



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Mecánica Industrial

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DE MANGUERAS  
HIDRÁULICAS PARA UN GRUPO DE PERFORADORAS HORIZONTALES DE UNA  
EMPRESA DEDICADA A LA REALIZACIÓN DE MUROS DE CONTENCIÓN EN EL SECTOR  
METROPOLITANO**

**José Guillermo Meléndez Menéndez**

Asesorado por el MSc. Ing. Gustavo Adolfo Perdomo Avendaño

Guatemala, febrero de 2023



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DE MANGUERAS  
HIDRÁULICAS PARA UN GRUPO DE PERFORADORAS HORIZONTALES DE UNA  
EMPRESA DEDICADA A LA REALIZACIÓN DE MUROS DE CONTENCIÓN EN EL SECTOR  
METROPOLITANO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JOSÉ GUILLERMO MELÉNDEZ MENÉNDEZ**  
ASESORADO POR EL MSC. ING. GUSTAVO ADOLFO PERDOMO  
AVENDAÑO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2023



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martinez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz Gonzáles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Godínez Orozco
EXAMINADOR	Ing. Julio Oswaldo Rojas Argueta
EXAMINADOR	Ing. Cesar Ernesto Urquizú Rodas
SECRETARIO	Inga. Lesbia Magalí Herrera López



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DE MANGUERAS  
HIDRÁULICAS PARA UN GRUPO DE PERFORADORAS HORIZONTALES DE UNA  
EMPRESA DEDICADA A LA REALIZACIÓN DE MUROS DE CONTENCIÓN EN EL SECTOR  
METROPOLITANO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 06 de noviembre de 2022.

**José Guillermo Meléndez Menéndez**





ESCUELA DE ESTUDIOS DE  
**POSTGRADO**  
FACULTAD DE INGENIERÍA

https://postgrado.mecanica.usac.edu.gt

EEPFI-PP-1519-2022

Guatemala, 6 de noviembre de 2022

**Director**  
**César Ernesto Urquizú Rodas**  
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial  
Presente.

**Estimado Ing. Urquizú**

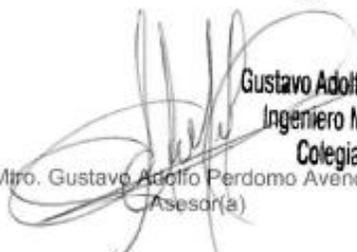
Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

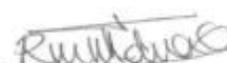
El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DE MANGUERAS HIDRULICAS PARA UN GRUPO DE PERFORADORAS HORIZONTALES DE UNA EMPRESA DEDICADA A LA REALIZACIÓN DE MUROS DE CONTENCIÓN EN EL SECTOR METROPOLITANO**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Gestión del Mantenimiento - Control de efectividad de mantenimiento basado en indicadores (disponibilidad, tiempo entre fallas, criticidad, tiempo medio entre fallas, entre otros)**, presentado por el estudiante **José Guillermo Meléndez Menéndez** carné número **201325537**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Ingeniería De Mantenimiento.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

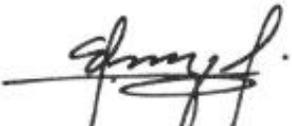
Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
**Gustavo Adolfo Perdomo Avendaño**  
Ingeniero Mecánico Industrial  
Colegiado No. 19,400  
Mtro. Gustavo Adolfo Perdomo Avendaño  
Asesor(a)

  
**Mtra. Rocío Carolina Medina Galindo**  
Coordinador(a) de Maestría



  
**Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí**  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

EEP-EIMI-1292-2022

El Director de la Escuela Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DE MANGUERAS HIDRÁULICAS PARA UN GRUPO DE PERFORADORAS HORIZONTALES DE UNA EMPRESA DEDICADA A LA REALIZACIÓN DE MUROS DE CONTENCIÓN EN EL SECTOR METROPOLITANO**, presentado por el estudiante universitario José Guillermo Meléndez Menéndez, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. César Ernesto Urquizú Rodas  
Director  
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, noviembre de 2022



