

INGENIERÍA DE DETALLE PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA PARA LA
EMPRESA MONTAJES TÉCNICOS ZAMBRANO CAMPO DE CRUDO ECP
GERENCIA CHICHIMENE

ÁLVARO DAVID VERGARA POLO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2022

INGENIERÍA DE DETALLE PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA PARA LA
EMPRESA MONTAJES TÉCNICOS ZAMBRANO CAMPO DE CRUDO ECP
GERENCIA CHICHIMENE

ÁLVARO DAVID VERGARA POLO

Monografía de grado para optar al título de Especialista en Gerencia de
Mantenimiento

Director

Andrés Felipe Ramirez Cruz

Especialista en Gerencia de Mantimento

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2022

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por enseñarme el camino adecuado, dándome su apoyo incondicional en todo momento, para lograr mis objetivos planteados y revalidando cada día, en oportunidades, para optar al título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento.

A mis viejos por darme las herramientas necesarias, a la familia Sierra Medina por su formación en las etapas de mi niñez, por todos los valores inculcados. Por ser los guías dentro de mi proceso de formación humana y profesional.

A mi hermosa familia, mi compañera de lucha Edna Mayerli Parra, a mis Hijas K. Sofía, Sara Isabella y María Alejandra, por darme la fuerza para luchar y enseñarme a ser un luchar por lo que quiero, llevándome a ser un ser humano integral y competitivo al desarrollar un perfil profesional ético.

Al grupo de trabajo de Montajes Técnicos Zambrano, por el apoyo incondicional en la elaboración de este trabajo. Por los aportes en la metodología del diseño de la metodología PHD, fueron de gran ayuda en todo el proceso.

A el ingeniero Heriberto Mier, por compartir su conocimiento y experiencia con respecto a la PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. CONTEXTUALIZACIÓN	15
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
2. OBJETIVOS.....	17
2.1 OBJETIVO GENERAL	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3. JUSTIFICACIÓN.....	18
4. LITERATURA COMPILADA.....	21
4.1 MARCO TEÓRICO	21
4.2 MARCO CONCEPTUAL	27
4.2.1 INSPECCIÓN BASADA EN RIESGO (RBI).....	29
4.3 ETAPAS DE LA PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA	30
4.3.1 Esquema de Perforación PHD – PERFORACIÓN PILOTO:.....	31
4.3.2 PHD ENSANCHAMIENTO:.....	31
4.3.3. PHD – HALADO DE TUBERÍA – PULLBACK:.....	32
4.3.4 PHD – RETIRO DE EQUIPOS DE PERFORACIÓN:	33
5. DESARROLLO DEL PLAN DE TRABAJO.....	34
5.1 PROCEDIMIENTO DE EJECUCIÓN	35
5.1.1. TOMOGRAFÍA.....	35
5.1.2. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	38
5.1.3. ENTREGA Y ASEGURAMIENTO DE LOCACIONES O PREDIOS.....	41

5.2 PARÁMETROS PARA LA PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA.....	42
5.2.1 CRITERIOS DE DISEÑO.....	43
5.2.2 CÁLCULO DEL RADIO MÍNIMO	44
5.2.3 CHEQUEO ESFUERZO A TENSIÓN DE LA TUBERÍA	46
5.2.4 CHEQUEO POR ESFUERZO A FLEXIÓN (FB):	47
5.2.5 CHEQUEO ESFUERZO CIRCULAR POR PRESIÓN EXTERNA	49
5.3 ANÁLISIS DE COSTOS Y SOCIO AMBIENTAL.....	56
6. CONCLUSIONES	64
BIBLIOGRAFÍA.....	65
ANEXOS.....	67

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema de Ubicación Campo Chichimene.....	22
Figura 2. Esquema Campo GCH	23
Figura 3. Infraestructura de Activos Estáticos.....	24
Figura 4. Esquema Campo Chichimene GCH	25
Figura 5. Esquema General Sistema de Recolección GCH.....	25
Figura 6. Procedimiento para aplicar RBI	30
Figura 7. Esquema de perforación PHD - Perforación Piloto.....	31
Figura 8. Esquema de Perforación PHD - Ensanchamiento	32
Figura 9. Esquema de Perforación PHD - Halado de Tubería	33
Figura 10. Diagrama de la Perforación Horizontal Dirigida	35
Figura 11. Esquema de Adquisición de Datos Tomografía Geoeléctrica	36
Figura 12. Información Resultante de la Tomografía	37
Figura 13. Apiques PHD 2021	38
Figura 14. Levantamiento Topográfico PHD 2021.....	38
Figura 15. Panorámica Corredor-Clúster 7 y Clúster 11. Zonificación Ambiental Aprobada (Zonas de exclusión) - Plan de Manejo Integral Bloque Cubarral.	39
Figura 16. Puntos de entrada y salida PHD - Clúster 7 y Clúster 11.	40
Figura 17. Formato de Entrega de Predios PHD - Clúster 7 y Clúster 11	42
Figura 18. Paso a Paso PHD.....	52
Figura 19. Levantamiento de Plano de Construcción	53
Figura 20. Plano Vista Superficial.....	53
Figura 21. Levantamiento e Identificación de Tubería Enterrados.....	54
Figura 22. Corrida en Atlas Bore Planner	55
Figura 23. Perforación Horizontal Dirigida Halado de Tubería.....	57
Figura 24. Fundamentales Perforación Horizontal Dirigida.....	58

Figura 25. Costo Total Perforación Horizontal Dirigida	58
Figura 26. Técnica a Cielo Abierot - Zanja.....	59
Figura 27. Costo Total - Zanja	59
Figura 28. Comparativa de Escenarios.....	60
Figura 29. Ítems Contractuales PHD	62
Figura 30. Ítems Contractuales Zanja.....	63

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Calculo de Radio Mínimo	44
Ecuación 2. Esfuerzo Máximo.....	46
Ecuación 3. Esfuerzo a Flexión Máximo	47
Ecuación 4. Esfuerzo Circular por Presión Externa	49
Ecuación 5. Esfuerzos Combinados	51

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Propiedades del crudo campo GCH.....	23
Tabla 2. Espesores Recomendados para PHD	43
Tabla 3. Propiedades Mecánicas y Geométricas de la Tubería Según Ecopetrol .	44
Tabla 4. Propiedades de la Tubería.....	45
Tabla 5. Peso Lingada	46
Tabla 6. Esfuerzos de Tensión	46
Tabla 7. Esfuerzo a Flexión Máximo	47
Tabla 8. Esfuerzo Circular por Presión Externa de la Tubería	49
Tabla 9. Chequeo Radios de Curvatura.....	55

LISTA DE ANEXOS

pág.

Anexo A. Personal Requerido Para la Adecuación de Plataformas (PHD).....	67
Anexo B. Personal Requerido API – Construcción Lingada y Facilidades (PHD)...	67
Anexo C. Personal Requerido Perforación Horizontal Dirigida	67
Anexo D. Personal Requerido Cierre Final de Mantenimiento (PHD).....	68
Anexo E. Maquinaria y Equipos PHD	68
Anexo F. Personal Requerido Para la Adecuación de Plataformas (ZANJA)	69
Anexo G. Personal Requerido API. Construcción Lingada y Facilidades (ZANJA)	69
Anexo H. Personal Requerido Adecuación Zanjas Para Instalar Tubería.....	69
Anexo I. Personal Requerido Cierre Final de Mantenimiento (ZANJA).....	70
Anexo J. Maquinaria y Equipos ZANJA	70

RESUMEN

TÍTULO: INGENIERÍA DE DETALLE PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA PARA LA EMPRESA MONTAJES TÉCNICOS ZAMBRANO CAMPO DE CRUDO ECP GERENCIA CHICHIMENE*

AUTOR: ÁLVARO DAVID VERGARA POLO**

PALABRAS CLAVE: MANTENIMIENTO, PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA, INGENIERÍA DE DETALLE, DISEÑO, RBI.

DESCRIPCIÓN: El presente estudio, valida la implementación y el desarrollo de la ingeniería de detalle, para la Perforación Horizontal Dirigida (PHD). Por esto se definió según el procedimiento para la empresa Montajes Técnicos Zambrano, los lineamientos que permitan el diseño según cálculos asociados a la geometría de facilidades para la instalación de tubería subterránea aplicando el aseguramiento técnico y el desarrollo constructivo, cumplimiento a cabalidad las condiciones de diseño del campo de crudo de ECP-Gerencia Chichimene.

Como resultado principal es la implementación de las etapas de construcción en la planificación y control de la ejecución en cada una de las fases constructivas de la PHD.

*Monografía de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización Gerencia de Mantenimiento.
Director: Andrés Felipe Ramírez Cruz. Especialista en Gerencia de Mantenimiento

ABSTRACT

TITLE: DETAILED ENGINEERING FOR HORIZONTAL DIRECTIONAL DRILLING FOR THE COMPANY MONTAJES TÉCNICOS ZAMBRANO CRUDE OIL FIELD ECP CHICHIMENE MANAGEMENT*

AUTHOR: ÁLVARO DAVID VERGARA POLO**

KEY WORDS: MAINTENANCE, HORIZONTAL DIRECTIONAL DRILLING, DETAILED ENGINEERING, DESIGN, RBI.

DESCRIPTION: This study validates the implementation and development of detailed engineering for Horizontal Directional Drilling (PHD). For this reason, according to the procedure for the company Montajes Técnicos Zambrano, the guidelines that allow the design according to calculations associated with the geometry of facilities for the installation of underground pipes were defined, applying technical assurance and construction development, fully complying with the design conditions. of the oil field of ECP-Chichimene Management. The main result is the implementation of the construction stages in the planning and control of the execution in each of the construction phases of the PHD.

*Degree work

**Faculty of Physical-Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization
Director: Andrés Felipe Ramírez Cruz. Maintenance Management Specialist

INTRODUCCIÓN

La ingeniería de detalle es la puerta principal para el control de obra, de ella depende la implementación de los objetivos que se quieran plasmar en la ejecución de la PHD, la cual se cimienta en los diseños tradicionales, que permitan evaluar la viabilidad de la perforación, validando las etapas de construcción, en el tiempo de ejecución dentro del costo estimado, para la reposición de las líneas de crudo, agua nafta o diluyente entre clúster, pozos y estación de recibo, del campo de crudo pesado de ECP-GCH.

En la actualidad la gerencia Chichimene representa uno de los activos más promisorios en cuanto a la producción de crudos pesados en el país bajo la implementación de la tecnología de recobro implementada. En virtud de lo anterior, el campo Chichimene requiere la implementación, de técnicas modernas, que se puedan usar en el mantenimiento de cambios de tuberías, en zonas y alrededor de afluentes de agua, caños, morichales y ríos.

Para la realización de la presente monografía, se tuvo como propósito establecer las condiciones de diseño técnico de la perforación horizontal dirigida las cuales buscan reducir costos y el impacto ambiental y/o estructural. Con las cuales se busca la implementación de una herramienta que brinde una trazabilidad, con el propósito a la ingeniería de detalle de la Perforación Horizontal Dirigida.

La ingeniería de detalle de la perforación horizontal dirigida se hace necesaria y de gran valor para la empresa Montajes Técnicos Zambrano en la constante búsqueda del mejoramiento continuo y las exigencias del día a día de los contratos. Se buscan técnicas modernas de mantenimiento, implementando herramientas y actividades complementarias para la ejecución, esto con la intención de reducir los incidentes que puedan surgir al momento de las

actividades, que, por desconocimiento de la presencia de elementos en el eje trazado para las líneas a construir, puedan desembocar en el daño de estructura mecánicas, civiles, eléctricas y/o de instrumentación.

1. CONTEXTUALIZACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El constante y dinámico crecimiento de la industria de petróleo y gas en Colombia, ha generado que técnicas como la perforación horizontal dirigida hayan tenido una gran acogida y sean de gran ayuda para muchas empresas. Esta tecnología permite instalar tubería mediante un procedimiento constructivo sin la apertura de zanja. Lo cual hoy en día es de gran ayuda para el medio ambiente. Es por eso, que la ingeniería de detalle de la misma debe ser analizada, verificada y guiada de cerca.

Debido a que, si en alguna de las etapas que contempla la ingeniería de detalle, se presenta un retraso. Esta se vería reflejada en un mayor número de costos para la Empresa Montajes Técnicos Zambrano & V. Las actividades previas a la perforación, son de gran importancia, ya que, conociendo el terreno, ph y otras variables arrojadas en los estudios geotécnicos, se puede manejar un estimado para la perforación y poder generar una ruta crítica.

Para reparar los sistemas de transporte de fluidos, los sistemas de distribución de la nafta de la GCH en gran proporción contienen agua, razón por la que se presenta una probabilidad alta de corrosión por El dióxido de carbono (CO₂); adicionalmente, la presencia del ácido sulfhídrico (H₂S) el cual mayor parte puede influir directamente en el citado mecanismo de corrosión.

Como ya ha sido reportado en las fallas presentadas en tramos de cruces de caños o zonas donde se concentra la condición de hídricas, que impulsan los parámetros hidrodinámicos, que deben ser también tomados en cuenta, ya que en

algunos casos pueden desempeñar un rol fundamental en los procesos corrosivos, especialmente cuando tiene lugar el fenómeno de corrosión bajo depósito.

La perforación horizontal dirigida, se hace necesaria por la complejidad del campo de crudo Chichimene ECP, el cual se encuentra en una zona de lluvias constantes durante 85% del calendario anual, ríos y arroyos, con parámetros morfo métricos de las cuencas y subcuentas en la zona de Acacias, Guamal y Castilla la Nueva, en el departamento del Meta, lo cual requiere hacer los estudios preliminares del sitio, en consideraciones de calidad ambiental y eficiencia en el entorno que permitan garantizar un ecosistema amigable para el desarrollo de las actividades de transporte de crudo entre las locaciones, múltiples y Estación Chichimene.

En la actualidad la empresa Montajes Técnicos Zambrano no cuenta con un desarrollo en detalle de la ingeniería al momento del uso de PHD, ya que se basa en los instructivos de un contratista aliado que brinda el servicio de apoyo en la ejecución de los Ítems contractuales de los servicios de mantenimiento de ECP.

Se cuenta con la trazabilidad al momento de ejecutar mantenimientos preventivos o correctivos en el cambio de líneas flujo de campo GCH, pero no se tiene un histórico de las ejecuciones de PHD homogéneo y acertado en los tiempos de ejecución. Lo que conlleva a un alto riesgo a la hora de realizar un trabajo en un campo tan grande y complejo como es la GCH. Debido a que, si el cálculo fallara en detalle durante su operación, los costos serían de gran magnitud para la empresa y los daños ambientales que también se podrían generar en las áreas.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Establecer las condiciones de diseñado técnico específico para analizar la PHD del CLUSTER 7 al CLUSTER 11, Caño La Lejía, REPOSICIÓN DE LÍNEAS DE INYECCIÓN DE DILUYENTE y CRUDO, para reducir el riesgo proporcionado por condición (RBI) del Clúster 6 al Clúster 29 para garantizar el cumplimiento y la viabilidad ambiental en protección de los afluentes hídricos del campo GCH.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir los procedimientos de construcción de la perforación horizontal dirigida según las condiciones de las líneas inspeccionadas bajo riesgo, mediante criterios de geotecnia del área.
- Establecer los parámetros, durante el proceso de cruces con sistema de perforación horizontal dirigida comprendiendo el riesgo asociado proporcionado por inspección (RBI) para las obras de construcción de líneas de diluyente de 6" y Crudo 16"-SW.
- Comparar los escenarios contractuales entre la perforación horizontal dirigida (PHD) y el método tradicional de zanja para el mantenimiento de líneas y/o troncales a reemplazar por condición de integridad (RBI), mediante un análisis de costos y el impacto socio ambiental en la región del campo de crudo de la GCH-ECP.

