollo de trabajos de grado. Dirección de Posgrados. Bogotá: Universidad ECCI.

Environmental Protection Agency EPA. (june de 2016). epa.gov. Obtenido de https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-06/documents/ll_hottaps.pdf

Federal Register USA. (2 de june de 2020). federalregister.gov. Obtenido de <https://www.federalregister.gov/documents/2020/02/06/2020-01459/pipeline-safety-valve-installation-and-minimum-rupture-detection-standards>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación – ICONTEC. (20 de junio de 2012 Segunda actualización). Guía para la identificación de los peligros y la valoración de los riesgos en seguridad y salud ocupacional. Bogotá D.C.

International Flow Technologies Inc. (25 de January de 2017). Linestop. Obtenido de [https://linestop.com/Cut-Sheets/Hot-Tapping-Services/Hot-Tapping-Line-Stopping- Procedure.pdf](https://linestop.com/Cut-Sheets/Hot-Tapping-Services/Hot-Tapping-Line-Stopping-Procedure.pdf)

ION PRO Services. (3 de february de 2021). ionproservices.com. Obtenido de <https://ionproservices.com/2021/02/03/requirements-in-executing-a-hot-tap/>

Ivanko, D. (2021). Identifying important variables and profiles of domestic hot tap water energy use in Norwegian buildings by using statistical methods. Faculty of Engineering, Department of Energy and Process Engineering. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology. Obtenido de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjD0fzM-rfxAhXnQzABHRLIB3A4ChAWMAF6BAgDEAM&url=https%3A%2F%2Fntnuopen.ntnu.no%2Fntnu-xmlui%2Fbitstream%2Fhandle%2F11250%2F2729693%2FDmytro%2520Ivanko_PhD.pdf%3Fsequence%3D1&usg=AOvVa

Jaramillo, C. (2016). Diseño Construcción de una máquina para perforar tuberías de petróleo. Ingeniería Mecánica. Quito: Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12554/3/UPS-KT01262.pdf>

Jaramillo, L. (2020). Development of an economic energy model to forecast the energy demand in Colombia by sectors of consumption. Oregon Institute of Technology.

Oregon: Master of Science in Renewable Energy Engineering. Obtenido de https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/7265/2020_Tesis_Laura_Catalina_Jaramillo_Villarreal.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Jaramillo, S. (2016). Diseño Construcción de una máquina para perforar tuberías de petróleo. Universidad Politécnica Salesiana, Ingeniería Mecánica. Quito: Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12554/3/UPS-KT01262.pdf>

Manyoma, P. C., Vidal, C. J., & Torres, P. (2020). Methodology for locating regional landfills using multi-criteria decision analysis techniques. *Cogent Engineering*, 7(1). doi:10.1080/23311916.2020.1776451

Morales, J. P. (2019). Revisión de modelos y herramientas multiatributo y multicriterio, y desarrollo de una herramienta computacional para la estructuración y evaluación de algunos de estos modelos. Maestría Ingeniería Industrial, Departamento de Ingeniería Industrial. Bogotá: Universidad de los Andes. Obtenido de Bibliografía 57

<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/43754/u830904.pdf?sequence=1>

Moreno, C. (2021). PROCESO DE JERARQUÍA ANALÍTICA DIFUSA 1, Proceso de jerarquía analítica difusa para la toma de decisiones de suministro eléctrico en áreas rurales no interconectadas en la región caribe colombiana. Maestría en eficiencia energética y energías renovables, Facultad de Ingeniería. Barranquilla: universidad de la Costa. Obtenido de <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/8265/Proceso%20de%20jerarqu%C3%ADa%20anal%C3%ADtica%20difusa%20para%20la%20toma%20de%20decisiones%20de%20suministro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Pabón, S. M. (2019). Geospatial assessment of the wind energy for an onshore project in the Caribbean region of Colombia. Master of Renewable Energy Systems, Department Umwelttechnik. Hamburg: University of applied sciences HAW Hamburg. Obtenido de https://reposit.haw-hamburg.de/bitstream/20.500.12738/8993/1/Pabon_Hernandez_geschwaerzt.pdf

Rodríguez, O., Duran, j., Garcia, C., & Castillo, E. (2018). Modelamiento del proceso de selección de sistemas de levantamiento artificial en producción de petróleo por medio de metodologías multicriterio para toma de decisiones. CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro, 8(1). doi:10.29047/01225383.91

Sabapathy, P. N., Wahab, M. A., & Painter, M. J. (2005). The Onset of pipewall failure during 'In-Service' Weldings of Gas pipeline. Journal Meter Process Technology, 168(3), 414-422. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924013604013044>

Tavana, M., Shaaban, A., Santos, F. J., & Vanan, I. R. (2020). A Review of Uncertain Decision-Making Methods in Energy Management Using Text Mining and Data Analytics. (MDPI, Ed.) *Energies*, 13(3947), 23. doi:10.3390/en13153947

Vásquez, O. A. (2018). Diseño de una metodología de análisis multicriterio para la certificación de los profesionales de ingeniería en Colombia. Facultad de Ingeniería, Escuela Doctoral de Ingeniería. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/69506/79646296.2018_V1.2.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Vommi, V. B., & Kakollu, S. R. (october de 2016). researchgate.net. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/309184206_A_simple_approach_to_multiple_attribute_decision_making_using_loss_functions

Zapata, J. D., Ramos, J., Bustamante, A., & Echeverri, O. (2020). Propuesta metodológica para la selección óptima del tipo de presa mediante el uso de técnicas multicriterio. *Geotechnical Engineering in the XXI Century: Lessons learned and future challenges* (págs. 1885-1894). Medellín: Universidad Nacional de Colombia. doi:10.3233/STAL190246

Apéndice

Apéndice A: Formulario Encuesta Procedimiento Hot Tap.

Apéndice B: Check List Preoperacional para Trabajos de Hot Tapping

Apéndice C: Matriz de Evaluación del riesgo para la ejecución de actividades de Hot Tapping.

Apéndice D: Registro Fotográfico.

Anexo

Anexo A: Procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS de la Unión Temporal R&R.

Anexo B: Formato de Inspección Áreas de Trabajo.

Apéndice A: Formulario Encuesta Procedimiento Hot Tap.

Valoración del Riesgo en Actividades de Hot Tapping Usando un Modelo

de Toma de Decisiones de Múltiples Atributos (MADM)

Universidad ECCI Dirección de Posgrados

Especialización en Gerencia de la Seguridad y Salud en el Trabajo

Bogotá, Colombia

Cuestionario Número _____

Presentación: La presente encuesta tiene por objeto evaluar el grado de conocimiento que presenta el personal operativo de la empresa Unión Temporal R&R al procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS con el propósito de evaluar el riesgo a que están expuesto como personal operativo en la ejecución de la actividad.

1. Del siguiente listado seleccione tres (3) criterios que considere usted que son de gran relevancia y otros seis (6) importantes a tener en cuenta para ejecutar la actividad de Hot tapping de una forma segura:

- | | |
|---|---|
| - Seguridad Social del personal operativo... <input type="checkbox"/> | - Instalación accesorios para hot tap..... <input type="checkbox"/> |
| - El aseguramiento de la actividad..... <input type="checkbox"/> | - El Corte de la tubería..... <input type="checkbox"/> |
| - La Máquina perforadora..... <input type="checkbox"/> | - La perforación y obtención de Cupón... <input type="checkbox"/> |
| - Equipos y herramientas a utilizar..... <input type="checkbox"/> | - La parada de la máquina..... <input type="checkbox"/> |
| - Perforado..... <input type="checkbox"/> | - El Cierre de la Válvula..... <input type="checkbox"/> |
| - Retiro del Cupón..... <input type="checkbox"/> | - Levantamiento de sellos..... <input type="checkbox"/> |
| - Inspecciones con END..... <input type="checkbox"/> | - El Sistema a intervenir..... <input type="checkbox"/> |

2. Listado de Criterios de gran relevancia seleccionados para realizar la actividad de Hot tapping de forma segura:

- Criterio 1: _____
- Criterio 2: _____
- Criterio 3: _____

3. Listado de Criterios importantes seleccionados que permiten también realizar la actividad de Hot Tapping de forma segura:

- Sub Criterio 1: _____
- Sub Criterio 2: _____
- Sub Criterio 3: _____
- Sub Criterio 4: _____
- Sub Criterio 5: _____
- Sub Criterio 6: _____

4. Con los anteriores criterios seleccionados realice una comparación con cada uno de ellos siguiendo el esquema dándole una evaluación según el grado de importancia que usted considere de acuerdo a su experiencia como personal operativo de la actividad:

	CRITERIO	SUBCRITERIO	EVALUACIÓN	PUNTAJE
VALORACIÓN DEL RIESGO ACTIVIDAD DE HOT TAPPING	Criterio 1 (C1)	SubCriterio 1 (SC1)	Muy importante	
			Igual importante	
			Poco Importante	
		SubCriterio 2 (SC2)	Muy importante	
			Igual importante	
			Poco Importante	
		SubCriterio 3 (SC3)	Muy importante	
			Igual importante	
			Poco Importante	
		SubCriterio 4 (SC4)	Muy importante	
			Igual importante	
			Poco Importante	
	SubCriterio 5 (SC5)	Muy importante		
		Igual importante		
		Poco Importante		
	SubCriterio 6 (SC6)	Muy importante		
		Igual importante		
		Poco Importante		
	Criterio 2 (C2)	SubCriterio 1 (SC1)	Muy importante	
			Igual importante	
			Poco Importante	
		SubCriterio 2 (SC2)	Muy importante	
			Igual importante	
			Poco Importante	
SubCriterio 3 (SC3)		Muy importante		
		Igual importante		
		Poco Importante		
		Muy importante		
		Igual importante		

		SubCriterio 4 (SC4)	Poco Importante		
		SubCriterio 5 (SC5)	Muy importante		
			Igual importante		
			Poco Importante		
		SubCriterio 6 (SC6)	Muy importante		
			Igual importante		
			Poco Importante		
		Criterio 3 (C3)	SubCriterio 1 (SC1)	Muy importante	
				Igual importante	
	Poco Importante				
	SubCriterio 2 (SC2)		Muy importante		
			Igual importante		
			Poco Importante		
	SubCriterio 3 (SC3)		Muy importante		
			Igual importante		
			Poco Importante		
	SubCriterio 4 (SC4)		Muy importante		
			Igual importante		
Poco Importante					
SubCriterio 5 (SC5)	Muy importante				
	Igual importante				
	Poco Importante				
SubCriterio 6 (SC6)	Muy importante				
	Igual importante				
	Poco Importante				

Le agradecemos su colaboración, lo cual será un aporte importante para crear condiciones seguras en el desarrollo de la actividad de Hot Tapping.