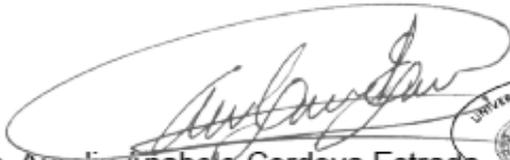


Decanato  
Facultad de Ingeniería  
24189101- 24189102  
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.170.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DE MANGUERAS HIDRÁULICAS PARA UN GRUPO DE PERFORADORAS HORIZONTALES DE UNA EMPRESA DEDICADA A LA REALIZACIÓN DE MUROS DE CONTENCIÓN EN EL SECTOR METROPOLITANO**, presentado por: **José Guillermo Meléndez Menéndez**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada  
Decana

The official stamp of the Decana of the Faculty of Engineering. It is an oval-shaped stamp containing the text 'UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA' at the top, 'DECANA FACULTAD DE INGENIERÍA' in the center, and a small star at the bottom.

Guatemala, febrero de 2023

AACE/gaoc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por haberme permitido alcanzar una más de mis metas y brindado la sabiduría para seguir.
- Mis padres** Mynor Meléndez y Ana Menéndez, por haberme traído al mundo y guiado a través de él, mi eterno agradecimiento por su apoyo para hacer realidad este sueño.
- Mis hermanos** Pablo y Karen Meléndez, por su apoyo y compañía durante mi vida.
- Mi esposa** Rocío Monterroso, por su amor y apoyo incondicional durante todo este tiempo para poder alcanzar esta meta.
- Familia y amigos** Mis tíos, cuñados, suegros, sobrinos.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser la <i>alma mater</i> que me permitió nutrirme de conocimientos.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por proporcionarme los conocimientos que me han permitido realizar este trabajo de graduación.
<b>Empresa Maquisa</b>	Por haberme brindado la información necesaria y apoyo para realizar este diseño de investigación.
<b>Mis amigos</b>	Por haberme acompañado durante la carrera.
<b>Mi asesor</b>	MSc. Ing. Gustavo Perdomo, por haberme guiado durante el trabajo de graduación.
<b>Familia y amigos en general</b>	Quienes me acompañaron a lo largo de la licenciatura y maestría.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	9
3.1. Descripción del problema .....	9
3.2. Delimitación del problema .....	10
3.3. Formulación de preguntas orientadoras .....	10
3.3.1. Pregunta central .....	10
3.3.2. Preguntas auxiliares .....	10
4. JUSTIFICACIÓN .....	13
5. OBJETIVOS .....	15
5.1. General.....	15
5.2. Específicos .....	15
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	17
7. MARCO TEÓRICO.....	19

7.1.	Industria de la construcción.....	19
7.1.1.	Obra civil .....	19
7.1.2.	<i>Soil nailing</i> .....	20
7.2.	Máquinas de perforación.....	21
7.2.1.	Máquinas para perforación de muros de contención .....	22
7.2.2.	Perforadora IPC 830 L .....	22
7.3.	Mantenimiento.....	23
7.3.1.	Clasificación del mantenimiento .....	24
7.3.1.1.	Mantenimiento correctivo .....	24
7.3.1.2.	Mantenimiento preventivo .....	25
7.3.1.3.	Mantenimiento proactivo .....	26
7.3.1.4.	Mantenimiento de clase mundial .....	26
7.3.2.	Monitoreo de condición .....	27
7.3.2.1.	Inspecciones VOSO .....	29
7.3.2.2.	Análisis de aceite .....	31
7.4.	Hidráulica .....	33
7.4.1.	Sistema hidráulico .....	33
7.5.	Criticidad de activos .....	33
7.5.1.	Indicadores de desempeño .....	34
7.5.2.	Disponibilidad .....	37
7.5.3.	Confiability.....	38
7.5.4.	Tiempo medio entre fallas .....	39
7.5.5.	Tiempo medio de reparación.....	40
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	41
9.	METODOLOGÍA .....	43
9.1.	Tipo de estudio.....	43

9.2.	Variables e indicadores .....	43
9.3.	Fases.....	44
9.4.	Población de análisis.....	45
9.5.	Resultados esperados.....	45
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS .....	47
11.	CRONOGRAMA.....	49
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	51
13.	REFERENCIAS.....	53
	APÉNDICES .....	59



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Esquema de solución .....	18
2.	Representación de <i>soil nailing</i> .....	20
3.	Perforadora IPC 830 .....	23
4.	Monitoreo de condición Norma ISO 17359 .....	29