3. JUSTIFICACIÓN

La necesidad en el campo de petróleo de Ecopetrol en la gerencia Chichimene (GCH), se requiere un plan de mantenimiento eficiente y oportuno para validar la integridad y el cambio de tubería según diámetro efectivamente, debido a la agresividad corrosiva del crudo, en las áreas aledañas a esta gerencia y al impacto del oro negro producido en esta región, se requiere renovar constantemente los tramos de tubería en diámetros de 4", 6", 8", 16" y 20", para reparar los sistemas de transporte de fluidos, los sistemas de distribución de la nafta de la GCH en gran proporción contienen agua, razón por la que se presenta una probabilidad alta de corrosión por el dióxido de carbono (CO₂); adicionalmente, la presencia del ácido sulfhídrico (H₂S) el cual mayor parte puede influir directamente en el citado mecanismo de corrosión, como ya ha sido reportado en las fallas presentadas en tramos de cruces de caños o zonas donde se concentra la condición de hídricas, que impulsa los parámetros hidrodinámicos, que deben ser también tomados en cuenta, ya que en algunos casos pueden desempeñar un rol fundamental en los procesos corrosivos, especialmente cuando tiene lugar el fenómeno de corrosión bajo depósito.

En este sentido, resulta importante considerar todas las fases presentes en el sistema "Nafta y agua", así como las características geométricas y dimensionales de las líneas que transportan hidrocarburos con diluyentes, ya que se pueden generar patrones y velocidades de flujo que podrían ocasionar esfuerzos sobre las capas de protección, condicionando el proceso de corrosión sobre el material de los ductos, que se denominaría RBI. demanda de las conexiones de pozos, Clúster y estación, denomina como la INFRAESTRUCTURA DE ACTIVOS ESTÁTICOS-GERENCIA DE OPERACIONES DE DESARROLLO Y PRODUCCIÓN CHICHIMENE, que se encuentran en áreas rodeadas de sistemas

hídricos, fincas ganaderas o de cultivos agrícolas, particularmente palmas africanas.

Se hace necesario realizar los trabajos de reposición sin las tecnologías convencionales de zanjas para el cambio de líneas o tuberías, evitando diferidas o paradas de líneas de producción, se interviene con PHD para seccionar los tramos y remplazar la tubería que se encuentra al límite por integridad o RBI, esto nos permite brindar confiabilidad con un mantenimiento preventivo oportuno y reducir los impactos ambientales y socioeconómicos que permitan un entorno amigable y viable a la sociedad y a la naturaleza.

La perforación horizontal dirigida PHD/DDH, se hace necesaria por la complejidad del campo de crudo Chichimene ECP, el cual se encuentra en una zona de lluvias constantes durante 85% del calendario anual, ríos y arroyos, con parámetros morfo métricos de las cuencas y subcuentas en la zona de Acacias, Guamal y Castilla la Nueva, en el departamento del Meta, lo cual requiere hacer los estudios preliminares del sitio, en consideraciones de calidad ambiental y eficiencia en el entorno que permitan garantizar un ecosistema amigable para el desarrollo de las actividades de transporte de crudo entre las locaciones, múltiples y Estación Chichimene, por medio de tubería API 5L GR 42/65/45 la tubería recomendada por el cliente correspondiente a tubería en acero al carbono NPS 12 en material API 5L X 42.

Las actividades antrópicas que son incursionada en las zonas constantemente en invasión progresiva, lo cual van acabando progresivamente con los bosques, riachuelos, chucuas o espejos de aguas en zonas de humedales o morichales que se encontraban en la zona, por estas diferentes actividades culturales (Ganadería y agricultura), socioeconómicas (Petróleo- poblaciones-fincas de palma), lo cual ha

causado un efecto irreversible en los cuerpos hídricos de los municipios de influencia.

4. LITERATURA COMPILADA

4.1 MARCO TEÓRICO

El campo fue descubierto por Chevron en 1969, en el marco del contrato de concesión Cubarral. En 1985 inició producción con 6.300 barriles promedio mensual y el 31 de enero de 2000 pasó a manos de Ecopetrol, donde comenzó a registrar un significativo crecimiento al pasar de 7 mil barriles en el año 2000 a 29.380 barriles en el 2010.

Está ubicado entre las siguientes coordenadas:(1.043.000 E, 926.000 N) y (1.045.500 E, 929.000 N), con una extensión superficial de 750 hectáreas y con un área del yacimiento de 374 hectáreas. Esta localizado a 12 km al S.E del municipio de Acacias en el departamento del Meta. Chichimene se ubica en una zona cercana al campo Castilla en el departamento del Meta. Entre los dos constituyen el mayor complejo petrolero del país, operado de manera directa por Ecopetrol con más de 200 mil barriles por día, lo que fortalece la posición de la Empresa en la principal región productora de crudo del país. (Revista Semana, 2015)

Figura 1. Esquema de Ubicación Campo Chichimene



Fuente: Ecopetrol

Figura 2. Esquema Campo GCH



Fuente: Ecopetrol

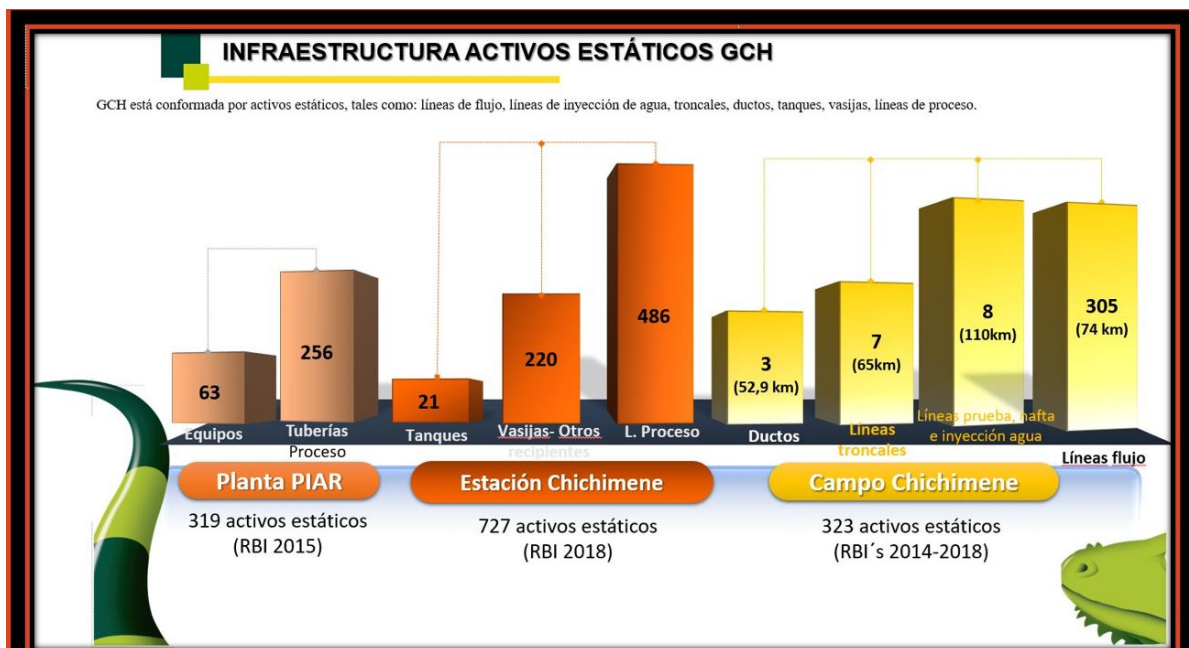
Tabla 1. Propiedades del crudo campo GCH.

PROPIEDADES DE FLUIDOS
El campo chichimene produce un crudo de las siguientes características
Crudo de Guadalupe k1 y k2:
20° API.
Viscosidad entre 200 y 300 cp.
BSW 90% a 95%.
Gor despreciable.
Crudo san Fernando T2:
8° API.
Viscosidad entre 2000 cp.
BSW < 10%.

Gor entre 100 PCS/BFP y 500 PCS/BFP.

Fuente: Ecopetrol

Figura 3. Infraestructura de Activos Estáticos



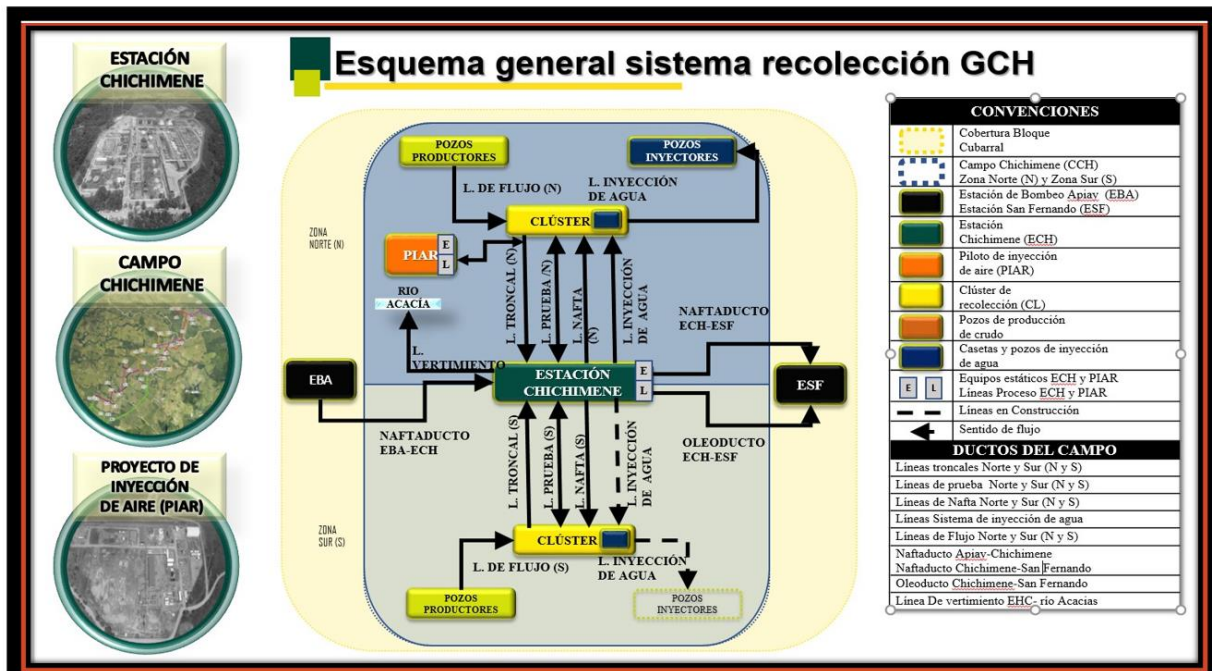
Fuente: Tecna I.C.E.

Figura 4. Esquema Campo Chichimene GCH



Fuente: Tecna I.C.E

Figura 5. Esquema General Sistema de Recolección GCH



Fuente: Tecna I.C.E

(PHD): Es un método que utiliza tecnología de punta para realizar cruces subterráneos y salvar obstáculos artificiales o naturales que por una u otra razón se presentan en la ruta de cualquier ductería o canalización. Este método tiene entre otras muchas cosas, la ventaja de conocer la ubicación exacta de la broca a medida que el taladro avanza, y lo más importante, nos brinda la posibilidad de hacer correcciones de dirección y profundidad con el que se da a la perforación, la ruta deseada para pasar el obstáculo llegando al punto definido inicialmente con un alto grado de confiabilidad minimizando los daños de redes existentes, siempre y cuando estas estén bien referenciadas y plenamente identificadas.

Para llevar a cabo la perforación es necesario contar con los diseños y planos del trazado inicial para así poder definir e identificar las posibles variantes o elementos a proteger de daños con la perforación. Para esta obra se debe instalarán tuberías API 5L de diámetros 20", 16".8", 6" 4" y 8" todas SCH-STD-SCH 80, cumpliendo con las especificaciones de control calidad requeridas para tal fin y las especificaciones técnicas del cliente y los estudios de flexibilidad aplicados.

La inmensa tarea de mantener y expandir la infraestructura de servicios públicos en todo el mundo es un desafío. Los métodos tradicionales de reemplazo y reparación giraban principalmente en torno a la construcción de zanjas abiertas. Estos métodos tradicionales a menudo resultan ser costosos y problemáticos, especialmente con la infraestructura congestionada y enterrada de hoy en día. El alto costo de la construcción de zócalos abiertos a menudo se ve impulsado por la restauración necesaria de carreteras, aceras, entradas de vehículos y paisajismo. Otros problemas a menudo se derivan de la interrupción del tráfico y el peligro para los trabajadores en áreas de alto tráfico. Para superar los inconvenientes de la construcción de zanjas abiertas, las industrias del gobierno, los servicios

públicos y la construcción comenzaron a buscar métodos más amigables con el medio ambiente para reemplazar y reparar la infraestructura subterránea. Uno de los métodos de construcción alternativos, y quizás la tecnología de más rápido crecimiento en la industria sin zanjas, es la perforación direccional horizontal (HDD). HDD ha experimentado un rápido crecimiento en la industria de la construcción durante las últimas décadas, esta tecnología nos permite significativa mejoría con respecto a las excavaciones a cielo abierto, debido al impacto positivo que presenta, al poder desviar ríos, arroyos o áreas, que justifican la construcción especializada. Para utilizar de manera eficiente y adecuada los muchos beneficios que ofrece la construcción de HDD, los ingenieros o técnicos de diseño deben tener un conocimiento práctico del proceso de HDD. Al igual que ocurre con cualquier procedimiento constructivo, la PHD tiene sus etapas de planificación, ejecución y control (Pellicer et al., 2014.)

Otro factor en la creciente popularidad de HDD para aplicaciones municipales es la aceptación de la tubería de HDPE para proyectos de agua y alcantarillado. Durante las décadas de 1970 y 1980, las empresas de servicios de gas municipales impulsaron la demanda de tuberías de HDPE. Si bien la tubería HDPE ha estado en uso desde principios de la década de 1950, fue solo durante los últimos años que las industrias de agua potable y alcantarillado se sintieron atraídas por los beneficios para sus aplicaciones. En 1978, la American Water Works Association (AWWA) aprobó.

4.2 MARCO CONCEPTUAL

El desarrollo de las tecnologías y el avance del mundo con el apoyo de sistemas numéricos guiados por software que permiten llevar la trazabilidad como guía para la ejecución de la PHD, han acortado los tiempos de ejecución para el mantenimiento de líneas o ductos de transporte de petróleo y sus complementos de

ejecución en las áreas de influencia, dando mejorías al medio ambiente y con rendimientos económicos sin conflictos sociales en el impacto que muchas veces generan las excavaciones o zanjas, como método tradicional del cambio de ductos existen o proyectos nuevos, en los campos petroleros.

Muchos servicios y canalizaciones se encuentran en zonas urbanas congestionadas. Su instalación, renovación o rehabilitación con métodos tradicionales de apertura de zanjas suponen grandes problemas e inconvenientes a la población. Las tecnologías sin zanja (trenchless) son a menudo económicamente más efectivas que las tecnologías de excavación con zanja (Yepes, 2014).