Muchas gracias por su tiempo,

Jorge H. Morales Guzmán

Especialista

Javier Silva Tole

Especialista

Apéndice B: Check List Preoperacional para Trabajos de Hot Tapping

Valoración del Riesgo en Actividades de Hot Tapping Usando un Modelo de Toma de Decisiones de Múltiples Atributos (MADM)					
Universidad ECCI Dirección de Posgrados Especialización en Gerencia de la Seguridad y Salud en el Trabajo LISTA DE CHEQUEO PREVIA PARA EJECUTAR HOT TAP					
Aspectos a Tener en Cuenta Antes de Ejecutar la Actividad:					
ITEM	DESCRIPCIÓN DE LAS ACCIONES	SI	NO	NA	OBSERVACIONES
1. MEDIDAS DE CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA ACTIVIDAD					
1.1	¿Se realizó divulgación del procedimiento aprobado, análisis de riesgo, permiso de trabajo, certificados de apoyo, planes de izajes, Plan de Emergencia al personal que ejecutará la actividad?				
1.2	¿El personal que ejecutará la actividad es idóneo y cuenta con Seguridad Social, afiliación ARL, certificados de entrenamientos para trabajos en alturas, espacios confinados, izaje de cargas entre otros?				
1.3	¿El área de trabajo se encuentra debidamente adecuada para la instalación de andamios, señalizada y demarcada con las correspondientes rutas de evacuación y puntos de encuentro?				
1.4	¿Los equipos y herramientas a utilizar cuentan con las correspondientes inspecciones preoperacionales y certificados de calibración vigentes?				
1.5	¿Las secciones a intervenir por soldadura y perforación fueron inspeccionadas por MEDICION DE ESPESORES Y MAPEO POR CORROSION y cumplen con los estándares de seguridad para realizar la actividad de forma segura?				
1.6	¿Se cuenta con equipos certificados para la medición de atmósferas peligrosas, incluyendo unidad de back up en caso de ser necesario?				
1.7	¿Las áreas de tubería a intervenir por soldaduras de accesorios fueron inspeccionadas con END y su resultado de ovalidad, espesor, defectos internos y externos están acordes con la normatividad?				
1.8	¿El personal de soldadores tienen la calificación vigente (WPO) para el WPS específico de acuerdo a requerimientos del Cliente?				
1.9	¿El personal que realizarán los Ensayos no Destructivos - END cuenta con las certificaciones y experiencia para realizar el la actividad?				
1.10	¿Las Split tee están acorde con las especificaciones y tipo de material exigidos por el Cliente?				
1.11	¿El operador del ducto está enterado y autorizó la intervención del ducto?				
2. EN LA MAQUINA PERFORADORA					
2.1	¿Se dispone del registro de mantenimiento preventivo realizado a la máquina perforadora?				
2.2	Se revisó el nivel de aceite de la caja de engranaje?				
2.3	Se revisaron las líneas hidráulicas?				
2.4	Se revisaron los empaques de la barra retenedora?				
2.5	Se revisaron los empaques de la barra perforadora?				
2.6	Se revisaron y lubricaron los puntos de lubricación?				
2.7	Se revisaron los anillos de empuje y tornillería?				
2.8	Se revisó el embrague?				
2.9	Se revisó la rosca de la barra de perforación?				
2.10	Se verificó que no se presenta fugas de aceite?				
2.11	El cortador se encuentra en buen estado?				
2.12	Se cuenta con cortador de respaldo en buen estado?				
2.13	La broca piloto se encuentra en buen estado?				
2.14	El espárrago y los empaques están en buen estado?				
3. EN LA UNIDAD DE POTENCIA HIDRÁULICA					
3.1	¿Se verificó en la hoja de vida del equipo el último mantenimiento realizado a él?				
3.2	Se revisó el nivel de aceite del Motor?				
3.3	Se revisó el nivel de Combustible?				
3.4	Se revisó el nivel de aceite hidráulico?				
3.5	Se revisaron las mangueras de Transmisión?				
3.6	Se revisó el estado de la batería?				
3.7	Se revisó el Swich de encendido?				
3.8	Se revisaron los manómetros?				
3.9	El tanque de almacenamiento de combustible está etiquetado?				
4. EN LOS CILINDROS HIDRÁULICOS					
4.1	Se revisó que no exista filtraciones de aceite?				
4.2	Se revisó la alineación de la barra central?				
4.3	Se revisó que no existan golpes en la barra central?				
4.4	Se revisaron las válvulas de control?				
4.5	Se revisó el seguro de la barra central?				
4.6	La cabeza obturadora se encuentra en buen estado?				
4.7	Los elementos de sello están acordes a la operación a realizar?				
5. EN LA VÁLVULA SANDWICH					
5.1	¿Se verificó en la hoja de vida del equipo el último mantenimiento realizado a él?				
5.2	Se revisó la movilidad de la compuerta?				
5.3	Se revisó el O-RING de la compuerta?				
5.4	Se revisó el O-RING interno?				
5.5	Se revisó el ajuste de las tuercas?				
5.6	Se revisaron los orificios de alivio de presión?				
OBSERVACIONES:					
RESPONSABLE DE LA ACTIVIDAD		RESPONSABLE HSE		AUTORIDAD DE AREA	
NOMBRE: _____		NOMBRE: _____		NOMBRE: _____	
CARGO: _____		CARGO: _____		CARGO: _____	
FIRMA: _____		FIRMA: _____		FIRMA: _____	
EMPRESA: _____		NOMBRE: _____		NOMBRE: _____	
FECHA: _____		NOMBRE: _____		NOMBRE: _____	

Apéndice D: Registro Fotográfico.

Figura 1

Instalación de Split tee



Nota. Soldadura de Split tee sobre línea en servicio. Elaboración propia.

Figura 2

Acondicionamiento de Split tee



Nota. Preparación de Split tee para montaje de perforadora. Elaboración propia.

Figura 3*Perforadora de Hot tapping*

Nota. Sierra piloto y circular para corte del cupón. Elaboración propia.

Figura 4*Montaje de perforadora Hot tapping*

Nota. Instalación de maquina perforadora sobre válvulas sándwich con equipo de izaje excavadora. Elaboración propia.

Figura 5

Montaje de perforadora Hot tapping



Nota. Instalación maquina perforadora sobre válvulas sándwich con equipo de izaje camión grúa. Elaboración propia.

Figura 6

Prueba de presión



Nota. Prueba de presión aplicando gas nitrógeno para verificar sello del sistema. Elaboración propia.

Figura 7*Armado y Acondicionamiento de Andamio*

Nota. Adecuación área de trabajo para realizar Hot tapping. Elaboración propia.

Figura 8*Verificación Montaje de Equipos*

Nota. Seguimiento con check list para realizar Hot tapping. Elaboración propia.

Figura 9*Hot Tapping*

Nota. Ejecución de Actividad de Hot tapping. Elaboración propia.

Figura 10*Aseguramiento de Split tee*

Nota. Condición final una vez realizada la Actividad de Hot tapping. Elaboración propia.


**Anexo A: Procedimiento UTRR-GS-CE-PR-001 EJECUCIÓN DE HOT TAPS de la
Unión Temporal R&R.**

CONTROL DE REVISIONES			
ELABORÓ	CARGO	FECHA	FIRMA
Giovanni Navarro	Ingeniero QA/QC	07/06/2021	
REVISÓ	CARGO	FECHA	FIRMA
Edwin Parra	Residente Mecánico	08/06/2021	
Jorge Morales	Coordinador HSE	08/06/2021	
APROBÓ	CARGO	FECHA	FIRMA
William Pitta	Coordinador Mecánico	09/06/2021	

VERSIÓN	FECHA APROBACIÓN CAMBIO	RESPONSABLE APROBACIÓN CAMBIO	NUMERAL MODIFICADO	MOTIVO DEL CAMBIO	DESCRIPCIÓN DEL CAMBIO
0	15/04/2020	Ingeniero QA/QC	Estructura General del documento	Elaboración de Procedimiento	Emisión del documento para aprobación

1	05/05/2021	Coordinador de Proyecto	<p>Capítulo 2 Capítulo 3</p> <p>Capítulo 6 Capítulo 7</p> <p>Capítulo 11 Capítulo 12</p>	Actualizar procedimiento	<p>Se actualiza el código del procedimiento.</p> <p>Se actualiza el número del contrato en el capítulo 2.</p> <p>Se incluye un nuevo término en Definiciones, capítulo 3.</p> <p>Se revisa y se actualizan conceptos en el capítulo 6</p> <p>Se reestructura la numeración de los subcapítulos 7.1.1 pasa a ser 7.2 y el 7.2 es ahora 7.3.</p>
---	------------	-------------------------	--	--------------------------	--

					<p>Se modifica el numeral 7.2 y la tabla 1 que hacía parte de él se elimina. La tabla 2 es ahora la tabla 1 y se reestructura.</p> <p>Se adiciona el anexo B.</p> <p>Se eliminan las actividades 5, 8 y 14 de la tabla 1 de esta versión ya que hacen parte de otros procedimientos.</p> <p>Se reestructura completamente la tabla 3 de peligros, riesgos y controles en el capítulo 11</p>
	09/06/2021				<p>Capítulo 3. Se complementa la definición de "Prueba de Hermeticidad".</p> <p>Capítulo 5. Se complementan las responsabilidades de "Coordinador de Proyecto" y "Técnico de Hot Tap"</p> <p>Capítulo 6. En el numeral 6.1. se complementan los puntos 8 y 15; y en el numeral 6.2. se complementa el primer párrafo.</p> <p>Capítulo 12. Se complementan los nombres de los anexos A y B.</p>



APROBADO PARA CONSTRUCCION

APROBADO CON COMENTARIOS (PUEDE PROCEDER PERO DEBEN INCLUIRSE LOS COMENTARIOS)

DEVUELTO CON COMENTARIOS (NO PUEDE PROCEDER)

FIRMA

09 - 07 - 2,021

FECHA

Coordinador de Proyecto

Capítulo 3.
Capítulo 5.
Capítulo 6.
Capítulo 12.