### TABLAS

I.	Ficha descriptiva de la máquina.....	22
II.	Operativización de variables.....	43
III.	Cronograma de actividades .....	49
IV.	Detalle de costos de factibilidad.....	51



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
%	Porcentaje
Q	Quetzales



## GLOSARIO

<b>Activo</b>	Cualquier recurso que tiene un valor, un ciclo de vida y genera un flujo de caja.
<b>Disponibilidad</b>	Refleja el porcentaje real de utilización de los equipos cuya magnitud al ser comparada con un nivel de referencia puede estar señalando una desviación sobre la cual se toman acciones preventivas o correctivas.
<b>Fiabilidad</b>	Probabilidad de que un sistema, aparato o dispositivo cumpla una determinada función bajo ciertas condiciones durante un tiempo determinado.
<b>Frecuencia</b>	Es la medida del número de veces que se repite un fenómeno por unidad de tiempo.
<b>Indicador de gestión</b>	Expresión cuantitativa del comportamiento y desempeño y de un proceso.
<b>Mantenimiento</b>	Conjunto de técnicas y sistemas que permiten prever las averías, efectuar las revisiones, engrases y reparaciones eficientes.

**Sistema**

Conjunto de equipos instalados en secuencia que conforman una sola línea de maquinaria de producción.

**VOSO**

Rutas de inspección de mantenimiento utilizando los sentidos del cuerpo (ver, oír, sentir, oler).

## RESUMEN

La realización de muros de contención dentro del sector metropolitano se ha vuelto una actividad muy importante y necesaria para la construcción además de las personas y lugares que se benefician de este tipo de trabajo, ya que prevé que se produzcan derrumbes que afectan en diferentes puntos de vista a toda la población.

Para la realización de este tipo de muros de contención se utilizan diversidad de tipos de maquinaria, las cuales varían en tamaños y capacidades, algunas de las más utilizadas son las máquinas de perforación horizontal, las cuales tienen capacidades de perforación muy grandes.

Debido a que la realización de los muros de contención es un trabajo muy importante y también delicado se precisa que las máquinas que se utilizan para llevar a cabo dicho trabajo se encuentren en las mejores condiciones posibles y debido a ello se ha hecho un análisis en el cual se ha encontrado que una de las fallas más comunes es la rotura de las diferentes mangueras hidráulicas.

En el presente trabajo se presentan un plan de monitoreo de condición para prevenir la falla constante de las máquinas de perforación horizontal por dicho problema, el cual ayudará a que se eviten paros inesperados y se pueda mejorar la confiabilidad y disponibilidad de la maquinaria en mención.



# 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo constituye una sistematización ya que se pretende ordenar y establecer un plan de mantenimiento para obtener el beneficio de mejorar la disponibilidad y confiabilidad de la maquinaria en estudio.

El problema que se presenta es la constante falla de las máquinas de perforación horizontal de la empresa al trabajar en obras de construcción. La consecuencia de ello ha sido las paradas no programadas para reparación de las mismas lo que provocó costos de mantenimiento inesperados o demasiado elevados y debido a ello también se producen retrasos en las obras porque se genera una mala producción en los trabajos de perforación.

La importancia de la solución es obtener un procedimiento de mantenimiento para las mangueras hidráulicas para el grupo de perforadoras horizontales. La implementación de ello beneficiará a que se mejoren los trabajos de perforación en las obras. Ello se debe a que se tendrá una reducción de las fallas en las mangueras de las máquinas perforadoras y mayor disponibilidad para trabajar por parte de las mismas esto también permitirá evitar los atrasos en las obras. Indirectamente se tendrá menor reparación de las máquinas perforadoras y menores costos de mantenimiento para la empresa.

El aporte pretende cubrir las necesidades de mejorar la disponibilidad y confiabilidad de las máquinas y reducir las fallas que presentan durante los trabajos de perforación, determinar las fallas más críticas para mejorar el mantenimiento y con ello poder cumplir con los contratos de trabajo que se tienen, controlando las paradas para mantenimiento y regulando los costos.