Se podría decir que la PHD es una técnica a medio camino entre la perforación de topo de percusión (impact moling) y el microtunelado. PHD proporciona un creciente número de opciones de instalación, pues la trayectoria de la perforación se puede cambiar en cualquier momento para sortear obstáculos superficiales o subterráneos. Las instalaciones habituales utilizan diámetros de 50 a 1200 mm y longitudes de hasta 2000 m. Si bien Allouche et al. (2000) indican que el 72% de las tuberías instaladas con PHD son de diámetros menores o iguales a 100 mm. Los materiales de las tuberías suelen ser de polietileno de alta densidad (PEAD), cloruro de polivinilo (PVC), acero y hierro dúctil. La fuerza de tiro se emplea para clasificar los sistemas PHD, pues está relacionado con el tamaño de máquina necesario, el diámetro del conducto a instalar y la longitud de perforación. Ariaratnam y Allouche (2000) proporcionan un buen compendio de recomendaciones y buenas prácticas relacionadas con esta técnica.

La perforación direccional horizontal PHD, como una técnica de instalación de tuberías de perforación horizontal de pozos de petróleo, como herramienta eficiente que permite optimizar los tiempos de ejecución, debe asegurar especificaciones técnicas y planos como con todos los proyectos, los planos de

perfil de un proyecto de HDD deben complementar la especificación técnica proporcionando una presentación clara del diseño del cruce, así como los resultados de los levantamientos topográficos, hidrográficos y geotécnicos.

El ejecutor de PHD, mediante un procedimiento, guiado de un paso a paso utiliza los dibujos del proyecto para producir un perfil de trabajo que se utilizará para la navegación en el fondo del pozo, asegurando los aspectos HSE y de calidad para la ejecución óptima de cada paso de la actividad.

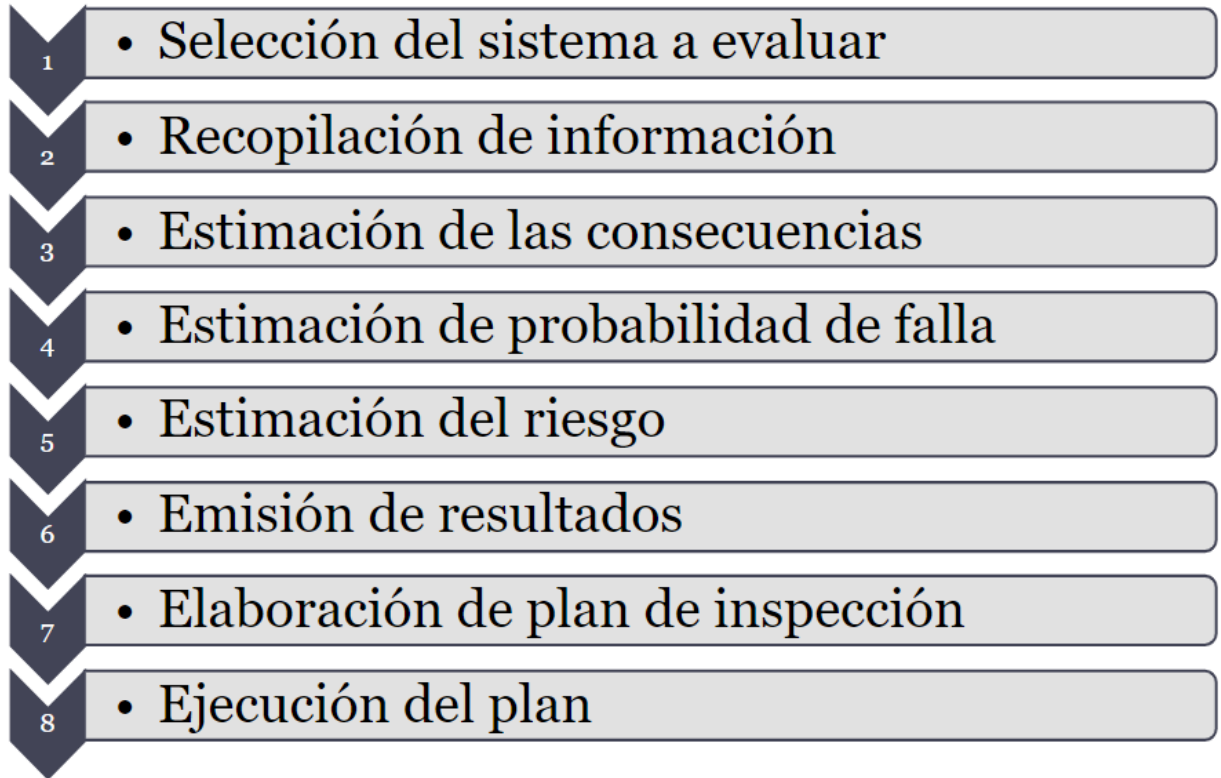
4.2.1 INSPECCIÓN BASADA EN RIESGO (RBI)

Esta metodología permite la evaluación y desarrollo de planes de inspección y mantenimiento de instalaciones, en base a los resultados obtenidos de un estudio exhaustivo de los riesgos asociados a cada uno de sus equipos. Sirve para identificar, evaluar y definir los riesgos industriales (debido a la corrosión y fracturas por exceso de tensión), que pudieran poner en peligro la integridad de los equipos, tanto presurizados como estructurales.

La RBI aborda los riesgos que se pueden controlar mediante inspecciones y análisis adecuados. Mediante la inspección basada en riesgo se puede reducir el riesgo de fallas de alta consecuencia, mejorar la rentabilidad de los recursos de inspección y mantenimiento, medir y comprender los riesgos asociados a los programas de inspección en curso.

La aplicación de la metodología RBI permite aumentar la seguridad de las instalaciones garantizando un alto nivel de integridad mecánica de los equipos y una reducción de los mecanismos de fallo posibles. Esto se consigue tras la identificación de los equipos que poseen un mayor riesgo, cuyo mantenimiento se destinan mayores esfuerzos y recursos.

Figura 6. Procedimiento para aplicar RBI



Fuente: <https://slideplayer.es/slide/4685121/>

4.3 ETAPAS DE LA PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA

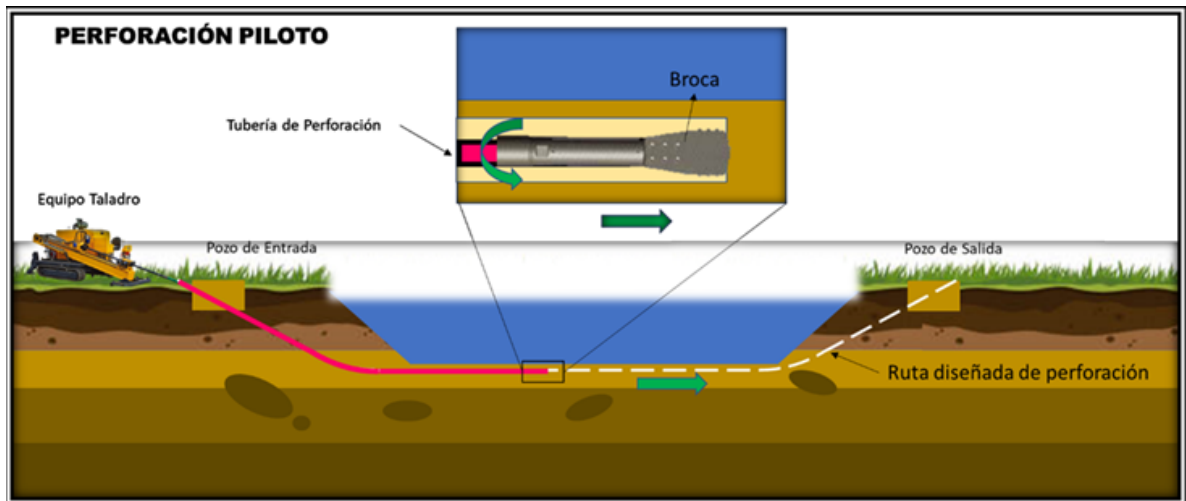
HDD, se implementa en la industria petrolera del campo de la Gerencia Chichimene desde la década del 2000-2005, según las condiciones de trabajo existente en el área del campo de Crudo pesado, como nuevas tecnologías para los trabajos de instalación de servicios de transporte de fluidos por medio de tubería en diferentes diámetros, específicamente Gas, Crudo de petróleo principalmente, como apoyo a las condiciones del campo se destaca los impactos ambientales que se generan en menor impacto en comparación con los métodos convencionales “excavaciones con zanjas usadas para la instalación de los

tramos de comunicación de Clúster a Estaciones o para el mantenimiento de los ductos existentes.

4.3.1 Esquema de Perforación PHD – PERFORACIÓN PILOTO:

Se implementa mediante una trayectoria definida, por medio de rotaciones que tiene un avance de perforación guiada y conectada al piloto como se muestra en (Figura 7), la señal que el piloto recibe a través de la sarta de conexión de tubos percibiendo señales (sondas) de la maquina indicada para el proceso o de acuerdo al diseño requerido en las condiciones del suelo, los complementos para esta acción primaria requiere condiciones de diámetro entre 1” y 5” a lo largo del punto central del modelo requerido.

Figura 7. Esquema de perforación PHD - Perforación Piloto



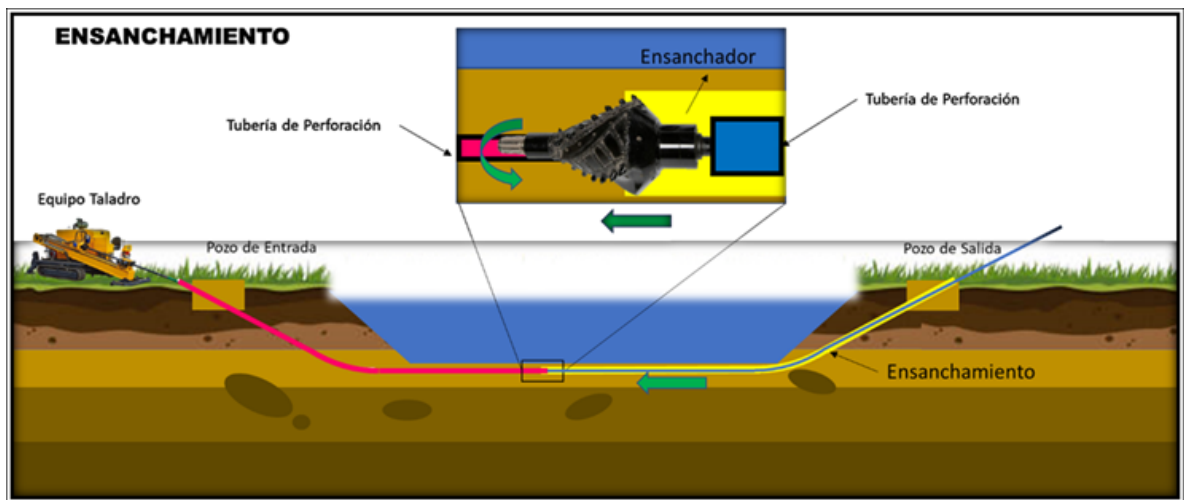
Fuente: Autor

4.3.2 PHD ENSANCHAMIENTO:

Consiste en una etapa de retroceso en el sentido en que se envió la broca piloto, conectando una cabeza guía conocida con ensanchador o escarificador, conectado a un eslabón de un diámetro mayor y flexible, en diferentes formas o

tipos para definir el tamaño ideal, como se muestra en la (Figura 8), el pre-ensanchamiento , se utiliza con lodos bentónicos o mezclas de arcillas naturales, que permites formar paredes de fácil lubricación en el trascurso del paso de la tubería guiada por medio de las sarta que puede ir y venir las veces que se crean necesario, dándole la cama desde la base con máquinas para el halado final con ángulos entre 7 a 19 grados con respecto al eje horizontal de la plataforma, con salidas de 7 a 11 grados.

Figura 8. Esquema de Perforación PHD - Ensanchamiento



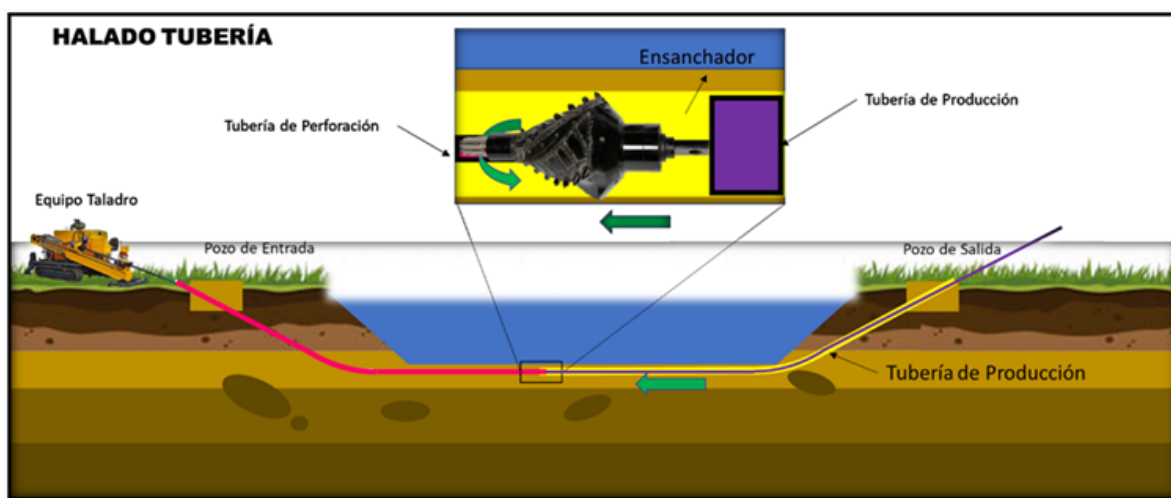
Fuente: Autor

4.3.3. PHD – HALADO DE TUBERÍA – PULLBACK:

La tercera etapa, es la última del proceso de (HDD), consiste en realizar el halado de la tubería en el diámetro requerido, la instalación de la lingada, se hace progresivamente evitando atascamientos o deterioro de la pintura resina epóxica de alta resistencia, según el instructivo o especificación técnica dada por el cliente, la tubería que se va disponer tiene que tener, la Prueba Hidrostática los END y las verificación de calidad, validadas e inspeccionadas en las juntas de sacrificio, Se debe demostrar la alta resistencia a la abrasión de los productos propuestos, a

partir de la presentación de resultados de pruebas realizadas en laboratorios reconocidos e independientes según la Norma ASTM D4060 “Standard Test Method for Abrasion Resistance of Organic Coatings by the Taber Abraser”. El cierre de tubería o Tie in, conexión a facilidades existentes o cambio por condiciones de integridad, que se dispuso por RBI, en las cajas de empalme con la regular de aproximación.