Incluir comentarios de Interventoría

OBJETIVO

Describir la ejecución de actividades de perforación en caliente (Hot Tap), para la solución constructiva variante realineación de las interferencias entre el poliducto Sebastopol – Medellín de Cenit SAS – Ecopetrol SA y el proyecto vial Vías del Nus de

la Concesión VINUS, de acuerdo con la normatividad que rige estos trabajos desde el punto de vista técnico y desde los puntos de vista de la seguridad y salud en el trabajo y del cuidado del medio ambiente.

ALCANCE

Este procedimiento aplica a los trabajos de perforación en caliente (Hot Tap), necesarios para los trabajos de drenaje, corte y empalme, trabajos finales que la Unión Temporal R & R ejecute para la solución de las interferencias que se presentan entre el poliducto Sebastopol – Medellín de Cenit SAS – Ecopetrol SA y el proyecto vial Vías del Nus de la Concesión VINUS, en los puntos No 1: PR30+440-(K98+290-K98+460) de 12” y No 3: PR34+270-(K93+990-K94+420) de 16” en el marco del contrato FJC 018 de 2020, cuyo alcance técnico define la ejecución de las obras y actividades para el realineamiento y puesta en servicio del Poliducto de ECOPETROL SA y del Gasoducto de TRANSMETANO SA ESP, que se encuentran ubicados en los sectores El Limón UF-4A en el Municipio de Santo Domingo y Santa Gertrudis UF-4B en el Municipio de Cisneros, Departamento de Antioquia.

DEFINICIONES

Hot Tap: Es la técnica empleada para hacer una conexión, por intermedio de un accesorio de tubería, que es unido a la tubería por procesos de soldadura, y por intermedio del cual se realiza un corte a presión para crear un orificio, sin presencia de

fugas, ni interrupción del flujo. Este servicio especializado, implica el uso de equipos llamados “tapping machine”.

Split Tee (Tee Partida): Las Tees de Hot Tap & Line Stop son los accesorios adecuados, que se requieren para el acceso directo al interior del ducto, son diseñadas y manufacturadas para asegurar la integridad del sistema de tubería. Constan de dos mitades, Una de ellas un semicilindro hueco completo con sus aristas longitudinales biseladas para soldadura a tope, y la otra mitad un semicilindro al que se le añade, centrado en su pared externa un niple corto con soldadura en forma de boca de pescado. Este niple va asociado con una brida welding neck en su otro extremo. Las dos mitades, montadas sobre la tubería se sueldan entre sí longitudinalmente y luego se sueldan al tubo circunferencialmente.

Prueba de Hermeticidad: Es el sometimiento de la tubería y sus accesorios, a una presión interna, estimada por norma o por el dueño de la tubería, mediante la inyección de un medio fluido, controlado, sostenido, medido y registrado, por un periodo determinado de tiempo bajo condiciones estáticas que determina la no fuga en el conjunto de elementos a perforar (colocar su valor en psi).

API: Instituto Americano del Petróleo, por sus iniciales en inglés.

ASME: Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, por sus iniciales en inglés.

AR: Análisis de Riesgos, valoración de los peligros y riesgos que implican el desarrollo de las actividades que constituyen un procedimiento y define los controles para evitarlos o minimizarlos.

Barra giratoria: También conocida como “Boring bar”, término como se denomina en inglés. Es una barra redonda que transmite el movimiento giratorio y línea al cortador desde el mando de operaciones de la máquina para hot tap. Para una mejor comprensión, remítase al anexo 1.

DOCUMENTOS DE REFERENCIA

- API RP 2201 Safe Hot Tapping Practices in the Petroleum & Petrochemical Industries.
- API SPECIFICATION 5L Specification for Line Pipe.
- API RP 2009 Safe Welding, Cutting, and Hot Work Practices in the Petroleum and petrochemical Industries.
- ASME B31.3 Process Piping
- ASME B31.4 Liquid Transmission and Distribution Piping Systems
- API 1102 Steel Pipelines Crossing Railroads and Highways
- API 1104 Standard for Welding Pipelines and Related Facilities

RESPONSABILIDADES

Coordinador de Proyecto: Proveer los recursos necesarios para la ejecución de las actividades y planificarlas con el Ingeniero Residente Mecánico y coordinar con VINUS y CENIT SAS las ventanas operativas para realizar la perforación en caliente.

Residente Mecánico: Solicitar los recursos necesarios para la realización de las actividades, planearlas y dirigir las de manera efectiva, teniendo en cuenta la seguridad del personal, la protección ambiental y el cuidado de los equipos y materiales de propiedad del cliente. Velar por la seguridad ocupacional y ambiental. Revisar los registros generados por las actividades de este procedimiento.

Supervisor Mecánico: Implementar este procedimiento con el fin de que las actividades sean ejecutadas correctamente elaborar los registros que las actividades de este procedimiento demanden. Velar por la seguridad ocupacional y ambiental y eliminar las condiciones inseguras en todas y en cada una de las actividades.

Ingeniero QA/QC: Verificar y certificar los lineamientos de calidad de cada una de las actividades que se desarrollan durante la ejecución del procedimiento.

Líder HSE Operativo: Verificar que se cumplan paso a paso los requerimientos de seguridad y salud en el trabajo.

Coordinador HSE – Ambiental: Verificar que se cumplan paso a paso los requerimientos y acciones de carácter ambiental recomendada por la autoridad competente.

Técnico de Hot Tap y Ayudantes Técnicos: Desarrollar las actividades de este procedimiento conforme a lo indicado en él, cumpliendo con todas las normativas de calidad, seguridad ocupacional, salud y cuidado con el medio ambiente.

GENERALIDADES

MANEJO CORRECTO DE SEGURIDAD SALUD EN EL TRABAJO Y MEDIO AMBIENTE – HSE

El Ingeniero Residente Mecánico debe identificar junto con el Coordinador HSE y Cenit o su representante, como operador del ducto los posibles riesgos asociados con el trabajo, y establecer las medidas de control y mitigación, mediante la elaboración del Análisis de Riesgos y el Plan de Emergencias, de acuerdo con la operación a realizar. Tramitar los permisos de trabajos con los certificados de apoyo requeridos.

- Verificar que se disponga en el frente de trabajo los soportes de pago de la seguridad social vigentes (EPS, Empresa Promotora de Salud – ARL, Administradora de Riesgos Laborales) de todo el personal involucrado en las actividades que constituyen este procedimiento.
- Antes de iniciar actividades, durante el desarrollo de la jornada y al finalizar esta, se debe dar estricto cumplimiento a los procedimientos establecidos en el plan de manejo para la prevención y control del Covid-19 UTRR/GHSEQPL-002, diligenciándose las correspondientes planillas de reporte sobre el estado de salud, toma de temperatura corporal y lavado y desinfección de manos del personal que ejecutará la actividad y el uso correcto y permanente de tapabocas, cubriendo nariz y boca y cumpliendo con el distanciamiento físico y demás disposiciones de la Resolución 0223 de 2021.
- Todo el personal que intervenga en esta actividad deberá usar los Elementos de Protección Personal indicados en la tabla 2 del capítulo 9 de este procedimiento.
- Realizar inspección preoperacional de las herramientas y equipos, antes de iniciar las actividades, para verificar su estado.

- Verificar que estén conformadas las brigadas de emergencia (Evacuación, Primeros Auxilios, Contraincendio, Y Ambiental) establecidas para el lugar donde se realizarán los trabajos.
- Antes de iniciar los trabajos se debe contar con el Análisis de Riesgos, AR, la matriz de identificación de peligros y riesgos, evaluación de las medidas de control y los permisos de trabajo con los certificados de apoyo que apliquen, aprobados por la autoridad del área, CENIT, los cuales deben ser divulgados al personal que interviene en la actividad.
- Señalizar y demarcar el área donde se realizará la actividad de Hot Tap y verificar que sólo se permita el ingreso al personal autorizado, que tiene relación con el trabajo en ejecución; todo el personal involucrado en la actividad deberá contar con traje ignífugo.
- Realizar mediciones periódicas de atmósferas peligrosas (cada 15 minutos), para asegurar un ambiente de trabajo seguro.
- Adecuar el área de trabajo demarcada como ejecución de Hot Tap, teniendo en cuenta el generar protección contra riesgos; como deslizamientos y caídas en las áreas de trabajo generadas por cables, mangueras, tubos u otros elementos ubicados en el suelo.
- Verificar siempre que las máquinas y equipos a utilizar en la operación no presenten fugas, que puedan perjudicar al personal o contaminar al medio ambiente.
- Todo el personal ajeno a las actividades debe mantenerse por fuera del área demarcada con cinta y señalizadas como área caliente, área tibia. No se permite que

se acerquen personas ajenas a la actividad a estas áreas hasta tanto no se haya terminado por completo la tarea.

- Se identificarán y señalizarán las rutas de evacuación y los puntos de encuentro, y se darán a conocer antes de iniciar la actividad a los trabajadores que intervienen en la ejecución de los trabajos.
- En caso de presentarse una falla de control o condición subestándar, se detendrán las labores y se evaluarán las condiciones del proceso para definir si se suspende la actividad, informando a la interventoría y cerrando el permiso de trabajo.
- Todo el personal involucrado en la ejecución de los hot tap debe asegurarse del cumplimiento total de los requerimientos establecidos en el permiso de trabajo y certificado de apoyo respectivo, previo al inicio de los trabajos.
- El Residente Mecánico y/o el Supervisor Mecánico y el Líder HSE Operativo son responsables de la demarcación y señalización del sitio de trabajo con avisos preventivos, y de no permitir la permanencia o acceso de personas ajenas a la actividad.
- El Líder HSE Operativo debe asegurar la existencia de extintores en el sitio de trabajo, preferiblemente de polvo químico seco, camilla rígida con inmovilizadores de cuello, miembros superiores e inferiores, botiquín, kit de rescate y vehículo de transporte asistencial medicalizado – TAM, para la movilización de lesionados.
- Durante el desarrollo de las actividades operativas, el Líder HSE Operativo debe realizar el monitoreo de atmósferas peligrosas con un explosímetro con certificado de calibración vigente. En caso de presentarse lecturas de atmósfera explosiva, se deben suspender las actividades hasta que las condiciones sean las adecuadas.

- Si durante la jornada laboral se presentan lluvias fuertes o tormentas eléctricas, se deben suspender las actividades operativas y el personal se debe resguardar en sitio seguro, preferiblemente en el área de apoyo (Carpas). Se debe verificar que, en el área de trabajo no exista represamiento de agua ni que el nivel freático esté alto.

LIDERAZGO Y RESPONSABILIDAD

El Líder HSE Operativo y el Coordinador HSE - Ambiental como responsables, en mutua comunicación con el encargado de la actividad (Residente Mecánico y/o Supervisor Mecánico) evaluarán los riesgos propios del proceso y del área en general, registrando las actividades críticas cuando así lo amerite. De igual forma divulgarán a todo el personal sobre los riesgos y medidas preventivas o de control a tener en cuenta. Deben de asegurarse que todos los riesgos estén identificados y evaluados, así como también del seguimiento de los procedimientos aplicados a los controles establecidos en el Análisis de Riesgos - AR).

CAMBIOS EN EL PROCEDIMIENTO

Cualquier cambio en el elemento humano, los equipos, los estándares y las prácticas operativas que no estén establecidas en el presente procedimiento constructivo aprobado, deberán administrarse adecuadamente y ser reportadas inmediatamente por el encargado de la actividad al Coordinador de Proyecto. Además de suministrar el personal, equipo y apoyo necesario con el fin de asegurar que dichos cambios no se reflejen en actos y condiciones inseguras que puedan producir pérdidas o accidentes.

PREPARACION PARA EMERGENCIAS

Para la atención oportuna de emergencias, se debe contar con equipo de atención de primeros auxilios (camilla rígida, inmovilizadores, botiquín, equipo de rescate), medio de comunicación, vehículo de Transporte Asistencial Medicalizado – TAM en el sitio donde se realiza la actividad, el procedimiento en caso de evacuación médica (MEDEVAC). A su vez, coordinar con la concesión vial VINUS S.A.S. la disposición de personal, equipamiento para la atención de emergencias y la utilización de los túneles de La Quebra como ruta de evacuación rápida hacia los centros hospitalarios de Barbosa, Girardota, Bello y Medellín como apoyo para el caso de presentarse alguna emergencia. Es responsabilidad del Coordinador de HSE, mantener actualizado el plan de emergencias y hacerlo conocer a todo el personal.

La preparación para emergencias, y el MEDEVAC (“Medical Evacuation”) o evacuación médica deberá estar alineado al plan de emergencias de la Concesión Vinus. También se cuenta con el apoyo de Cenit conforme a la Actualización del Plan de Emergencia para el Sistema de Transporte de Hidrocarburos Sebastopol – Medellín – Cartago Sección E. Poliducto Sebastopol – Medellín de 2016

MANEJO AMBIENTAL

- Antes de iniciar labores operativas todo el personal que intervenga en esta actividad deberá conocer los impactos ambientales de las operaciones con su respectivo control operacional, se mantendrá en todo momento el orden y aseo del área de trabajo.

- Verificar siempre que las máquinas y equipos a utilizar en la operación no presenten fugas, que puedan perjudicar al medio ambiente. Se debe contar con un Kit Ambiental para mitigar cualquier impacto al ambiente generado por esta situación. El tamaño de este será revisado y estructurado de acuerdo con la magnitud de la operación.
- Los residuos generados durante la actividad serán dispuestos únicamente en los puntos ecológicos ubicados en el lugar de trabajo, en los recipientes correspondientes a la codificación establecida en la resolución 2184 de 2019 del Gobierno Nacional, los cuales serán evacuados inmediatamente, al finalizar la jornada laboral.
- El Líder HSE Operativo debe reportar cualquier incidente asociado con el medio ambiente, gestionando su solución inmediata.
- Se debe considerar la posibilidad de construir y/o instalar barreras para el manejo de derrames de hidrocarburos e los puntos de los Hot Tap como la impermeabilización del área con plástico de calibre 7 mm como mínimo con dique de contención.
- No se debe alimentar ni molestar a los animales silvestres y domésticos.
- Es prohibido lavar los equipos y herramientas en cauces de agua naturales, cárcamos y drenajes de los taludes conformados por el avance del proyecto vial.

VERIFICACIONES PREVIAS

El Coordinador de Proyecto debe solicitar a Cenit o su representante en el frente de trabajo, con suficiente anticipación, la disponibilidad de la línea para realización de los trabajos de perforación en caliente. La presión en la línea debe ser inferior a 1200

psi para poder llevar a cabo las perforaciones en caliente para los by pass. Si se usan en las actividades equipos ANSI 900 las perforaciones en caliente no requieren restricción operativa.

El Residente Mecánico conociendo el alcance, las especificaciones técnicas del trabajo a realizar y el listado de equipos requeridos; verificará y realizará el alistamiento de los equipos, accesorios y herramientas para la ejecución de los trabajos. Verificará el diámetro del cortador y brocas piloto, hará pruebas de funcionamiento de la máquina de perforación, Verificará el ensamble de cada uno de los accesorios. Dentro de las pruebas de funcionamiento fundamentales; el técnico deberá desplazar la barra giratoria (Boring Bar) junto con su barra de medición al 70% de su avance real, para verificar su desplazamiento en tierra y así engrasar su “Boring Bar” al retraer. (Véase el anexo 1 para detalle de componentes). También se deben verificar los niveles de aceite en la caja de engranajes y de grasa en sus graseras.

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

CONDICIONES OPERATIVAS DE LA LINEA POLIDUCTO CENIT

De acuerdo con la información suministrada por Cenit-Ecopetrol a través de su representante, las condiciones operativas de la línea son:

Presión máxima de diseño: 2200 psi

Rata de flujo: 3138 barriles/hora

Temperatura de diseño: 35 – 39°C

ACCESORIOS DE TUBERIA REQUERIDOS

Los accesorios de tubería básicos para realizar los Hot Tap necesarios para drenaje y obturación, son los especificados en el procedimiento UTRR/GS-CE-PR-004 Montaje de las Split Tee y otros accesorios necesarios para Hot Tap.

ACTIVIDADES CONSTRUCTIVAS

En la tabla 1 se encuentran descritas cada una de las actividades constructivas que conforman este procedimiento, en secuencia lógica sin que esto implique que no se puedan realizar simultáneamente algunas de ellas, incluye los responsables de cada actividad y los registros mínimos requeridos, en caso de que apliquen.

Tabla 1. Descripción de actividades

No.	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE	REGISTROS
1	VERIFICAR ELEMENTOS DE TRABAJO Y CONDICIONES OPERATIVAS	<p>Es de vital importancia que el Operador de la línea y el Residente Mecánico verifiquen la presión de operación y la temperatura de la máquina de perforación, antes de iniciar cualquier operación.</p> <p>El Residente Mecánico debe verificar que todos los accesorios, tales como válvulas, bridas, pernos, tuercas, empaques se encuentren en óptimas condiciones, y que cumplan con el código y los requisitos que exige la infraestructura del ducto a intervenir.</p> <p>Adicionalmente deberá verificar nuevamente; los principales equipos a utilizar en la operación, tales como máquina de perforación, válvulas sándwich y unidad hidráulica de poder. Adicionalmente, debe verificar el cortador y la broca piloto para asegurarse de que estén en buenas condiciones, para la operación y prevenir problemas mecánicos.</p> <p>En caso de que se realice una perforación con una broca piloto y fresa, se debe asegurar que la broca piloto tenga instalado el pin que atrapa el cupón para evitar que se caiga y obstruya el cierre de la válvula.</p> <p>El técnico debe verificar que el pin que atrapa el cupón este ubicado a mayor distancia del punto de corte de la fresa, para asegurar el atrapamiento del cupón al finalizar el corte.</p>	Operador de la Línea, Residente Mecánico, Técnico de Hot Tap	Lista de Control Hot Tap y Line Stop Inspección Preoperacional Hot Tap
2	ENSAMBLE DEL EQUIPO	Se procede a ensamblar la máquina perforadora, junto con el cortador, broca piloto y adaptador, correspondientes al diámetro a perforar y se debe verificar la concentricidad de los mismos. Remítase al anexo 1.	Residente Mecánico, Técnico de Hot Tap, Ayudante Técnico.	No Aplica
3	INSTALAR LA MÁQUINA DE TALADRADO EN CALIENTE Y CONJUNTO ACCESORIOS HOT TAP	<p>Cuando se instale la máquina perforadora, se deben seguir las instrucciones del fabricante y los siguientes pasos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verificar la alineación de la válvula, cerrada, con el plato adaptador sobre el que va montada la válvula, 	Residente Mecánico, Técnico de Hot Tap, Ayudante Técnico	<p>Inspección Preoperacional Hot Tap.</p> <p>Lista de Control Hot Tap & Line Stop</p>