Figura 9. Esquema de Perforación PHD - Halado de Tubería



Fuente: Autor

4.3.4 PHD – RETIRO DE EQUIPOS DE PERFORACIÓN:

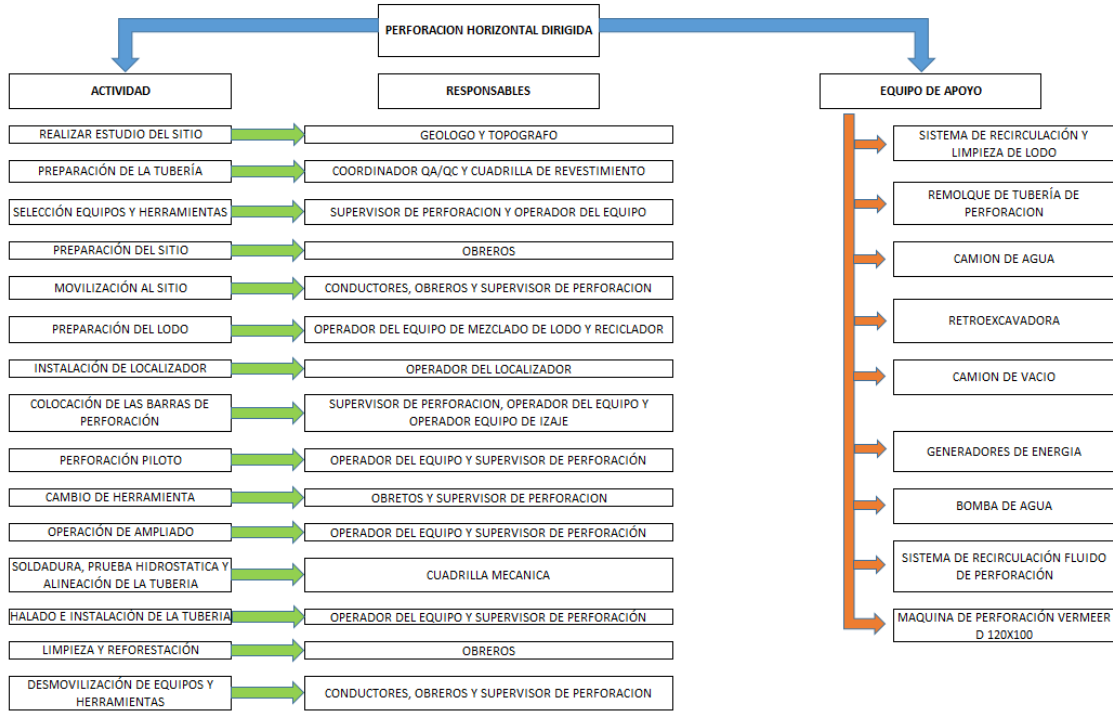
Se retira todos los instrumentos de perforación en condiciones del PMA, ha satisfacción del cliente, Georreferenciación de juntas, piscinas para lodos y agua, además del tratamiento, transporte y disposición de lodos y aguas para perforación y de plataforma, fast tank y en general cualquier requerimiento técnico relacionado con la completa ejecución de los trabajos incluye filmación y copias del halado de la instalación de tubería. Fuente. p8-EDP-ET-129 ESP TECN CONSTR DE PERFORADOS HORIZONTALES DIRIGIDOS-PHD 03042019, Pag 75.

5. DESARROLLO DEL PLAN DE TRABAJO

Como se ha mencionado antes, la perforación horizontal dirigida es parte integral del mantenimiento de líneas y ductos, para la gerencia de Ecopetrol en Chichimene. Mediante esta técnica se permite reemplazar tramos de tubería sin necesidad de realizar excavaciones y afectaciones al medio ambiente. Lo cual, genera que toda la ingeniería de detalle previa a la perforación, sea la adecuada y cumpla con los estándares que brinda la empresa. Los estudios previos a la ejecución son de gran importancia, para que no se presenten contratiempos no previstos durante toda la ingeniería de detalle. Entre las fases de la perforación se establece un procedimiento, en el cual se basa la empresa para realizar todas las actividades allí descritas.

El procedimiento es parte fundamental, debido a que en él se describen las actividades propias de la labor, las herramientas que se requieren, el personal calificado, las consideraciones, el alistamiento del lugar, las verificaciones previas y durante cada actividad que allí se encuentre. A continuación, se detallan los pasos principales del procedimiento para que la ingeniería de detalle sea la adecuada.

Figura 10. Diagrama de la Perforación Horizontal Dirigida



Fuente: Autor

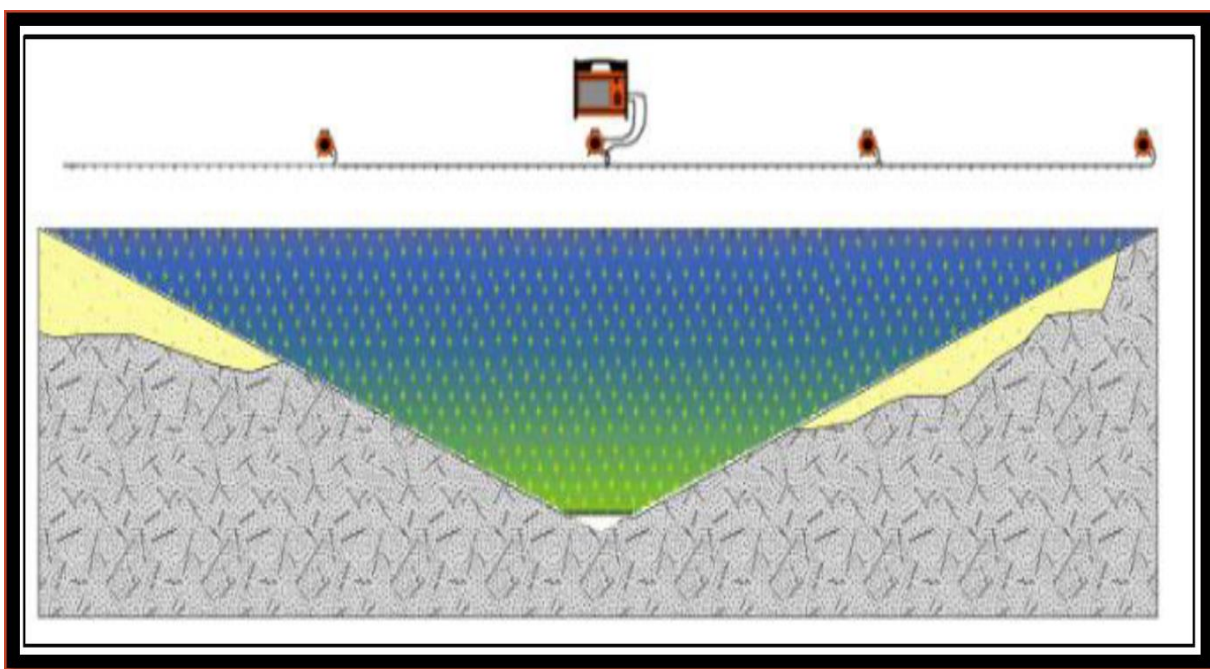
5.1 PROCEDIMIENTO DE EJECUCIÓN

5.1.1. TOMOGRAFÍA.

Basados en la ingeniería, para la realización de una perforación horizontal dirigida con sus puntos definidos se procede en primer lugar a realizar una tomografía del lugar en términos generales, la adquisición de información geofísica se lleva a cabo de una manera técnicamente correcta, por lo cual los datos resultantes reflejaran las condiciones de respuesta de resistividad de los materiales que componen el subsuelo en el área.

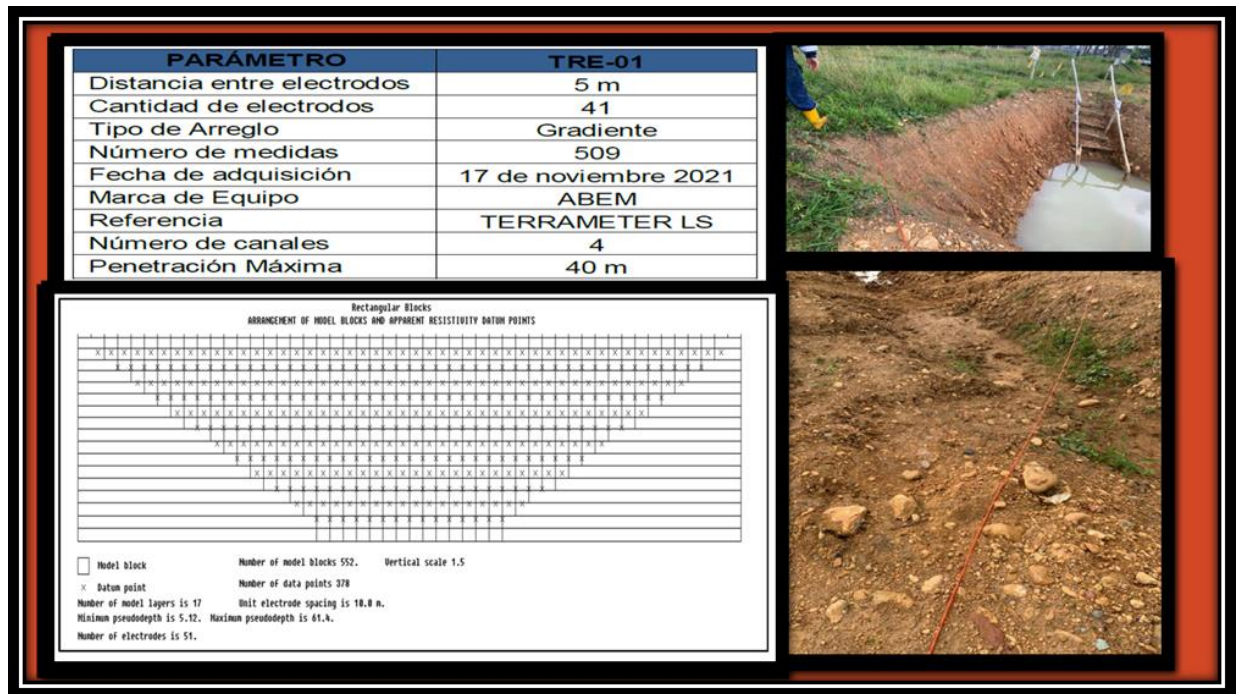
Se debe tener en cuenta que los resultados de una prospección geoelectrica pueden ser afectados por diferentes factores que pueden actuar simultáneamente. Desde el punto de vista técnico las variaciones en la resistencia de contacto de los electrodos son quizá la mayor fuente de errores de medición. Las variaciones topográficas y anomalías de resistividad locales (superficiales) pueden también representar errores en el modelo generado en el esquema de adquisición de datos de tomografía geoelectrica.

Figura 11. Esquema de Adquisición de Datos Tomografía Geoelectrica



Fuente: Tropical Ingeniería y Consultoría Ltda, 2021. Montajes Tecnicos Zambrano & V.

Figura 12. Información Resultante de la Tomografía



Fuente: Tropical Ingeniería y Consultoría Ltda, 2021. Montajes Tecnicos Zambrano & V.

Después de haber realizado el levantamiento topográfico del terreno y la detección de líneas y ductos, se continua con la preparación de apiques en los puntos demarcados o considerados de relevancia por su cercanía al eje a intervenir. Estos apiques, dependiendo la profundidad indicada por el detector de tubería, inicialmente se realizan con ayuda mecánica (retroexcavadora), luego al estar cerca a los ductos se efectúan trabajos de forma manual hasta despejar completamente el elemento a identificar. Después de despejado el terreno y teniendo visible la tubería o ducto se procede a realizar un registro de diámetro, dimensiones, profundidad exacta y estado en que se encuentra. (Para la línea en particular se realizaron 10 apiques).

Figura 13. Apiques PHD 2021

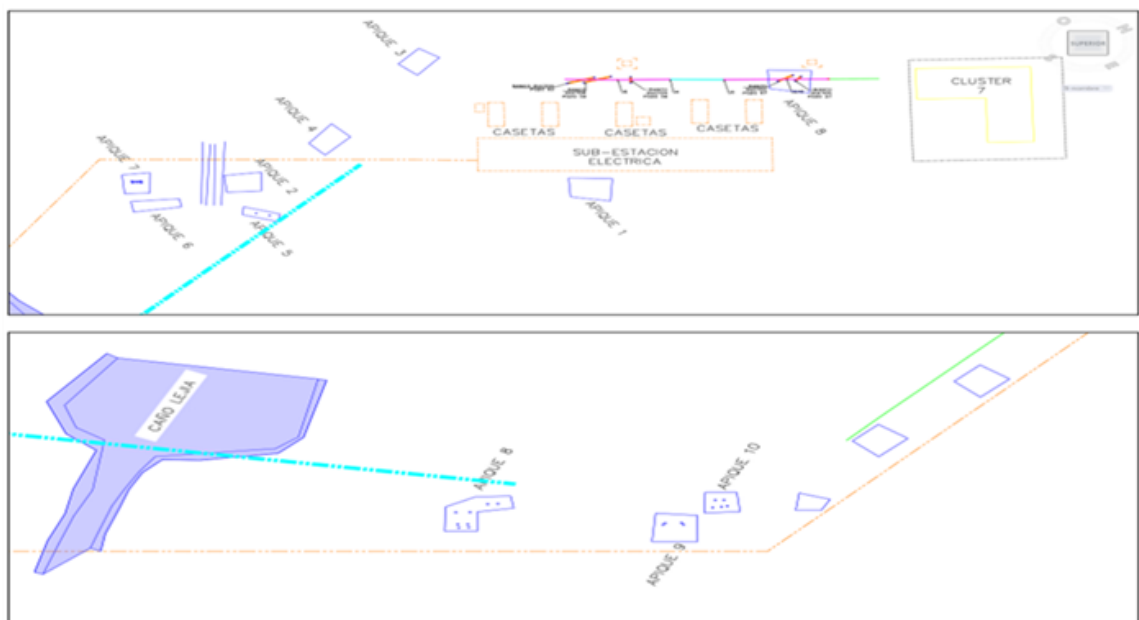


Fuente: Montajes Tecnicos Zambrano & V

5.1.2. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

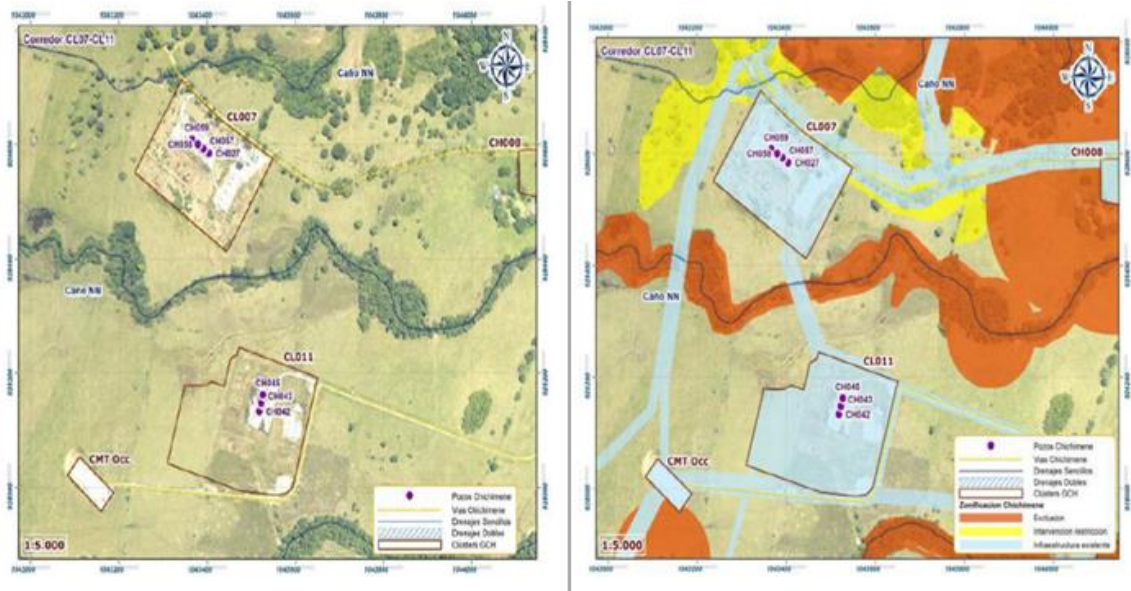
Se procede a realizar un levantamiento topográfico del terreno, para examinar la superficie del terreno, en la cual se tienen en cuenta las características físicas, geográficas y geológicas del terreno, pero también sus variaciones y alteraciones.

Figura 14. Levantamiento Topográfico PHD 2021.