No.	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE	REGISTROS
		<p>posteriormente la alineación del adaptador de la máquina con la válvula.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Abrir la válvula y verificar la apertura y cierre. • Deslizar la barra de taladrado (Boring Bar) de la Máquina perforadora a través de la válvula, para asegurar que el cortador no roce o atasque. • Calcular cuidadosamente la distancia de desplazamiento del cortador, para asegurar que el taladro se pueda completar dentro de los límites dimensionales, que el corte será detenido antes que el cortador o la broca piloto toque el lado opuesto de la tubería, y que el cupón cortado a recuperar pueda ser retirado a una distancia suficiente que permita el cierre sin obstrucciones de la válvula y el taladrado. • Hay que confirmar que la válvula de purga del adaptador y de la máquina mantienen la presión y no está tapada o presenta fuga. 		
4	PRUEBA NEUMÁTICA	<p>Se debe realizar la prueba neumática con Nitrógeno al conjunto de Accesorios soldados para hot tap, Válvula y Máquina Perforadora.</p> <p>La presión de la prueba debe ser a la misma presión de operación de la línea a intervenir (API 2201 Numeral, 10.4). La prueba no debe superar la presión interna en más del 10% de la presión de operación, sin embargo, se puede bajar el rango de la prueba según lo establecido en la Norma API 510 (Precauciones para pruebas de presión). La presión por tanto no podrá ser mayor a la presión que Cenit indique como presión de operación.</p> <p>El ciclo de la prueba es el siguiente:</p> <p>Etapas 1- Una vez verificadas las conexiones, se procede a inyectar el nitrógeno y se sube la presión a un 30% de la presión de prueba, y se estabiliza entre 5 y 10 minutos.</p> <p>Etapas 2- Una vez verificado que no existen fugas, y terminado el proceso de estabilización se sube la presión a un</p>	Residente Mecánico, Técnico de Hot Tap, Ingeniero QA/QC,	Registro de prueba de hermeticidad Lista de chequeo para prueba de hermeticidad

No.	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE	REGISTROS
		<p>60% de la presión de prueba, y se estabiliza entre 5 y 10 minutos.</p> <p>Etapa 3- Una vez verificado que no existen fugas, y terminado el proceso de estabilización se sube la presión a un 100% de la presión de prueba, manteniéndola durante 25 minutos.</p>		
5	PERFORACIÓN EN CALIENTE PROPIAMENTE DICHA	<ul style="list-style-type: none"> • Una vez finalizada la prueba, el contenido de esta debe permanecer en el conjunto probado para iniciar la perforación en Caliente (Hot Tap). • Una vez el cliente o su representante libere la prueba de hermeticidad, el técnico de Hot Tap procede a: <ul style="list-style-type: none"> • Verificar que la válvula involucrada en el Hot Tap a realizar, se encuentre abierta al 100%. • Rotar el equipo antes de iniciar la perforación y la broca piloto durante un promedio de 15 minutos, para que se caliente su sistema hidráulico y mecánico, antes de tocar el tubo. • Se inicia el corte verificando que el sistema hidráulico, no presente saltos en la presión. • Cuando la broca piloto pasa el tubo y comienza el corte con los dientes del cortador, se deben verificar, que las revoluciones estén según el manual del equipo. • Una vez se ha alcanzado la distancia de corte, se verifica con el sonido de los motores y la presión del hidráulico. El técnico decide si el corte está completo o le falta la limpieza. • A continuación, se retrae la barra de taladrado hasta que la varilla de medición llegue a cero. 	Residente Mecánico. Técnico de Hot Tap	<p>Tarjeta de Medidas para Perforación, Obturación y Completamiento</p> <p>Tarjeta de medidas elementos de igualación</p>
6	FINALIZACION DE LA PERFORACIÓN	<p>Cuando se verifique que la perforación está totalmente realizada, se debe entrar a retraer toda la barra de la máquina para lograr el cierre de la válvula. Cuando se haya cerrado la válvula principal del Hot Tap, se abre nuevamente la válvula de purga de la máquina para drenarla y verificar que no exista fuga, por la válvula principal del Hot Tap.</p>	Residente Mecánico, Técnico de Hot Tap.	Lista de Control Hot Tap & Line Stop

No.	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE	REGISTROS
		<p>Se procede a drenar el contenido dentro de la máquina de perforación y de la válvula mediante la válvula de purga.</p> <p>Se debe asegurar que se disponga de equipo de contención adecuada para controlar líquidos y vapores atrapados dentro de la máquina de perforación. Entre los equipos necesarios están; bateas, mangueras y bombas de succión. Es muy importante verificar que la válvula de Hot Tap esté cerrada completamente antes de retirar el equipo, con el objeto de evitar derrames. En caso contrario, no se puede retirar la máquina de perforación.</p> <p>Se procede a soltar los pernos para el respectivo izaje de los equipos.</p> <p>Para ubicar el equipo en el piso se debe tener polines ubicados especialmente, para que la maquina no sufra averías, así como el material oleofílico y desengrasante industrial para la limpieza de este.</p>		

DOCUMENTOS Y REGISTROS

UTRR-GS-FR-027 TARJETA DE MEDIDAS PARA PERFORACIÓN, OBTURACIÓN Y COMPLETACIÓN.

UTRR-GS-FR-029 TARJETA DE MEDIDAS ELEMENTOS DE IGUALACIÓN

UTRR-GS-FR-030 HOJA DE DATOS DE HOT TAP EN LINEAS DE TRANSPORTE

UTRR-GS-FR-031 INSPECCIÓN PREOPERACIONAL PARA HOT TAP

UTRR-GS-FR-033 VERIFICACION DE EQUIPOS DE HOT TAP

UTRR-GS-FR-025 PRUEBA DE HERMETICIDAD

UTRR-GS-FR-027 LISTA DE CHEQUEO PARA PRUEBA DE HERMETICIDAD

UTRR-GS-FR-026 REGISTRO DE TORQUEO

PERSONAL Y EPPS REQUERIDOS

Los elementos de protección personal que deben usar los que intervienen en esta actividad se registran en la tabla 2.

Tabla 2. Personal y elementos de protección personal específicos.

PERSONAL	ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL
RESIDENTE MECANICO	Elementos de Protección Personal Básicos (casco, botas de seguridad, guantes de vaqueta, gafas de seguridad, protectores auditivos). Traje ignífugo.
TECNICO DE HOT TAP Y AYUDANTE	Elementos de Protección Personal Básicos (casco, botas de seguridad, guantes de vaqueta, gafas de seguridad, protectores auditivos). Traje ignífugo, mascarilla media cara con filtros anti-vapores, arnés y eslingas.
COORDINADOR HSE	Casco, tapa oídos, gafas de seguridad, guantes de vaqueta y botas de seguridad.
LIDER HSE OPERATIVO	Casco, tapa oídos, gafas de seguridad, guantes de vaqueta y botas de seguridad.
INGENIERO QA/QC	Casco, tapa oídos, gafas de seguridad, guantes de vaqueta y botas de seguridad.
RESCATISTA	Elementos de Protección Personal Básicos (casco, botas de seguridad, guantes de vaqueta, gafas de seguridad, protectores auditivos). Traje ignífugo, mascarilla media cara con filtros anti-vapores, arnés, eslingas y kit de rescate.
OBREROS	Casco, tapa oídos, gafas de seguridad, guantes de vaqueta y botas de seguridad.

EQUIPOS

Máquina 760 para Hot Tap de 12”

Máquina 101 para Hot Tap de 2”

Herramienta Menor

Torquímetro con Calibración Vigente

Válvulas sándwich de 10" de diámetro

Camión grúa

Aparejos de Izaje

Manómetro con Calibración Vigente

Nitrógeno

Andamios Certificados

Arnés y eslingas

Kit de Rescate

ANALISIS DE RIESGOS

Tabla 3. Matriz de peligros, riesgos y controles propios de la actividad

PELIGRO	RIESGOS	CONTROLES	RESPONSABLE
Biomecánico: Posturas inadecuadas	Dolor progresivo en miembros superiores: cuello y zonas lumbares.	<ul style="list-style-type: none"> * Periodos y descansos durante la jornada (pausas activas). * Sensibilizaciones sobre higiene y posturas adecuadas. * Calistenia al inicio de cada jornada laboral. <p>Si se llegare a presentar un evento no deseado:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Valorar la condición física y psicológica de quien experimenta la condición lesiva. * Proporcionar primeros auxilios buscando no agravar la lesión si existe. * Asegurar el traslado del involucrado a un centro de salud, si se requiere. 	Coordinador de Proyecto, Control de Obra, Residente Mecánico, Supervisor Mecánico.
Mecánico: Uso y manejo de herramientas menores y equipos	Golpes, machucones, cortadas, laceraciones.	<ul style="list-style-type: none"> * Personal competente para ejecutar la actividad * Inspeccionar diariamente las herramientas y equipos * Retirar del área herramientas hechas. * Uso de los elementos de protección personal. * Mantener manos fuera de la línea de peligro y puntos de pellizcos. * Utilizar la herramienta solo para lo que fue diseñada. * El tamaño y el peso de las herramientas deben estar acordes con las dimensiones y la capacidad física (fuerza) del trabajador. <p>Si se llegare a presentar un evento no deseado:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Valorar la condición física y psicológica de quien experimenta la condición lesiva. * Proporcionar primeros auxilios buscando no agravar la lesión si existe. * Asegurar el traslado del involucrado a un centro de salud, si la condición del afectado lo amerita. 	Coordinador de Proyecto, Control de Obra, Residente Mecánico, Supervisor Mecánico.

PELIGRO	RIESGOS	CONTROLES	RESPONSABLE
<p>Biológico: Presencia de animales e insectos venenosos y ponzoñosos.</p>	<p>Mordeduras o picaduras.</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Evite introducir las manos en madrigueras, cuevas, agujeros, etc. * Antes de ponerse los EPP, verifique que no haya animales o insectos alojados en ellos. * Tener cuidado y precaución al destapar equipos o tapas por posible presencia de animales. * Verifique el entorno de trabajo antes de iniciar labor, identifique presencia o ausencia de animales silvestres, remueva la maleza, entre otros, haga ruido para ahuyentar los animales. <p>Si se llegare a presentar un evento no deseado:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Si es mordido o picado, en lo posible tratar de identificar el tipo de animal, pero NO trate de atraparlo, ni succionar el veneno directamente con la boca, ni coloque hielo, ni haga cortes sobre el área de la mordedura o picadura. * Retirar objetos que puedan generar problemas de circulación en el torrente sanguíneo en caso de inflamación. * Evacuar al paciente al centro asistencial más cercano llevando dosis del suero polivalente disponible en el frente de trabajo. 	<p>Coordinador de Proyecto, Control de Obra, Residente Mecánico, Supervisor Mecánico.</p>
<p>Físico: Alta temperatura ambiental</p>	<p>Exposición prolongada a la radiación solar</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Dotación, portar en todo momento elementos de protección personal en buen estado, la camisa manga larga no debe estar recogida. * Aplicar bloqueador solar en áreas expuestas. * Suministro de agua potable permanente y suficiente. * Periodos de descanso en la jornada * Si las condiciones lo permiten instalar carpa o polisombra o sombrilla en la plataforma de trabajo para disminuir la incidencia solar. 	<p>Coordinador de Proyecto, Control de Obra, Residente Mecánico, Supervisor Mecánico.</p>
<p>Locativo: Orden y aseo</p>	<p>Sitios obstruidos, almacenamiento inadecuado de herramientas, materiales y equipos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Mantener el área de trabajo en condiciones adecuadas de orden y aseo. * Señalizar y demarcar senderos de movilización y evacuación. * Clasificar adecuadamente los residuos y disponerlos en los puntos ecológicos instalados para ese fin. 	<p>Coordinador de Proyecto, Control de Obra, Residente Mecánico, Supervisor Mecánico.</p>

PELIGRO	RIESGOS	CONTROLES	RESPONSABLE
Mecánico: Manejo manual de cargas	Síndromes dolorosos a nivel lumbar y dorsal, hernias discales, cefaleas.	<ul style="list-style-type: none"> * Antes de levantar una carga, es necesario planificar y preparar la tarea. Asegúrese de que: * Sabe hacia dónde va. * La zona en la que se mueve está libre de obstáculos. * Tiene un buen agarre de la carga. * Sus manos, la carga y las asas no están resbaladizas. * Si la carga se levanta con la colaboración de otra persona, ambos deben saber, antes de comenzar, lo que tienen que hacer. * Para levantar una carga se deben seguir los pasos que se describen a continuación: * Ponga los pies alrededor de la carga y el cuerpo sobre ella (si esto no es factible, acerque el cuerpo a la carga lo más posible). * Flexione las piernas al efectuar el levantamiento. * Mantenga la espalda derecha. * Acerque la carga al cuerpo todo lo que pueda. * Levante y transporte la carga con los brazos estirados y hacia abajo. <p>Si se llegare a presentar un evento no deseado:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Valorar la condición física y psicológica de quien experimenta la condición lesiva. * Proporcionar primeros auxilios buscando no agravar la lesión si existe. * Asegurar el traslado del afectado a un centro de salud, si su condición lo amerita. 	Coordinador de Proyecto, Control de Obra, Residente Mecánico, Supervisor Mecánico.
Químico: Inhalación de gases, vapores.	Efectos Neumonióticos, Irritación en el Tracto Respiratorio, Quemaduras, intoxicación, muerte	<ul style="list-style-type: none"> * Señalización del área de trabajo y restricción del acceso a ella a personal ajeno a la actividad. * Divulgación de la hoja de seguridad (MSDS) del producto y disponer de ella en campo. * Charla de seguridad enfatizando peligros y riesgos químicos en el perforado en caliente. * Manejo adecuado de los materiales utilizados y residuos generados (contaminados). Uso de EPE como mascarilla media cara con filtros anti vapores. <p>Si se llegare a presentar un evento no deseado:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Valorar la condición física y psicológica de quien experimenta la condición lesiva. * Proporcionar primeros auxilios buscando no agravar la lesión si existe. 	Coordinador de Proyecto, Residente Mecánico, Supervisor Mecánico.

PELIGRO	RIESGOS	CONTROLES	RESPONSABLE
		<ul style="list-style-type: none"> * Asegurar el traslado del afectado al centro de salud más cercano, si su condición lo amerita. 	
Físico: Ruido	<p>Desviación temporal del umbral auditivo, con dificultad para escuchar (hipoacusia) alteraciones del sueño, rendimiento y desazón, estrés, fatiga, ansiedad, cambios conductuales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Uso de protección auditiva obligatoria en los momentos en que el ruido lo exija. * Capacitar al personal sobre los efectos del ruido en la salud. * Mantenimiento preventivo e inspecciones preoperacionales de maquinarias, equipos y herramientas. <p>Si se llegare a presentar un evento no deseado:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Valorar la condición física y psicológica de quien experimenta la condición lesiva, y obrar de acuerdo a lo valorado. * Proporcionar primeros auxilios buscando no agravar la lesión si existe. * Asegurar el traslado del afectado al centro de salud más cercano, si su condición lo amerita. 	<p>Coordinador de Proyecto, Control de Obra, Residente Mecánico, Supervisor Mecánico.</p>
<p>Condiciones de Seguridad - Tecnológico: Trabajos sobre líneas presurizadas, prueba neumática (altas presiones, proyección de partículas).</p>	<p>Lesiones incapacitantes, quemaduras, fatalidades, Incendio y/o explosión</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Personal competente y certificado para desarrollar la actividad. * Inspección preoperacional de equipos y herramientas. * Monitoreo de atmósferas peligrosas con equipo calibrado. * Demarcar y señalizar área de trabajo. * Permitir el ingreso de solo personal autorizado. <p>En caso de presentarse un evento no deseado:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Activar plan de emergencias y MEDEVAC en caso de ser necesario. * Disponer de botiquín de primeros auxilios, números de contacto para emergencias. * Asegurar el traslado del afectado a un centro de salud. 	<p>Coordinador de Proyecto, Control de Obra, Residente Mecánico, Supervisor Mecánico.</p>

PELIGRO	RIESGOS	CONTROLES	RESPONSABLE
Locativo: Trabajos simultáneos con otros constructores	Daños a terceros, lesiones incapacitantes,	<ul style="list-style-type: none"> * Concertación con los terceros para el uso del sector en donde se realizan trabajos simultáneos. * Señalización y demarcación de áreas de trabajo. * Personal competente para desarrollar la labor. * Uso de prendas de vestir con cintas reflectivas y/o uso de chalecos reflectivos. <p>En caso de presentarse un evento no deseado:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Activar plan de emergencias y MEDEVAC en caso de ser necesario. * Disponer de botiquín de primeros auxilios, números de contacto para emergencias y Transporte Asistencial Medicalizado - TAM. * Asegurar el traslado del afectado a un centro de salud. 	Coordinador de Proyecto, Control de Obra, Residente Mecánico, Supervisor Mecánico.
Locativo: (terrenos resbalosos, inestables, desnivel)	Resbalones, caídas, lesiones osteomusculares, esguinces, fracturas, heridas, laceraciones, ruptura de tubería, accidentes de tránsito, fatalidades.	<ul style="list-style-type: none"> * Caminar con precaución y concentración durante los desplazamientos, no hablar por celular mientras se camina, no distraerse. * Realizar inspección diaria al sitio de trabajo para identificar riesgos y controlarlos a tiempo. * Señalización y demarcación de áreas de trabajo y senderos para el desplazamiento. <p>En caso de presentarse un evento no deseado:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Activar plan de emergencias y MEDEVAC en caso de ser necesario. * Disponer de botiquín de primeros auxilios, números de contacto para emergencias. * Asegurar el traslado del afectado a un centro de salud. 	Coordinador de Proyecto, Control de Obra, Residente Mecánico, Supervisor Mecánico.
Biológico: Exposición al Virus SARS-CoV-2 (COVID 19)	Contagio	<ul style="list-style-type: none"> * Toma de temperatura. * Reporte al inicio de toda jornada del estado de salud del trabajador utilizando la aplicación Auto reporte de síntomas de infección respiratoria aguda (IRA) – Cenit y ARL SURA. * Seguir los lineamientos establecidos en la resolución 0223 de 2021. * Uso correcto y permanente de tapabocas (Cubrir nariz y boca). * Lavado de manos cuando mucho cada tres horas. * Cumplir con distanciamiento físico. * Desinfección de herramientas, materiales y equipos al inicio y al final de la jornada laboral. 	Coordinador de Proyecto, Control de Obra, Residente Mecánico, Supervisor Mecánico.