Fuente: Montajes Tecnicos Zambrano & V

Figura 15. Panorámica Corredor-Clúster 7 y Clúster 11. Zonificación Ambiental Aprobada (Zonas de exclusión) - Plan de Manejo Integral Bloque Cubarral.



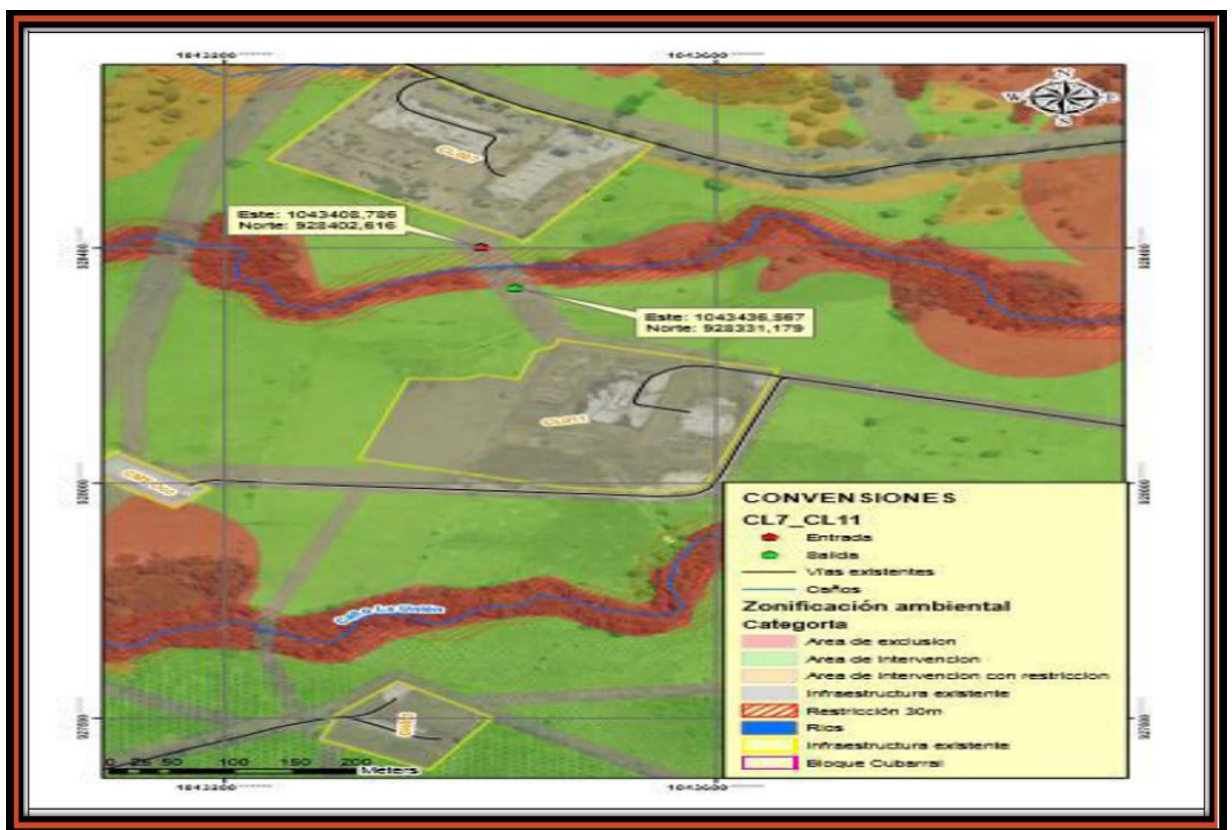
Fuente: Montajes Tecnicos Zambrano & V

Después de realizado el recorrido y de efectuar la identificación de las determinantes ambientales del área de influencia del proyecto, se cruza esta información con la zonificación ambiental aprobada por parte de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) en el Plan de Manejo Integral del Bloque Cubarral.

Se buscó dar cumplimiento a las medidas de manejo ambiental establecidas en el Plan de Manejo Ambiental Integral del Bloque Cubarral y sus fichas. Que evidencien la buena aplicación de las medidas frente al buen uso de los recursos naturales autorizados dentro de las zonas de ejecución de actividades del caño La Lejía, para el cruce tipo PHD, de tal forma que no se alteren las condiciones naturales del caño, su zona de protección y conservación en una franja no inferior

a 30 metros a lado y lado de la cota máxima de inundación, como alternativa de perforación del cruce dirigido se propuso un punto de entrada en las coordenadas 1043436,567 y 928331,179 y salida 1043408,786 y 928402,616. Respectivamente, que evitara posibles alteraciones al medio de influencia. Como se muestra en la figura 16. (Ecopetrol S.A. Viabilidad Ambiental – Gerencia Chichimene.pag 8-9, Plantilla 034 – V. 1 – 21/05/2014).

Figura 16. Puntos de entrada y salida PHD - Clúster 7 y Clúster 11.



Fuente: Montajes Tecnicos Zambrano & V

Los cortes de descapote se realizaron con máquinas, Retro de oruga / bulldozer, la dirección de corte se realizó en el sentido más largo del polígono, con el fin de reducir movimientos innecesarios y la menor alteración del sustrato que se extrajo.

Es de anotar que el cumplimiento de esta tarea es bien importante, ya que para efecto de labores de recuperación y rehabilitación final se debió contar con un sustrato de suelo suficiente.

5.1.3. ENTREGA Y ASEGURAMIENTO DE LOCACIONES O PREDIOS

El aseguramiento de los predios es un paso fundamental en el diseño, con el objetivo de definir la presencia de tuberías existentes y/o estructuras que estén dentro del corredor donde se proyectó la construcción de la perforación horizontal dirigida o del mantenimiento de las reposiciones de líneas en el campo de crudo de la GCH. Ya que se cuenta con muchos activos de transporte de crudo, Nafta o agua, en las regiones aledañas que están al servicio del cliente o en su defecto circundantes a los vecinos de la zona de influencia, donde se realizó un trabajo crítico como la PHD.

Por tal razón se libera el Formato De Entrega De Predios de mutuo acuerdo entre el cliente dueño del área en gestión de entorno o servicios de tierras y control de activos, con el objetivo principal de validar la realidad del campo, en las coordenadas trazadas por ingeniería para la ejecución de las actividades, según carta de tomografía, donde se deje la constancia registros fotográficos de toda la trazabilidad consolidada a intervenir, delimitándolas con cercas temporales en todos los linderos, asegurando que no se dé el ingreso de animales como bovinos o equinos de los predios colindantes.

Se garantizó que las obras en los predios no afectaran a los potreros o áreas de servidumbre, ya si esto sucediera se debería reconformar para dejar las zonas en las misma o mejores condiciones del espacio ocupado.

Figura 17. Formato de Entrega de Predios PHD - Clúster 7 y Clúster 11

eccc PETROL		FORMATO DE ENTREGA DE PREDIOS		
DEPARTAMENTO DE SERVICIOS DE TIERRAS Y CONTROL DE ACTIVOS FIJOS		GESTIÓN DE ENTORNO		
GDS-F-020		Elaborado 27/12/2017		Versión: 2
SOLICITUD DE SERVICIO N°: FN213713		Solicitante: DIEGO OMAR TOLE MARTINEZ		Fecha Solicitud: 2020Oct29
I. PROYECTO O INFRAESTRUCTURA ASOCIADA AL INMUEBLE:				
MANTENIMIENTO LÍNEA MECÁNICA REPOSICIÓN LÍNEA DE NAPTA DEL CL 11 AL CL 7				
II. DATOS DEL PROPIETARIO Y/O POSEEDOR				
No.	Primer Apellido	Segundo Apellido (o de casada)	Nombre	No. Identificación
1	PUENTES CUELLAR	CLAUDIA	PATRICIA (Propietaria)	C.C 91.920.500
2	PACHÓN Puentes	DANIELA	(Propietaria)	C.C 1.125.640.109
3	PACHÓN Puentes	LAURA	ANDREA (Propietaria)	C.C 1.032.401.560
4	SOCIEDAD DE ACTIVOS ESPECIALES S.A.S (Administrador/Secuestra)			NIT 900265408-5
III. IDENTIFICACIÓN DEL PREDIO				
Cédula Catastral	Código SIG	Nombre del Predio	Varada	Municipio
5000500020000011000000000000	20220228	SAMARKANDA	LA ESMERALDA	ACACIAS
IV. ESQUEMA Y COORDENADAS DE UBICACIÓN DE ÁREA DE TRABAJO Y COLINDANTES				

Fuente: Montajes Tecnicos Zambrano & V

5.2 PARÁMETROS PARA LA PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA

Para el diseño del cruce subfluvial mediante perforación horizontal dirigida para la reposición de la línea de diluyente del Objeto en estudio, se realizaron las siguientes actividades de estudio previas:

- Levantamiento topográfico
- Estudios indirectos: prospección geo eléctrica (Tomografía)
- Estudio Ambiental
- Estudio de accesos
- Detección de Tuberías

El análisis realizado por el software arroja un plan de perforación adecuado, el cual cumple con las condiciones exigidas por el usuario. Además, con este se calcularon los esfuerzos en la tubería generados en la instalación y en la operación del sistema.

5.2.1 CRITERIOS DE DISEÑO

La perforación horizontal dirigida para el cruce, se diseñó de acuerdo a la tubería recomendada por el cliente correspondiente a tubería en acero al carbono NPS 6 en material API 5L.

En la tabla 2 se muestran los espesores mínimos recomendados de acuerdo al diámetro de la tubería a instalar; según esta recomendación para un cruce mediante PHD en tubería API 5L X 42 diámetro de 6" NPS se debe emplear como mínimo un espesor de pared de 0.250".

Tabla 2. Espesores Recomendados para PHD

Diameter (D)	Wall Thickness (t)
6" and smaller	0.250"
6 to 12"	0.357"
12 to 30"	0.500"
>30"	$D/t < 50$

Fuente: Pipeline Rules of Thumb Handbook, Capitulo 2.

En la tabla 3 se muestran las propiedades mecánicas y geométricas de la tubería recomendada por Ecopetrol S.A. para el cruce en cuestión.

Tabla 3. Propiedades Mecánicas y Geométricas de la Tubería Según Ecopetrol

Ubicación TAG	PHD CL 7-CL11
Diámetro exterior	6,625 in
Espesor de pared	0.280 in
Diámetro interior	6 in
Momento de inercia (I)	30.94 in ⁴
Módulo de Sección (Z)	9.34 in ³
Material	5LX42
Esfuerzo admisible	36.0 Ksi (248 MPa)
Resistencia a la Fluencia	42.0 Ksi (413 MPa)
Presión mínima de prueba	2640 psi

Fuente: Ecopetrol

5.2.2 CÁLCULO DEL RADIO MÍNIMO

El cálculo del “radio mínimo permisible” para la tubería a emplear en el diseño de los cruces se calcula considerando que dicha tubería se somete a flexión pura.

El radio de curvatura mínimo se debe considerar en el diseño de la trayectoria de dicho cruce; tal que, al usar radios de curvatura por encima del mínimo, la tubería no sufra esfuerzos mecánicos por encima del límite de esfuerzo elástico.

El radio mínimo se calcula mediante la siguiente expresión de la mecánica de resistencia de materiales:

Ecuación 1. Calculo de Radio Mínimo

$$R = \frac{E \times I}{\sigma_{Max} * Z}$$

Donde:

Tabla 4. Propiedades de la Tubería

R = Radio de curvatura permisible
σ_{max} = Esfuerzo máximo Permisible
Z = Modulo de sección de la tubería
E = Modulo de elasticidad del material (acero)
I = Momento de Inercia de la tubería

Fuente: Diseño en Ingeniería mecánica, Joseph Shigley, Sección 2-9.

Radio mínimo para tubería de NPS 6".

$$\sigma_{Max} = 36.0 \text{ ksi}$$

$$E = 29 \times 10^6 \text{ psi (Acero)}$$

$$Z = 9.34 \text{ in}^3$$

$$I = 30.94 \text{ in}^4$$

$$R = \frac{29000000 * 30.94}{36000 * 9.34}$$

$$R = 2668.5106 \text{ in}$$

$$\mathbf{R = 73.634 \text{ m Tubería NPS 6}}$$

Para cruces mediante perforación horizontal dirigida se recomienda adoptar un factor de seguridad respecto al cálculo del radio de curvatura permisible; en este diseño se adoptará un factor de seguridad correspondiente a 3 para determinar así el radio de curvatura mínimo a emplear en el diseño del perfil de perforación, por

lo que el radio mínimo permisible por la **tubería 6” será de 220,9m**, así que el perfil de perforación no debe presentar un radio de curvatura inferior a los 220,9m.

Tabla 5. Peso Lingada

Longitud total lingada (m)	Longitud total lingada (pie)	Peso tubería (lb/pie)	Peso lingada (lb)	Factor carga	Peso total (lb)	Peso total (kg)
340	1088	18.97	20,639.4	1.2	24,767.3	11,257.9

Fuente: Autor

De acuerdo al peso de la lingada obtenida para un cruce de 340 mts, se recomienda emplear para la perforación horizontal dirigido una maquina tipo MIDI RIGS con capacidad de empuje y halado entre 30,000 lbs a 50,000 lb.

5.2.3 CHEQUEO ESFUERZO A TENSIÓN DE LA TUBERÍA

El esfuerzo a tensión sometido por el halado de la tubería se calcula a partir de las siguientes propiedades, y a partir de este se chequea el esfuerzo máximo sometido:

Tabla 6. Esfuerzos de Tensión

Área tubería (in ²)	Fuerza tensión lingada (lb)	Resistencia a la fluencia (psi)	Esfuerzo tensión (psi)
6.42	24,767.3	42,000.00	4,538.61

Fuente: Pipeline Crossings, ASCE Manual and Reports on Engineering Practice N° 89

Ecuación 2. Esfuerzo Máximo

$$ft < 0.6 * Fy \quad \xrightarrow{\quad ft = \frac{Ft}{A} \quad} \quad 2,414.8 \text{ psi} < 25,200 \text{ psi}$$

Donde,

f_t = Esfuerzo a tensión

F_t = Fuerza de tensión de la tubería

A = Área de la tubería

F_y = Esfuerzo de fluencia

De acuerdo a la ecuación anterior, en donde el esfuerzo a tensión producido por el halado de la tubería es inferior a 0.6 por el esfuerzo de fluencia, lo cual cumple con el criterio.

5.2.4 CHEQUEO POR ESFUERZO A FLEXIÓN (FB):

Se determina el esfuerzo a flexión máximo sometida a la tubería de acuerdo a la siguiente ecuación (ANSI/API 1993, PP40-41) y se muestran los siguientes resultados en la tabla:

Tabla 7. Esfuerzo a Flexión Máximo

Espesor pared tubo (in)	Diámetro exterior (in)	Modulo elasticidad (psi)	Radio curvatura (in)	Resistencia a la fluencia (psi)	Esfuerzo de flexión (psi)
0.288	6.625	29,000,000.00	2,668.51	42,000.00	36,000.02

Fuente: Pipeline Crossings, ASCE Manual and Reports on Engineering Practice N° 89

Ecuación 3. Esfuerzo a Flexión Máximo

$$f_b = \frac{(ExD)}{(2xR)}$$

Donde,

f_b = Esfuerzo a flexión

D = Diámetro exterior nominal de la tubería

t = Espesor de la pared del tubo

R = Radio de curvatura real del cruce

E = Modulo de elasticidad

f_y = Resistencia a la fluencia

De acuerdo a la ecuación anterior, se chequea el esfuerzo a flexión obtenido a partir de los siguientes criterios.

$$F_b = 0.75 * f_y \quad \text{si} \quad \left[\frac{D}{t} \right] \leq \left[\frac{1500000}{f_y} \right]$$

$$F_b = \left[0.84 - \frac{1.74 * f_y * D}{E * t} \right] * f_y \quad \text{si} \quad \frac{1500000}{f_y} < \frac{D}{t} \leq \frac{3000000}{f_y}$$

$$F_b = \left[0.72 - \frac{0.58 * f_y * D}{E * t} \right] * f_y \quad \text{si} \quad \frac{3000000}{f_y} < \frac{D}{t} \leq 300000$$

Dando como resultado que F_b es igual 36,000 psi, de acuerdo al primer criterio. A partir de esto se compara con el esfuerzo a flexión generado por el radio de curvatura propuesto en el diseño como se muestra a continuación y el cual cumple el criterio.

$$f_b < F_b \quad \longrightarrow \quad 14,409.84 \text{ psi} < 39,000 \text{ psi}$$

5.2.5 CHEQUEO ESFUERZO CIRCULAR POR PRESIÓN EXTERNA

Se chequea el esfuerzo circular por presión externa de la tubería de acuerdo a la siguiente ecuación (ANSI/API 1993, PP40-41) y datos como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 8. Esfuerzo Circular por Presión Externa de la Tubería

Presión externa lb/in²	Espesor pared tubo (in)	Diámetro exterior (in)	Modulo elasticidad (psi)	Resistencia a la fluencia (psi)	Fhe (psi)	Esf. Circular presión externa (psi)
4.88	0.288	6.00	29,000,000.00	42,000.00	14,018.55	78.08

Fuente: Pipeline Crossings, ASCE Manual and Reports on Engineering Practice N°

89

Ecuación 4. Esfuerzo Circular por Presión Externa

$$f_b = \frac{(E \times D)}{(2 \times R)}$$

Donde,

f_b = Esfuerzo a flexión

D = Diámetro exterior nominal de la tubería

t = Espesor de la pared del tubo

R = Radio de curvatura real del cruce

E = Modulo de elasticidad

f_y = Resistencia a la fluencia

Según ANSI/API 1993, pp 40-41, el esfuerzo circular por presión externa impuesta sobre la tubería a instalar debe estar por debajo al 60% del esfuerzo circular crítico de estrangulamiento, de acuerdo a los siguientes criterios:

$$F_{he} = 0.88 * E * \left(\frac{t}{D}\right)^2$$

$$F_{hc} = F_{he} \quad \text{si } F_{he} \leq 0.55 * f_y$$

$$F_{hc} = 0.45 * f_y + 0.18 * F_{he} \quad \text{si } 0.55 * f_y < F_{he} \leq 1.6 * f_y$$

$$F_{hc} = \frac{1.31 * f_y}{\left[1.15 + \left(\frac{f_y}{F_{he}}\right)\right]} \quad \text{si } 1.6 * f_y < F_{he} \leq 6.2 * f_y$$

$$F_{hc} = f_y \quad \text{si } F_{he} > 6.2 * f_y$$

Dando como resultado, F_{hc} sea igual a 30,715.69 psi. Al comparar la ecuación siguiente se puede estimar que el esfuerzo circular sometido a la tubería por las presiones externas del suelo y agua es menor al esfuerzo circular crítico de estrangulamiento.

$$f_h < 0.6 * F_{hc}$$

Chequeo por Esfuerzos de instalación combinadas

De acuerdo al criterio según ANSI/API 1993, pp. 43-44; PRC 1995, p.47 y tomando en cuenta la combinación de esfuerzos que puede estar sometida la tubería, se chequea los esfuerzos combinados de acuerdo a la siguiente formula:

Ecuación 5. Esfuerzos Combinados

$$A = \frac{[(f_t + f_b + 0.5 * f_h) * 1.25]}{f_y}$$

$$B = \frac{1.5 * f_h}{F_{hc}}$$

Donde,

f_t = esfuerzo a tensión

f_b = esfuerzo a flexión

F_{hc} = esfuerzo circular critico de estrangulamiento

v = relación de Poisson, igual a 0.3 para acero al carbón

De acuerdo al esfuerzo calculado anteriormente, y empleando las ecuaciones A y B dan como resultado:

A	B
0.384	0.025

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos de A y B, se chequea el criterio de los esfuerzos combinados.

$$A^2 + B^2 + 2 * v * A * B \leq 1$$

0.154	<=	1
-------	----	---

Perfil escogido para el cruce

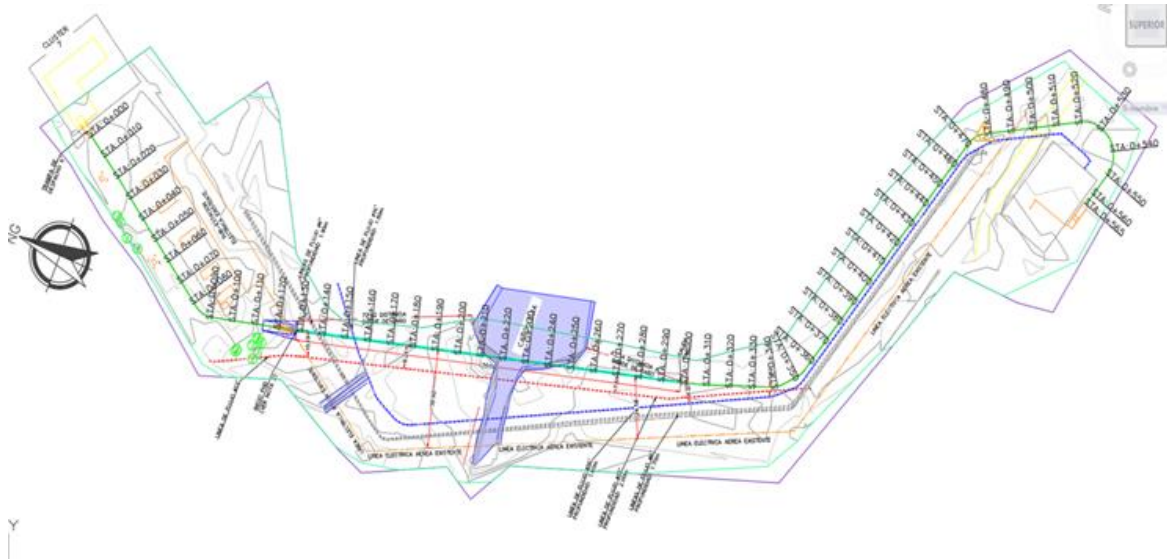
Para los cruces de Reposición de Líneas de Flujo del alcance de la ODS CLUSTER 7 a CLUSTER 11 del Contrato Marco, se escogió un perfil de perforación tradicional el cual se muestra el chequeo del radio de curvatura de cada tramo del diseño.

Figura 18. Paso a Paso PHD



Fuente: Montajes Técnicos Zambrano & V

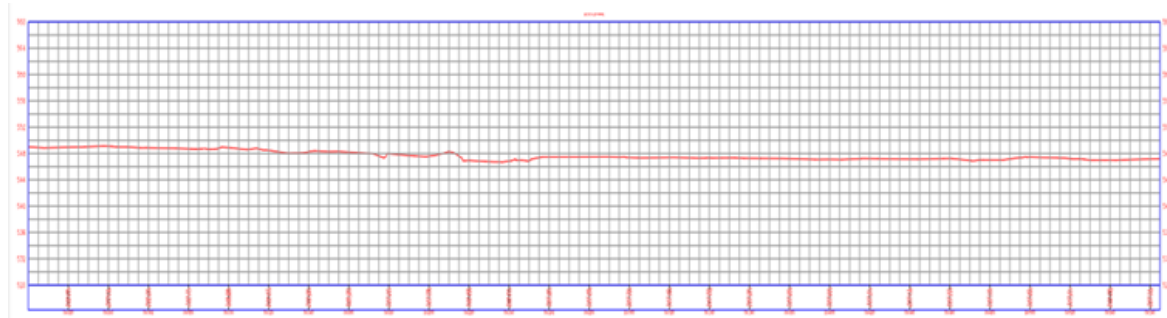
Figura 19. Levantamiento de Plano de Construcción



Fuente: Montajes Técnicos Zambrano & V

También se entrega plano con vista perfil con escala vertical 1-1, esta escala es para posteriormente insertar el diseño del PHD y los elementos allí presentes.

Figura 20. Plano Vista Superficial



Fuente: Montajes Técnicos Zambrano & V

Líneas y ductos enterrados se emplea el localizador de tuberías, cables y sondas Seek Tech SR-60 de la marca Ridgid, el cual indica el eje de los ductos y su profundidad aproximada. Esta detección se hace por todo el recorrido de la línea,

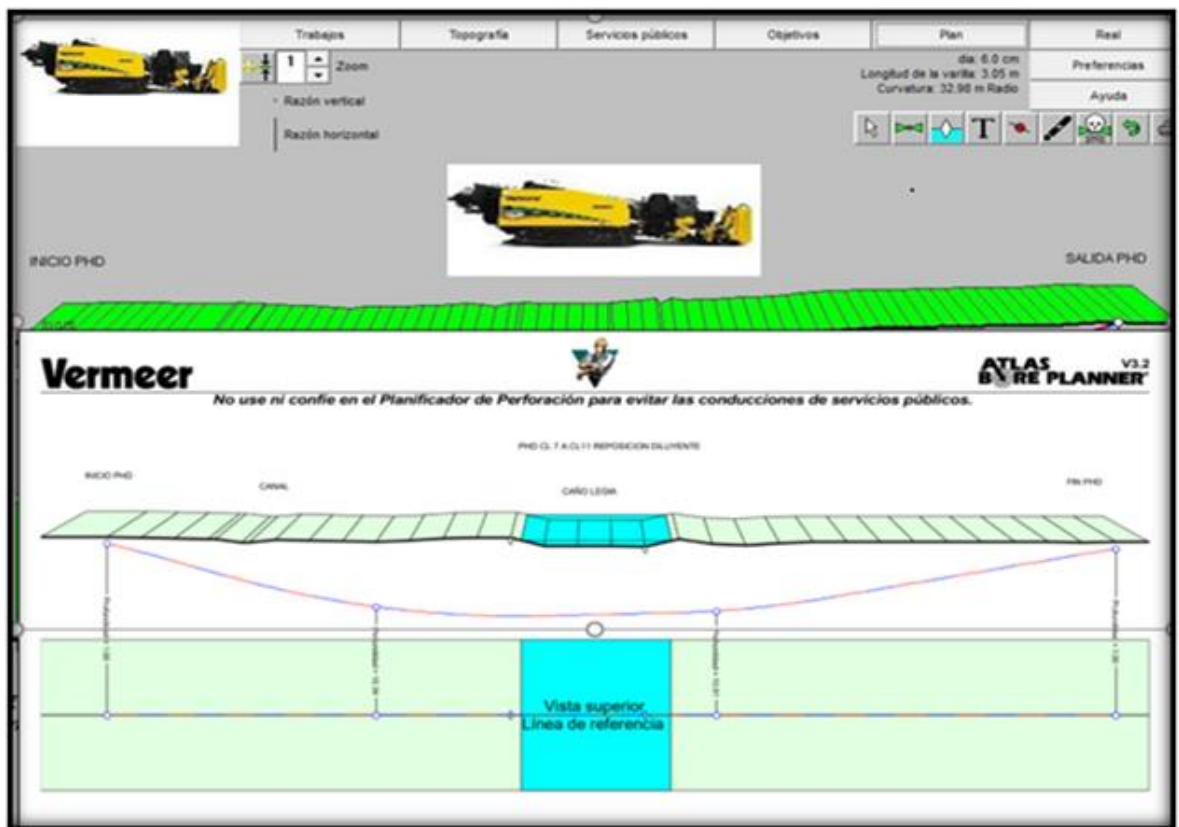
luego se marca en el terreno con estacas para posteriormente hacer apiques en estos puntos y de esta manera tener un dato más preciso del elemento localizado y su profundidad.

Figura 21. Levantamiento e Identificación de Tubería Enterrados



Fuente: Montajes Técnicos Zambrano & V

Figura 22. Corrida en Atlas Bore Planner



Fuente: Montajes Técnicos Zambrano & V

Tabla 9. Chequeo Radios de Curvatura

Tramo	Radio mínimo permitido (m)	Radio escogido (m)	Estado
A-B	220.90	∞	OK
B-C	220.90	220.90	OK
C-D	220.90	∞	OK
D-E	220.90	220.90	OK
E-F	220.90	∞	OK

Fuente: Autor

En ninguno de los tramos el radio de curvatura es inferior a 220.90m.

5.3 ANÁLISIS DE COSTOS Y SOCIO AMBIENTAL

Para el análisis de costos, se tomaron como referencia los valores contractuales y el costo directo asociado según el plan de trabajo (PDT), partiendo de los gastos convencionales en los trabajos del gremio petrolero asociado para el caso de estudio.

Dentro de los lineamientos se contemplaron los siguientes tres pasos fundamentales para el Análisis de los costos:

- Estimación contractual de los Ítems de referencia PHD Y ZANJAS en el cambio o reposición de líneas de 16" y 6".
- Comparación de escenarios contractuales.
- Comparativo de los Costos directos según Plan de Trabajo (PDT)

Se dispuso de activos de ECOPETROL S.A, y dentro del estudio que se presenta en esta monografía, se tuvieron en cuenta los lineamientos contractuales para los trabajos que realizó la empresa MONTAJES TÉCNICOS ZAMBRANO & V.

Partiendo del alcance del plan de mejora y eficiencia operacional del mantenimiento en el campo de crudo de GCH de Ecopetrol S.A, se planteó buscar la mejor alternativa de optimización de recursos, impacto socio ambiental y socio económico de la región.

Realizado el análisis de costos para la técnica de perforación horizontal dirigida, se evidencia que el ítem que tiene mayor valor e incrementa el costo total de la

operación, es la cuadrilla completa de perforación. El alquiler de un equipo de estos al día representa los mayores costos para el proyecto. Por eso, la ingeniería de detalle al momento de realizar un dirigido debe ser clara, concisa y veraz para poder seguir la planeación de acuerdo al PDT del proyecto.

Figura 23. Perforación Horizontal Dirigida Halado de Tubería



Fuente: Autor

Figura 24. Fundamentales Perforación Horizontal Dirigida



Fuente: Autor

Figura 25. Costo Total Perforación Horizontal Dirigida

Etiquetas de fila	Suma de VALOR UNIT	Suma de PDT
Personal requerido API-Contruccion de Lingada & Facilidades	\$ 90.237.486,31	21
Personal requerido cierre de final de manteneiminto (PHD/DDH)	\$ 19.912.894,50	7
Personal requerido para la adecuación de plataformas	\$ 27.524.263,16	7
Personal requerido(PHD/DDH)	\$ 98.999.623,11	37
Costo estimado por manteneiminto de linea a intervenir	\$ 813.652.766,67	40
Total general	\$ 1.050.327.033,75	112

Fuente: Autor

Por otra parte, el análisis de la técnica de zanja, a cielo abierto. Requiere de una mayor cantidad de equipos lo cual incrementa el costo, y extiende el tiempo planteado en el PDT. Debido, a que esta técnica depende en gran medida de

temas de permisos ambientales, para poder realizar las excavaciones. Liberación de los predios por parte de los propietarios.