PELIGRO	RIESGOS	CONTROLES	RESPONSABLE
		<p>En caso de ocurrir un evento no deseado:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Aislar al sospechoso de contagio. * Aislar a los que estuvieron en contacto cercano con el sospechoso. * Hacer seguimiento diario a los aislados. 	
Físico: Fenómenos naturales (lluvias fuertes, tormentas eléctricas).	Caídas, golpes, laceraciones, quemaduras, fatalidades	<ul style="list-style-type: none"> * Se debe verificar probabilidad de este fenómeno para decidir el inicio de la actividad. * Suspender las actividades y resguardarse en caso de tormentas eléctricas. Si se hace en carpas, éstas deben estar aterrizadas con varillas copperweld. * Resguardarse lo más lejos posible de una corriente de agua previendo una creciente súbita de ella. 	Coordinador de Proyecto, Residente Mecánico,
Físico: Fenómenos naturales (tormentas eléctricas secas).	Choques eléctricos, quemaduras, fatalidades, daños a equipos.	<ul style="list-style-type: none"> * Informar al personal que tomen acción cuando se escuchen truenos, observar rayos o se perciba cualquier otra señal de que se acerca una tormenta eléctrica para decidir el inicio de la actividad. * Suspender la actividad y dirigirse a un lugar seguro como área de apoyo con carpa aterrizadas con varillas copperweld. * No refugiarse debajo de vegetación arbustiva ni cerca de postes energizados. 	Coordinador de Proyecto, Residente Mecánico.
Tecnológico: (explosión, fuga, derrame, incendio).	Fatalidades, quemaduras, Contusiones, intoxicación por vía oral, nasal o táctil.	<ul style="list-style-type: none"> * Divulgación de plan de contingencia a todos los involucrados en la actividad. <p>En caso de presentarse un evento no deseado:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Suspender actividades. * Valorar las condiciones físicas y psicológicas del afectado. * Proporcionar primeros auxilios al afectado procurando no agravar cualquier lesión si existiere. * Asegurar el traslado a un centro médico del afectado 	Coordinador de Proyecto, Control de Obra, Residente Mecánico, Supervisor Mecánico.
Locativo: Orden público.	Robos, atracos secuestros, atentados terroristas, inconvenientes legales	<ul style="list-style-type: none"> * Divulgación de plan de contingencia a la comunidad, solicitud de permisos de ingreso a predios a los propietarios, supervisión y durante la socialización de los trabajos el acompañamiento de Gestión Social de la Concesión VINUS. * Avisos preventivos e informativos, coordinar con seguridad física el ingreso a puntos críticos, entrega del área por parte del ejército y cliente al coordinador de seguridad física, realizar actas de vecindad. 	Coordinador de Proyecto, Control de Obra, Residente Mecánico, Supervisor Mecánico.

PELIGRO	RIESGOS	CONTROLES	RESPONSABLE
		<p>* No ingresar a las áreas sin previo aviso, no alejarse del sitio del proyecto sin previo aviso y autorización de seguridad física.</p> <p>En caso de presentarse un evento no deseado:</p> <p>* Suspendar actividades y resguardarse en caso de atentado terrorista, activar plan de emergencias.</p>	
Mecánico: Izaje de Cargas	Caída de la carga, atrapamientos entre la carga y accesorios de izaje, golpes contra objetos móviles o fijos, muerte, daños a la propiedad,	<p>* Operador y aparejador certificados para izaje de cargas.</p> <p>* Uso de EPP de acuerdo con la tabla 3.</p> <p>* Divulgación de procedimiento.</p> <p>* Charla preoperacional, identificación de peligros y valoración de riesgos.</p> <p>* Plan de izaje y permiso de trabajo.</p> <p>* Señalización y demarcación del sitio de trabajo.</p> <p>* Tener en cuenta la presencia de líneas eléctricas cercanas.</p> <p>* Suspendar la actividad en presencia de vientos, lluvias fuertes o tormentas eléctricas.</p> <p>* Contar con tablas de cargas en los equipos.</p> <p>* No manipular la carga directamente mientras está suspendida.</p> <p>* Inspecciones preoperacionales, certificados vigentes de los elementos de Izaje.</p> <p>* Prohibido el tránsito bajo las cargas suspendidas en el proceso.</p> <p>* Uso permanente de vientos guía.</p> <p>En caso de presentarse un evento no deseado:</p> <p>* Suspendar actividades.</p> <p>* Valorar las condiciones físicas y psicológicas del afectado.</p> <p>* Proporcionar primeros auxilios al afectado procurando no agravar cualquier lesión si existiere.</p> <p>* Asegurar el traslado a un centro médico del afectado.</p> <p>* Valorar estado de la carga y/o el equipo de izaje y maniobrar de manera que no se incurra en daño adicional a esos elementos.</p>	Coordinador de Proyecto, Control de Obra, Residente Mecánico, Supervisor Mecánico.
Mecánico: Trabajo con Maquinaria	Atrapamientos, atropellamientos, daños a terceros e infraestructuras	<p>* Cumplir con la normatividad del cliente, procedimientos y legislación existente para trabajo con maquinarias.</p> <p>* Garantizar documentación en campo para verificación.</p> <p>* Personal calificado y competente para la actividad</p> <p>* Restricción de acceso a personal ajeno a la operación.</p>	Coordinador de Proyecto, Control de Obra, Residente Mecánico, Supervisor Mecánico.

PELIGRO	RIESGOS	CONTROLES	RESPONSABLE
		<ul style="list-style-type: none"> * Instalar avisos y señalización preventivos. * Supervisión permanente del área y revisión del terreno antes de realizar la actividad. Evitar el tránsito del personal en el área de influencia de la maquina * Disponibilidad de elementos de emergencia. * Preoperacionales de equipos. 	
<p>Condiciones de Seguridad. Mecánico: Trabajo en alturas</p>	<p>Caídas, Contusiones, Laceraciones, Fracturas, Fatalidades</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Personal entrenado y certificado para trabajo en alturas. * Capacitación en técnicas de rescate en altura. * Capacitaciones en manejo de EPP para trabajo en altura. * Para los constructores del andamio se exigen las certificaciones mencionadas en el contexto de este procedimiento. * Charla preoperacional con énfasis en identificación de peligros y valoración de riesgos de la actividad. UTRR-GHSEQ-FR-012 Personal Certificado Trabajo Alturas, UTRR-GHSEQ-FR-021 Autodiagnóstico Condiciones De Salud Para Tareas De Alto Riesgo. <p>En caso de presentarse un evento no deseado:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Suspender actividades. * Activar el plan de rescate en alturas si es requerido. * Valorar las condiciones físicas y psicológicas del afectado. * Prestar los primeros auxilios por persona capacitada procurando no agravar la condición lesiva si existiese. * Asegurar el traslado del afectado al centro de salud más próximo si su condición lo requiere. 	<p>Coordinador de Proyecto, Control de Obra,</p> <p>Residente Mecánico, Supervisor Mecánico.</p>
<p>Trabajo con máquina de perforado en caliente</p>	<p>Golpes, machucones, cortadas, laceraciones, atrapamientos</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Personal competente * Inspección preoperacional del equipo. * Uso de los elementos de protección personal. * Mantener manos fuera de la línea de peligro. <p>Si se llegare a presentar un evento no deseado:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Valorar la condición física y psicológica de quien experimenta la condición lesiva. * Proporcionar primeros auxilios buscando no agravar la lesión si existe. * Asegurar el traslado del involucrado a un centro de salud, si la condición del afectado lo amerita. 	<p>Coordinador de Proyecto, Residente Mecánico, Supervisor Mecánico.</p>

ANEXOS

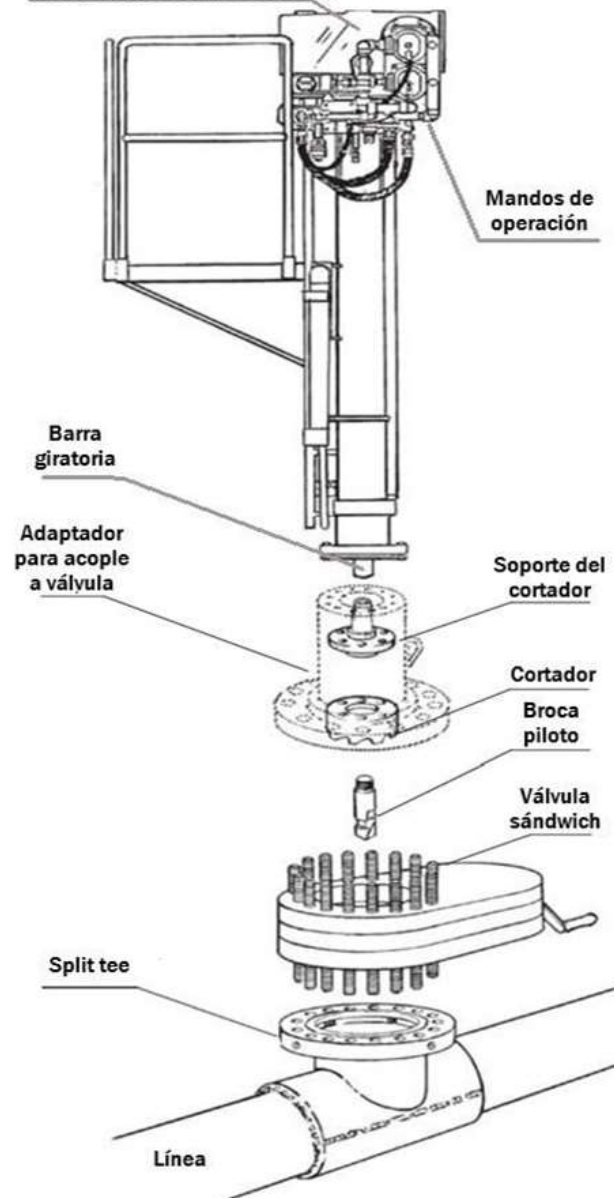
Anexo A. Esquema de perforación en caliente – equipo TDW 760.

Anexo B. Esquema de una perforación en caliente – equipo TDW 101.