Figura 26. Técnica a Cielo Abierot - Zanja



Fuente: Autor

Figura 27. Costo Total - Zanja

Etiquetas de fila	Suma de VALOR UNI	Suma de PDT
Personal requerido adecuación Zanjas para instalar tubería	\$ 207.420.006,20	37
Personal requerido API-Contrucción de Lingada & Facilidades (Zanjas)	\$ 195.250.546,25	35
Personal requerido cierre de final de manteneimeinto (Zanjas)	\$ 18.494.754,50	0
Personal requerido para la adecuación de area en predios, asegurando Apiques (Zanjas)	\$ 98.329.646,20	92
MAQUINARIA/EQUIPOS(Zanjas)	\$ 548.250.000,00	45
Total general	\$ 1.067.744.953,15	209

Fuente: Autor

A continuación, encontramos en la gráfica comparativa, donde se tuvieron en cuenta los ítems de costo de mano de obra, de maquinaria y todos los ítems que estas actividades requieren. También se tuvo en cuenta el PDT de cada trabajo. La diferencia total en costo total del proyecto difiere en cerca de \$17 millones de pesos. Pero analizando a fondo la situación, evidenciamos que la técnica de perforación horizontal dirigida presento una reducción en los tiempos de ejecución con respecto al tiempo de la técnica con zanja. Cabe resaltar, que no es simplemente una reducción en el PDT, sino que también se hace alusión al tema ambiental.

Figura 28. Comparativa de Escenarios



Fuente: Autor


Al realizar la perforación horizontal dirigida, las afectaciones al medio ambiente y las fuentes hídricas fueron en gran medida mínimas, se parte del hecho que solo

hubo afectación en los puntos de entrada y salida de la broca piloto, para el paso de la lingada. Permitiendo que la reforestación sea mínima y no se presenten mayores afectaciones al ambiente y fuente hídricas cercanas. De haberse utilizado la técnica con zanja, a cielo abierto. Las implicaciones ambientales, hubieran sido bastante grandes. Lo que hubiera generado que, a la hora de la reforestación, esta tome un mayor tiempo debido a tomo el tramo a intervenir. En el tema de costos, es bueno mencionar que se podría presentar algún problema legal, debido a las zanjas algún animal pueda caer en estas. Lo que ocasionaría que el propietario entrara en una reclamación, lo que ocasionaría un incremento en costos para la empresa.

En los anexos del A al J, se evidencian los costos generados de la perforación horizontal dirigida y zanja.

El comparativo por los ítems contractuales referencia PHD Y ZANJAS en el cambio o reposición, se ODS No. 3036620 derivada del contrato MARCO No 3022039 SERVICIO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DE EQUIPO ESTÁTICO (TANQUES, TUBERÍAS Y VASIJAS) EN FACILIDADES DE PRODUCCIÓN Y DEMAS ÁREAS OPERATIVAS DE ECOPETROL S.A. Y SU GRUPO EMPRESARIAL-CONTRATO ZONA 1 - VICEPRESIDENCIA REGIONAL ORINOQUIA.CRUSE DE LINEA DE 16" SCH SDT-DEL CLÚSTER 6 A CLÚSTER 29-200.0 metros, GCH ECOPETROL S.

Figura 29. Ítems Contractuales PHD

		ODS No. 3036620 DERIVADA DEL CONTRATO MARCO No 3022039 SERVICIO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DE EQUIPO ESTÁTICO (TANQUES, TUBERÍAS Y VASIJAS) EN FACILIDADES DE PRODUCCIÓN Y DEMAS ÁREAS OPERATIVAS DE ECOPETROL S.A. Y SU GRUPO EMPRESARIAL-CONTRATO ZONA 1 - VICEPRESIDENCIA REGIONAL ORINOQUIA.			\$ 1.888.093.785		\$ 1.436.326.562		\$ 451.767.223	
		TOTAL ACTIVIDAD			Perforación horizontal dirigida PHD (200ml para tubería de 16")		Tendido de tubería convencional enterrada TC (200 ml tubería 16")			
ÍTEM	CATALOGO	DESCRIPCIÓN	UNIDA D	VALOR UNITARIO	CANT	VALOR ESTIMADO	CANT.	VALOR PHD	CANT.	VALOR ZANJAS
1	4000062	Libros mecánicos líneas de flujo	UN	\$ 1.125.574,00	2,0	\$ 2.251.148,00	1,0	\$ 1.125.574	1,0	\$ 1.125.574
5	4000309	Transporte y Acopio (Ton-Km)	T-KM	\$ 25.372,00	1.230,0	\$ 31.207.560,00	615,0	\$ 15.603.780	615,0	\$ 15.603.780
25	4000049	Suministro Moto bomba de 3" x 3" Diesel	DIA	\$ 69.205,00	150,0	\$ 10.380.750,00	30,0	\$ 2.076.150	120,0	\$ 8.304.600
29	4000072	Suministro y siembra de vegetación	M2	\$ 5.794,00	10.350,0	\$ 59.967.900,00	1.600,0	\$ 9.270.400	8.750,0	\$ 50.697.500
30	4000072	Rocerías y limpieza de derecho de vía.	M2	\$ 3.450,00	10.350,0	\$ 35.707.500,00	1.600,0	\$ 5.520.000	8.750,0	\$ 30.187.500
31	4000071	Instalación de cercas con alambre de púas	M	\$ 16.968,00	1.174,0	\$ 19.920.432,00	610,0	\$ 10.350.480	564,0	\$ 9.569.952
74	4000304	Transporte e instalación de tubería enterrada SCH 10 a SCH 60	MNP	\$ 11.035,00	3.200,0	\$ 35.312.000,00			3.200,0	\$ 35.312.000
83	4000072	Preparación de superficie con sandblasting y pintura en pegas de tubería enterrada.	M2	\$ 177.129,00	13,1	\$ 2.312.596,00			13,1	\$ 2.312.596
89	4000304	Cruces subfluviales por perforación dirigida en tubería de acero en cualquier diámetro	MNP	\$ 431.839,00	3.200,0	\$ 1.381.884.800,00	3.200,0	\$ 1.381.884.800		
104	4000069	Desmantelamiento de tubería y accesorios	KG	\$ 3.795,00	24.662,0	\$ 93.592.290,00			24.662,0	\$ 93.592.290
109	4000304	Llenado de tubería (incluye tratamiento químico del proveedor área operativa)	MNP	\$ 1.957,00	6.400,0	\$ 12.524.800,00	3.200,0	\$ 6.262.400	3.200,0	\$ 6.262.400
110	4000076	Prueba hidrostática de líneas	UN	\$ 3.176.066,00	2,0	\$ 6.352.132,00	1,0	\$ 3.176.066	1,0	\$ 3.176.066
263	4000057	Excavación Manual y relleno (Incluye Tapado con material seleccionado)	M3	\$ 101.818,00	300,0	\$ 30.545.400,00			300,0	\$ 30.545.400
264	4000057	Excavación y tapado mecánico, con retiro de material (Incluye Tapado con material de la excavación)	M3	\$ 34.076,00	2.000,0	\$ 68.152.000,00			2.000,0	\$ 68.152.000
275	4000056	Suministro e instalación de geotextil no tejido	M2	\$ 8.438,00	180,0	\$ 1.518.840,00			180,0	\$ 1.518.840
276	4000067	Comisión topográfica	DIA	\$ 1.056.912,00	2,0	\$ 2.113.824,00	1,0	\$ 1.056.912	1,0	\$ 1.056.912
283	4000071	Construcción de Canales laterales	M	\$ 37.087,00	80,0	\$ 2.966.960,00			80,0	\$ 2.966.960
287	4000057	Suministro e instalación carpeta asfáltica	M3	\$ 588.009,00	27,0	\$ 15.876.243,00			27,0	\$ 15.876.243
288	4000057	Retiro de escombros o material de derrumbe sobre tuberías	M3	\$ 161.763,00	350,0	\$ 56.617.050,00			350,0	\$ 56.617.050
289	4000056	Retiro y acabado de carpeta asfáltica	M2	\$ 104.942,00	180,0	\$ 18.889.560,00			180,0	\$ 18.889.560

Fuente: Montajes Técnicos Zambrano & V

El aspecto contractual vende un contexto distorsionado a erróneo, ya que como gerentes nos vemos sesgados a buscar la opción de menor valor, como en este caso tradicional de excavación con Zanjias, sin ver la realidad que esto puede contemplar a futuro en aspectos socioeconómico y socioambiental, caso contrario al mayor valor de las tecnologías analizadas como lo es la PHD, el cual ofrece beneficios puntuales en lo ambiental y social del área de influencia, en el tiempo de desarrollo de impacto a conformidad de todos los implicados.

Figura 30. Ítems Contractuales Zanja

ODS No. 3036620 DERIVADA DEL CONTRATO MARCO No 3022039 SERVICIO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DE EQUIPO ESTÁTICO (TANQUES, TUBERÍAS Y VASIJAS) EN FACILIDADES DE PRODUCCIÓN Y DEMAS ÁREAS OPERATIVAS DE ECOPETROL S.A. Y SU GRUPO EMPRESARIAL-CONTRATO ZONA 1 - VICEPRESIDENCIA REGIONAL ORINOQUIA.		\$ 742.727.398			\$ 439.812.100		\$ 302.915.298	
		TOTAL ACTIVIDAD-CLÚSTER 7 A CLÚSTER 11, Caño LEJIA/MORICHAL- 150.0			Perforacion horizontal dirigida PHD (150ml para tubería de 6")		Tendido de tubería convencional enterrada TC (150 ml tubería 6")	
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR UNITARIO	CANT	VALOR ESTIMADO	CANT.	VALOR PHD	CANT.	VALOR ZANIAS
Libros mecánicos líneas de flujo	UN	\$ 1.125.574,00	2,0	\$ 2.251.148,00	1,0	\$ 1.125.574	1,0	\$ 1.125.574
Transporte y Acopio (Ton-Km)	T-KM	\$ 25.372,00	1.015,0	\$ 25.752.580,00	554,0	\$ 14.056.088	461,0	\$ 11.696.492
Suministro Moto bomba de 3" x 3" Diesel	DIA	\$ 69.205,00	150,0	\$ 10.380.750,00	30,0	\$ 2.076.150	120,0	\$ 8.304.600
Suministro y siembra de vegetación	M2	\$ 5.794,00	7.250,0	\$ 42.006.500,00	2.000,0	\$ 11.588.000	5.250,0	\$ 30.418.500
Rocerías y limpieza de derecho de vía.	M2	\$ 3.450,00	9.000,0	\$ 31.050.000,00	2.000,0	\$ 6.900.000	7.000,0	\$ 24.150.000
Instalación de cercas con alambre de púas	M	\$ 16.968,00	974,0	\$ 16.526.832,00	510,0	\$ 8.653.680	464,0	\$ 7.873.152
Transporte e instalación de tubería enterrada SCH 10 a SCH 60	MNP	\$ 11.035,00	2.400,0	\$ 26.484.000,00			2.400,0	\$ 26.484.000
Preparación de superficie con sandblasting y pintura en pegas de tubería enterrada.	M2	\$ 177.129,00	4,9	\$ 867.224,00			4,9	\$ 867.224
Cruces subfluviales por perforación dirigida en tubería de acero en cualquier diámetro	MNP	\$ 431.839,00	900,0	\$ 388.655.100,00	900,0	\$ 388.655.100		
Desmantelamiento de tubería y accesorios	KG	\$ 3.795,00	4.245,0	\$ 16.109.775,00			4.245,0	\$ 16.109.775
Llenado de tubería (incluye tratamiento químico del proveedor área operativa)	MNP	\$ 1.957,00	2.190,0	\$ 4.285.830,00	1.290,0	\$ 2.524.530	900,0	\$ 1.761.300
Prueba hidrostática de líneas	UN	\$ 3.176.066,00	2,0	\$ 6.352.132,00	1,0	\$ 3.176.066	1,0	\$ 3.176.066
Excavación Manual y relleno (Incluye Tapado con material seleccionado)	M3	\$ 101.818,00	225,0	\$ 22.909.050,00			225,0	\$ 22.909.050
Excavación y tapado mecánico, con retiro de material (Incluye Tapado con material de la excavación)	M3	\$ 34.076,00	1.500,0	\$ 51.114.000,00			1.500,0	\$ 51.114.000
Suministro e instalación de geotextil no tejido	M2	\$ 8.438,00	180,0	\$ 1.518.840,00			180,0	\$ 1.518.840
Comisión topográfica	DIA	\$ 1.056.912,00	2,0	\$ 2.113.824,00	1,0	\$ 1.056.912	1,0	\$ 1.056.912
Construcción de Canales laterales	M	\$ 37.087,00	80,0	\$ 2.966.960,00			80,0	\$ 2.966.960
Suministro e instalación carpeta asfáltica	M3	\$ 588.009,00	27,0	\$ 15.876.243,00			27,0	\$ 15.876.243
Retiro de escombros o material de derrumbe sobre tuberías	M3	\$ 161.763,00	350,0	\$ 56.617.050,00			350,0	\$ 56.617.050
Retiro y acabado de carpeta asfáltica	M2	\$ 104.942,00	180,0	\$ 18.889.560,00			180,0	\$ 18.889.560

Fuente: Montajes Técnicos Zambrano & V

Los costos según escenarios en relación al costo directos según la tecnología a utilizar, se relacionan al criterio de la necesidad de cada proceso constructivo.

6. CONCLUSIONES

- La Perforación Horizontal Dirigida, se hace necesaria por la complejidad del campo de crudo Chichimene ECP, el cual se encuentra en una zona de lluvias constantes durante 85% del calendario anual, ríos y arroyos, con parámetros morfo métricos de las cuencas y subcuentas en la zona de Las actividades antrópicas que son incursionadas en las zonas constantemente en invasión progresiva, lo cual van acabando progresivamente con los bosques, riachuelos, chucuas o espejos de aguas en zonas de humedales o morichales que se encontraban en la zona.
- El análisis de las distintas tecnologías, son importantes con el fin de comprender las dinámicas de los costos directos e indirectos, en los sistemas de precios frente al sistema de ejecución de obras, en el tiempo (PDT), para poder clasificar las distintas características que permitan escoger la mejor opción económica.
- La técnica de zanja, a cielo abierto. Requiere de una mayor cantidad de equipos y personal, lo cual incrementa el costo, y extiende el tiempo planteado en el PDT > 54%. Debido, a que esta técnica depende en gran medida de temas de permisos ambientales, para poder realizar las excavaciones. Liberación de los predios por parte de los propietarios del área y condiciones climáticas.

BIBLIOGRAFÍA

Horizontal Directional Drilling (HDD),(p.252), por D.A Willoughby,2005, McGraw-HillEducation.

Jaén, Universidad de. (2016). XVIII Curso de sondeos. Universidad de Jaén.

Pellicer, E., Yepes, V., Teixeira, J.C., Moura, H.P., and Catalá, J. (2014). ConstructionManagement. Wiley Blackwell, 316 pp.

Yepes, V. (2015). Aspectos generales de la perforación horizontal dirigida. Curso dePostgrado Especialista en Tecnologías Sin Zanja

Pinzón, J. (2011). Evaluación y perspectivas de la utilización de tecnologías sin zanja enredes de alcantarillado de Bogotá. Pontificia Universidad Javeriana.

Mier, H. (2021, 30 de marzo), entrevistado por Vergara, A., Acacias Meta. https://cormacarena.gov.co/PORH/rio-acaciitas/rio_acaciitas.html

<https://onepetro.org/SPELACP/proceedings-abstract/10LACP/All-10LACP/SPE-138934-MS/107451>

<https://www.semana.com/empresas/articulo/produccion-campo-chichimene-ecopetrol-enero-2015/204573/>

<https://revistas.ucc.edu.co/index.php/in/article/view/2165>

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70753474009>

Montajes Técnicos Zambrano y & V (25/10,2021). PROCEDIMIENTO REPOSICION DE LINEAS DE INYECCION DE DILUYENTE DE LA GERENCIA CHICHIMENE.

Tecna I.C.E. (02/10,2019). 2 contrato RBI GERENCIA CHICHIMENE

ANEXOS

Anexo A. Personal Requerido Para la Adecuación de Plataformas (PHD)

PERSONAL DDH-COSTOS ASOCIADOS-ASOCIADOS-MANTENIMIENTO DE LINEAS DE FLUJO GCH-ECP						
Personal requerido para la adecuación de plataformas						
Tabla P1-PHD	Item	Descripción	EA	\$ Valor Dia	Tiempo de PDT	\$ Valor Total
	1	Ingeniero Residente	Profesional	\$ 393.644	7	\$ 2.755.506
	2	Ingeniero Programador	Profesional	\$ 258.523	7	\$ 1.809.662
	3	Supervisor Mecanico	Profesional Regional	\$ 309.194	7	\$ 2.164.355
	4	Topografo	Profesional	\$ 216.883	7	\$ 1.518.179
	5	Cadenero	No Profesional	\$ 178.566	7	\$ 1.249.962
	6	Operador Retro Excavadora	Profesional Convencional	\$ 279.990	7	\$ 1.959.929
	7	operador vibrocompattador	Profesional Convencional	\$ 279.990	7	\$ 1.959.929
	8	HSE operativo Campo	Profesional Convencional	\$ 257.924	7	\$ 1.805.467
	9	Operador Camion Grua	Profesional Convencional	\$ 279.990	7	\$ 1.959.929
	10	Aparejador de Grua	Profesional Convencional	\$ 224.696	7	\$ 1.572.872
	11	Oficial de obras	No Profesional Convencional	\$ 216.805	7	\$ 1.517.638
	12	Obreros	No Profesional Convencional	\$ 207.167	7	\$ 4.350.501
	13	Conductor	No Profesional Convencional	\$ 207.167	7	\$ 2.900.334
	TOTAL			16	\$ 3.310.537	\$ 27.524.263

Anexo B. Personal Requerido API – Construcción Lingada y Facilidades (PHD)

Personal requerido API-Contruccion de Lingada & Facilidades						
Tabla P2-PHD	Item	Descripción	EA	\$ Valor Dia	Tiempo de PDT	\$ Valor Total
	1	Soldadores API	Profesional	\$ 306.268	21	\$ 12.863.250
	2	Tubero 1A	No Profesional	\$ 249.360	21	\$ 31.419.365
	3	Ayudante Técnico	No Profesional	\$ 224.696	21	\$ 4.718.616
	4	Operador Retro Excavadora	Profesional Convencional	\$ 279.990	21	\$ 5.879.786
	5	operador vibrocompattador	Profesional Convencional	\$ 265.012	21	\$ 5.565.254
	6	HSE operativo Campo	Profesional Convencional	\$ 257.924	21	\$ 5.416.401
	7	Operador Camion Grua	Profesional Convencional	\$ 279.990	21	\$ 5.879.786
	8	Aparejador de Grua	Profesional Convencional	\$ 224.696	21	\$ 4.718.616
	10	Obreros	No Profesional Convencional	\$ 207.167	21	\$ 8.701.002
	12	Pintor Sandblastero	No Profesional Convencional	\$ 241.686	21	\$ 5.075.411
	TOTAL			17	\$ 2.536.788	\$ 90.237.486

Anexo C. Personal Requerido Perforación Horizontal Dirigida

Personal requerido(PHD/DDH)						
Tabla P3-PHD	Item	Descripción	EA	\$ Valor Dia	Tiempo de PDT	\$ Valor Total
	1	Especialista DDH	Profesional	\$ 361.934	37	\$ 13.391.547
	2	Especialista en Fluidos	Profesional	\$ 237.383	37	\$ 8.783.177
	3	Supervisor Mecanico	Profesional	\$ 309.194	37	\$ 11.440.165
	4	Operador Retro Excavadora	Profesional	\$ 279.990	37	\$ 10.359.622
	5	Tecno operador maquina taladro	Profesional	\$ 309.194	37	\$ 22.880.329
	6	HSE operativo Campo	Profesional	\$ 257.924	37	\$ 9.543.183
	7	Mecanico PHD	Profesional	\$ 257.924	37	\$ 9.543.183
	8	Electrico/instrumentacion PHD	Profesional	\$ 257.924	37	\$ 9.543.183
	9	Operador/Tecnico manejo de lodos	Profesional	\$ 279.990	37	\$ 10.359.622
	10	Obreros	No Profesional Convencional	\$ 207.167	37	\$ 15.330.337
	TOTAL			10	\$ 2.159.305	\$ 98.999.623

Anexo D. Personal Requerido Cierre Final de Mantenimiento (PHD)

Tabla P4-PHD		Personal requerido cierre de final de mantenimiento (PHD/DDH)				
Item	Descripción		EA	\$ Valor Día	Tiempo de PDT	\$ Valor Total
1	Ingeniero Ambiental	Profesional	1	\$ 214.887	7	\$ 1.504.207,28
2	Profesional Social-Comunidades	Profesional	1	\$ 224.448	7	\$ 1.571.133,04
3	Supervisor	Profesional	1	\$ 263.576	7	\$ 1.845.031,46
4	Operador Retro Excavadora llantas	Profesional	1	\$ 226.531	7	\$ 1.585.719,69
5	HSE operativo Campo	Profesional	1	\$ 257.924	7	\$ 1.805.466,99
6	Obreros	No Profesional Convencional	8	\$ 207.167	7	\$ 11.601.336,04
TOTAL			13	\$ 1.394.532,21		\$ 19.912.894,50

Anexo E. Maquinaria y Equipos PHD

Tabla P5-PHD		MAQUINARIA/EQUIPOS PHD/Costo estimado por mantenimiento de línea a intervenir				
Item	Descripción		EA	\$ Valor Día	Tiempo de PDT	\$ Valor Total
1	Plataforma de perforación-(rotación y empuje)	Equipo de perforación	1	\$ 2.000.000,00	40	\$ 80.000.000,00
2	Grupo hidráulico (suministro de caudal hidráulico)	Equipo de perforación	1	\$ 1.000.000,00	40	\$ 40.000.000,00
3	Bomba de lodos (inyectar el lodo con alto caudal y	Equipo de perforación	2	\$ 4.000.000,00	40	\$ 320.000.000,00
4	Mezcladora de lodos (Agua+mezcla la bentonita)	Equipo de perforación	1	\$ 2.800.000,00	40	\$ 112.000.000,00
5	Varillaje de perforación (Tiro de rotación y empuje)	Equipo de perforación	1	\$ 1.200.000,00	40	\$ 48.000.000,00
6	Sistema de guiado (onda a la superficie)	Equipo de perforación	1	\$ 280.000,00	40	\$ 11.200.000,00
7	Maquinaria de Thrust/Pullback - Retro Excavadora	Equipo de perforación	2	\$ 980.000,00	40	\$ 78.400.000,00
8	Bus de 30 ea pasajeros	Equipo de perforación	2	\$ 583.333,33	45	\$ 52.500.000,00
9	Vehículos 4x4-Doble cabina	Equipo de perforación	2	\$ 146.666,67	40	\$ 11.733.333,33
10	Carro tanque de 5.000 o 11.000 gal.	Equipo de perforación	2	\$ 583.333,33	40	\$ 46.666.666,67
11	Excavadora de oruga	Equipo de perforación	1	\$ 516.666,67	7	\$ 3.616.666,67
12	Torres de iluminación y/o Planta Estación.	Equipo de perforación	2	\$ 90.000,00	5	\$ 900.000,00
13	Moto Soldador.	Equipo de perforación	2	\$ 45.800,00	21	\$ 1.923.600,00
14	Planta eléctrica.	Equipo de perforación	2	\$ 35.000,00	15	\$ 1.050.000,00
15	Pistola eléctrica de calor.	Equipo de perforación	2	\$ 27.500,00	15	\$ 825.000,00
16	Detector de metales.	Equipo de perforación	1	\$ 42.500,00	15	\$ 637.500,00
17	Hidrolavadora.	Equipo de perforación	1	\$ 35.000,00	15	\$ 525.000,00
18	Bombas electro sumergible.	Equipo de perforación	1	\$ 45.000,00	15	\$ 675.000,00
19	Radios de comunicación para 4unidades	Equipo de perforación	1	\$ 75.000,00	40	\$ 3.000.000,00
TOTAL			28	\$ 14.485.800,00		\$ 813.652.766,67

Anexo F. Personal Requerido Para la Adecuación de Plataformas (ZANJA)

PERSONAL METODO TRADICIONAL ZANJAS-COSTOS ASOCIADOS-MANTENIMIENTO DE LINEAS DE FLUJO GCH-ECP						
Tabla P1	Personal requerido para la adecuación de area en predios, asegurando Apiques (Zanjas)					
Item	Descripción		EA	\$ Valor Día	Tiempo de PDT	\$ Valor Total
1	Ingeniero Residente	Profesional	1	\$ 393.644	92	\$ 36.215.221,50
2	Ingeniero Programador	Profesional	1	\$ 258.523	92	\$ 23.784.132,01
3	Supervisor Mecanico	Profesional Regional	1	\$ 309.194	15	\$ 4.637.904,60
4	Topografo	Profesional	1	\$ 216.883	15	\$ 3.253.241,62
5	Cadenero	No Profesional	1	\$ 178.566	15	\$ 2.678.490,00
6	Operador Retro Excavadora	Profesional Convencional	3	\$ 279.990	12	\$ 10.079.632
7	HSE operativo Campo	Profesional Convencional	1	\$ 257.924	12	\$ 3.095.086,26
8	Operador Camion Grua	Profesional Convencional	1	\$ 279.990	12	\$ 3.359.877,44
9	Aparejador de Grua	Profesional Convencional	1	\$ 224.696	12	\$ 2.696.352,04
10	Oficial de obras	No Profesional Convencional	1	\$ 203.739	12	\$ 2.444.863,11
11	Capataz	No Profesional Convencional	1	\$ 167.059	12	\$ 2.004.712,18
12	Conductor de Bus	No Profesional Convencional	2	\$ 170.006	12	\$ 4.080.133,11
13	Obreros	No Profesional Convencional	8	\$ 207.167	12	\$ 19.888.004,64
TOTAL			23			\$ 98.329.646,20

Anexo G. Personal Requerido API. Construcción Lingada y Facilidades (ZANJA)

Tabla P2	Personal requerido API-Contruccion de Lingada & Facilidades (Zanjas)					
Item	Descripción		EA	\$ Valor Día	Tiempo de PDT	\$ Valor Total
1	Soldadores IA-API	No Profesional	2	\$ 306.268	35	\$ 21.438.750,48
2	Tubero	No Profesional	1	\$ 249.360	35	\$ 8.727.601,44
3	Ayudante Tecnico	Profesional Convencional	6	\$ 224.696	35	\$ 47.186.160,63
4	Operador Retro Excavadora	Profesional Convencional	2	\$ 279.990	35	\$ 19.599.285,09
5	operador vibrocompator	Profesional Convencional	1	\$ 265.012	35	\$ 9.275.423,40
6	HSE operativo Campo	Profesional Convencional	2	\$ 257.924	35	\$ 18.054.669,85
7	Operador Camion Grua	Profesional Convencional	1	\$ 279.990	35	\$ 9.799.642,55
8	Aparejador de Grua	No Profesional Convencional	1	\$ 224.696	35	\$ 7.864.360,11
10	Obreros	No Profesional Convencional	6	\$ 207.167	35	\$ 43.505.010,15
11	Operador de Buldócer	No Profesional Convencional	1	\$ 279.990	35	\$ 9.799.642,55
12	Pintor Sanblastero	No Profesional Convencional	2	\$ 241.686	35	\$ 16.918.035,47
TOTAL			23	\$ 2.575.091,94		\$ 195.250.546,25

Anexo H. Personal Requerido Adecuación Zanjas Para Instalar Tubería

Tabla P3	Personal requerido adecuación Zanjas para instalar tubería					
Item	Descripción		EA	\$ Valor Día	Tiempo de PDT	\$ Valor Total
1	Supervisor Mecanico	Profesional Regional	1	\$ 309.194	92	\$ 28.445.814,88
2	Supervisor Civil	Profesional Regional	2	\$ 263.576	92	\$ 48.497.969,68
4	Operador Retro Excavadora	Profesional	2	\$ 279.990	37	\$ 20.719.244,24
6	HSE operativo Campo	Profesional	1	\$ 257.924	40	\$ 10.316.954,20
10	Obreros	No Profesional Convencional	12	\$ 207.167	40	\$ 99.440.023,20
TOTAL			18	\$ 1.110.683,20		\$ 207.420.006,20

Anexo I. Personal Requerido Cierre Final de Mantenimiento (ZANJA)

Tabla P4 Personal requerido cierre de final de mantenimiento (Zanjas)						
Item	Descripción		EA	\$ Valor Día	Tiempo de PDT	\$ Valor Total
1	Ingeniero Ambiental	Profesional	1	\$ 214.887	15	\$ 3.223.301,31
2	Profesional Social-Comunidades	Profesional	1	\$ 224.448	15	\$ 3.366.720,00
3	Supervisor Mecanico	Profesional	1	\$ 309.194	15	\$ 4.637.904,60
4	Operador Retro Excavadora	Profesional	1	\$ 226.531	15	\$ 3.397.970,76
5	HSE operativo Campo	Profesional	1	\$ 257.924	15	\$ 3.868.857,83
6	Obreros	No Profesional Convencional	6	\$ 207.167	15	\$ 18.645.004,35
TOTAL			5	\$ 1.232.983,63		\$ 18.494.754,50

Anexo J. Maquinaria y Equipos ZANJA

Tabla P5 MAQUINARIA/EQUIPOS(Zanjas)						
Item	Descripción		EA	\$ Valor Día	Tiempo de PDT	\$ Valor Total
1	Retro Excavadora Orugada		1	\$ 433.333,33	45	\$ 19.500.000,00
2	Vibrocompactador		2	\$ 316.666,67	45	\$ 28.500.000,00
3	Retro Excavadora de llantas		6	\$ 333.333,33	45	\$ 90.000.000,00
4	Motobombas Autocebantes de 6"		4	\$ 260.000,00	45	\$ 46.800.000,00
5	Motobombas Autocebantes de 4"		2	\$ 50.000,00	45	\$ 4.500.000,00
6	Tractor 7500		2	\$ 250.000,00	45	\$ 22.500.000,00
7	Camion Grua		4	\$ 573.333,33	45	\$ 103.200.000,00
8	Turbo NKR/NPR Doble cabina		2	\$ 191.666,67	45	\$ 17.250.000,00
9	Cama baja/alta		2	\$ 1.720.000,00	45	\$ 154.800.000,00
10	Volquetas de 12m3		2	\$ 680.000,00	45	\$ 61.200.000,00
11	Volquetas de 6m3		3	\$ 425.000,00	45	\$ 57.375.000,00
12	Bus de 30 ea pasajeros		2	\$ 350.000,00	45	\$ 31.500.000,00
13	Vehiculos 4x4-Doble cabina		2	\$ 133.333,33	45	\$ 12.000.000,00
14	Bombas electro sumergible.		1	\$ 30.000,00	45	\$ 1.350.000,00
15	Radios de comunicación		6	\$ 15.666,67	45	\$ 4.230.000,00
TOTAL			27	\$ 4.808.333,33		\$ 548.250.000,00