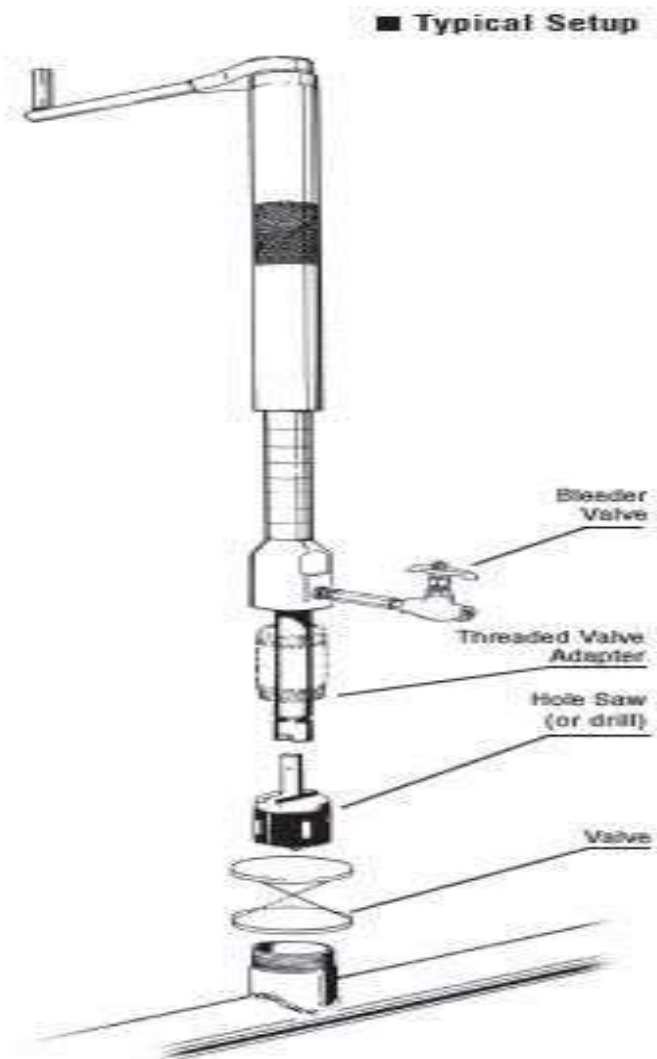
Anexo C. Registro de divulgaciones del procedimiento para ejecución de Hot Tap – Versión 2.

Anexo A. Esquema de una perforación en caliente – equipo TDW 760.

MÁQUINA PARA HOT TAP



Anexo B. Esquema de una perforación en caliente – equipo TDW 101



Anexo B. Formato de Inspección Áreas de Trabajo

FORMATO DE INSPECCIÓN ÁREAS DE TRABAJO					
Fecha de realización de la inspección					
Lugar de la inspección:					
Área de trabajo a inspeccionar:					
* SI: CUMPLE TOTALMENTE		NO: NO CUMPLE		PARCIAL: CUMPLE EN PARTE (Especifique en observaciones cuales no cumplen)	
SITUACIÓN O CONDICIÓN A INSPECCIONAR	* CUMPLIMIENTO (marcar con una X)				OBSERVACIONES
	SI	NO	PARCIAL	N/A	
GENERAL: PASILLOS, ESCALERAS Y ÁREA COMUNES					
CONDICIONES DE ORDEN Y ASEO					
Se observa organización y aseo en los pasillos, escaleras o áreas comunes (cada cosa en su lugar)?					
Se observa organización y aseo en los baños?					
Se observa limpieza de equipos/implementos?					
CONDICIONES LOCATIVAS					
Se observa buenas condiciones del piso (pisos dañados, rotos, huecos u orificios sin tapar, grietas)?					
Se observa en buenas condiciones los pasamanos y accesos a las escaleras.?					
Las vías de acceso se encuentran bien iluminadas y señalizadas (escaleras, pasillos)?					
Se observan pasillos libres de obstáculos?					
Techos Presentan Humedad, Deterioro, Grietas?					
OFICINAS Y/O BODEGAS					
CONDICIONES DE CARGA FÍSICA					
La posición del monitor es adecuada en las áreas inspeccionadas?					
La altura del monitor es igual a la de los ojos?					
La altura del asiento permite posición de los codos a 90° sobre la mesa o escritorio?					
Se producen deslumbramientos directos o reflejos producidos por la luz solar o por fuentes artificiales?					
La distribución de los puestos de trabajo es adecuada?					
Se observa postura adecuada al momento de la inspección?					
Se ejecuta de forma correcta la manipulación de cargas y movimientos que exijan una postura adecuada?					
CONDICIONES LOCATIVAS					
Se cuenta con sistema de calefacción, aire acondicionado?					
El sistema de calefacción, aire acondicionado se encuentra en buen estado de funcionamiento?					
CONDICIONES ORDEN Y ASEO					
Los planos de trabajo se encuentran con los elementos necesarios?					
Se cuenta con espacio suficiente sobre y bajo el plano de trabajo permitiendo comodidad?					
CONDICIONES FÍSICAS					
Existe buena iluminación natural / artificial?					
Existe buena ventilación / aireación?					
Existe confort auditivo?					
Existe confort térmico?					
CONDICIONES ELÉCTRICAS					
Existen conexiones sobrecargadas (tomas sobrecargadas)?					
Los cables están en buen estado y no sueltos por el piso?					
Las tomas e interruptores están en buen estado?					
Existe línea o polo a tierra?					
Los tableros eléctricos se encuentran señalizados y los breaker se encuentran marcados o indicados a que área pertenecen?					
ALMACENAMIENTO DE MATERIALES					
Las estanterías son adecuadas para el almacenamiento de materiales?					
Las estanterías se encuentran fijas (ancladas) al piso, techo o pared?					
Se observa adecuado almacenamiento de implementos, herramientas, equipos, sustancias?					
Se observa adecuada manipulación de implementos, herramientas, equipos, sustancias?					
Se observa buen estado de los implementos, herramientas, equipos, sustancias peligrosas, entre otras?					
PRODUCTOS QUÍMICOS Y SUSTANCIAS PELIGROSAS					
El sitio de almacenamiento de productos químicos o sustancias peligrosas, cuentan con la información necesaria?					
Los productos químicos llevan una marca que permite su identificación y en casos de ser necesario?					
Se cuenta con la hoja de datos de seguridad del producto químico y sustancias peligrosas?					
Las hojas de datos de seguridad de los productos químicos o sustancias peligrosas se encuentran disponibles?					
El personal recibió capacitación en manejo de sustancias químicas?					
SANEAMIENTO BÁSICO					
Se hace manejo y control de plagas (ratones, cucarachas, mosquitos)?					
Se cuenta con buen suministro de energía?					
Se cuenta con buen suministro de agua?					
Se encuentran en buen estado las llaves, baños o demás elementos dispensadores de agua?					
Se cuenta con lockers suficientes para el personal?					
Las zonas dispuestas para los lockers se encuentran en buenas condiciones de aseo e higiene?					
EQUIPOS PARA ATENCIÓN DE EMERGENCIAS					
EXTINTORES					
Se cuenta con extintor(es) en el área revisada?					
Esta(n) ubicado(s) de forma visible y accesible?					
Cuenta(n) con recarga vigente? (Especifique fecha de recarga y fecha vencimiento)					
El área donde se encuentra el (los) extintor(es) esta despejada?					
La altura máxima desde el piso hasta la parte superior del extintor no es mayor a 1.50 metros?					
BOTIQUÍN					
El botiquín está ubicado de forma visible y accesible?					
El botiquín está señalizado?					
Se realiza seguimiento a los elementos del botiquín (Fecha de la última revisión) y control de los elementos?					
El botiquín cuenta con los elementos necesarios (NO incluye medicamentos)?					

FORMATO DE INSPECCIÓN ÁREAS DE TRABAJO					
Fecha de realización de la inspección					
Lugar de la inspección:					
Área de trabajo a inspeccionar:					
* SI: CUMPLE TOTALMENTE		NO: NO CUMPLE		PARCIAL: CUMPLE EN PARTE (Especifique en observaciones cuales no cumplen)	
SITUACIÓN O CONDICIÓN A INSPECCIONAR	* CUMPLIMIENTO (marcar con una X)				OBSERVACIONES
	SI	NO	PARCIAL	N/A	
CAMILLAS					
CONDICIÓN A INSPECCIONAR	* CUMPLIMIENTO (marcar con una X)				OBSERVACIONES
	SI	NO	PARCIAL	N/A	
Se tiene una camilla adecuada para asistir en caso de emergencias?					
La camilla se encuentra ubicada en un sitio apropiado y accesible para uso en caso de emergencias?					
PLAN DE EMERGENCIAS					
Se encuentra señalización de zonas de advertencia (paso restringido, peligros eléctricos)?					
Se encuentra la señalización limpia y en buen estado?					
Se tiene conformada y capacitada la brigada de emergencias?					
Se cuenta con plan de emergencias y es conocido por los trabajadores?					
Se cuenta con un directorio de emergencias actualizado y ubicado en un lugar visible o próximo a los teléfonos?					
ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL					
En el caso, de manejar productos químicos, el personal que lo manipula cuenta con los					
De acuerdo a las labores, el personal utiliza de forma adecuada los EPP asignados para esa					
El personal conoce como hacer el mantenimiento de los EPP?					
ENTORNO AMBIENTAL					
Se cuenta con bombillos ahorradores en las diferentes áreas de trabajo?					
Se observa en los puntos de suministro de agua (cisternas y llaves) uso o dispositivos de bajo					
Uso de recipientes debidamente señalizados para el desecho de residuos, según aplique					
Se realiza mantenimiento a las redes y puntos de suministro de agua potable?					
Se realiza mantenimiento al sistema de aire acondicionado?					
Se hace separación de residuos de acuerdo a sus características orgánicos, papel,					
Se tiene algún tipo de letrero o publicidad que promueva el ahorro y uso eficiente de agua, energía y papel?					
CONDICIONES VEHÍCULOS					
Existe una adecuada demarcación del área de parqueo de los vehículos?					
Los vehículos se encuentran en buenas condiciones de orden y aseo (limpias)?					
Los vehículos cuentan con su respectivo botiquín y extintor para emergencias?					
Los vehículos cuentan con la respectiva revisión técnica mecánica vigente?					
Se realiza mantenimiento preventivo a los vehículos?					
Si considera otras condiciones a inspeccionar regístre las a continuación					
Existe Afectación en la productividad					
NOMBRE:				FIRMA:	
CARGO:				FIRMA:	
NOMBRE:				FIRMA:	
CARGO:				FIRMA:	
NOMBRE:				FIRMA:	
CARGO:				FIRMA:	