Los resultados esperados pretenden disminuir la cantidad de reporte de fallas en las máquinas de perforación frontal de la empresa. Al desarrollar el plan de mantenimiento de mangueras hidráulicas se identificará las fallas más recurrentes y de un mismo tipo, y ello servirá de base para determinar si las máquinas que presentan fallas más recurrentes son afectadas por el tipo de mantenimiento utilizado actualmente, el uso inadecuado o la obsolescencia de las mismas.

El esquema de solución propone definir las causas de fallas mediante a observación directa toma de datos los cuales se presentarán en diagramas, categorizar la criticidad de las fallas y realizar un registro de la frecuencia de las fallas para determinar el plan de mantenimiento adecuado para las mangueras hidráulicas de la perforadora IPC 830 L.

La elaboración de la investigación es factible en función a que se cuenta con los permisos por parte del Gerente General para llevar a cabo la investigación además de los permisos para acceso a la unidad de análisis que es la máquina IPC 830 L, los recursos físicos estarán disponibles por parte de la empresa.

En el marco teórico, se fundamenta en el funcionamiento adecuado de la máquina IPC 830 de una empresa dedicada a la realización de contención de muros, se dan a conocer los criterios y definiciones de mantenimiento que se utilizarán para llevar a cabo el plan propuesto.

## 2. ANTECEDENTES

Cruz (2020) llevó a cabo una investigación para definir un plan de mantenimiento que aumentará la disponibilidad de las máquinas perforadoras marca Reddrill SK12 las cuales tenían una muy baja disponibilidad. Por medio de la observación directa de las máquinas y entrevista con el operador se tomó muestra de 4 perforadoras del mismo modelo y 5 supervisiones en cada uno lo que logró obtener que el sistema del motor diésel y el sistema eléctrico de las máquinas tenían una condición crítica. Ello conllevó a tener la necesidad de mejorar o proponer mejoras al plan de mantenimiento actual. La aportación metodológica que se obtuvo es el planteamiento de un plan de manutención o para toda la flota de las perforadoras con él se obtuvo y se comprobó que se lograron aminorar los defectos o las fallas hasta un 38.46 % lo que conllevó a que aumentara la disponibilidad de las perforadoras marca Reddrill.

Tarrillo (2020) expone una propuesta para un plan de manutención de activos preventivo en maquinaria pesada de la industria Construcción y Administración S, A. Por medio de observación directa e investigación de campo y con los manuales de cada máquina se encontró que se utiliza puramente mantenimiento correctivo para solucionar las fallas de la maquinaria. Su investigación precisa establecer un plan de manutención para mejorar la confiabilidad y la disponibilidad de las máquinas y conocer las más críticas. El aporte metodológico que se presentó es un plan de manutención de activos preventivo el cual está basado en los manuales del fabricante el cual al realizar una evaluación determinó que se puede adquirir un TIR del 25 %.

Condori (2019) propone un plan de monitoreo basado en la condición para los componentes de una pala eléctrica con mayor frecuencia de falla. Por medio de observación directa en campo utilizando fichas de registro e instrumentos de medición se analizaron siete palas eléctricas. El aporte metodológico es un plan de mantenimiento enfocado en la condición basado en estudio de vibraciones, termografía, ultrasonido y estudio de la condición del aceite, en el plan se determina los componentes a inspeccionar, la frecuencia del monitoreo además de determinar por medio del desarrollo del plan que su activo más crítico es el modelo P&H 400 XCP.

Gamero (2019) llevó a cabo una comparación entre un plan de mantenimiento preventivo ya utilizado y TPM para una industria que se dedica a la perforación de anclajes y realización de muros anclados. Por medio de examinación visual directa y el registro de las fallas y paradas se concluyó que es necesario mejorar el rendimiento del trabajo en la ejecución de las tareas de perforación además que se ubicaron deficiencias en el plan actual. Ello conlleva a determinar la necesidad de la ejecución de un plan de mantenimiento productivo total que pueda brindar los resultados esperados. El aporte metodológico que se presentó es un programa de mantenimiento productivo total, con el cual se logró aumentar la productividad hasta un 9 %, la eficiencia en un 7 % y eficacia en un 5 %.

De la Cruz (2019) presentó el diseño de plan de mantenimiento predictivo para lograr disminuir la frecuencia de fallas en maquinaria pesada dentro de una empresa que se dedica al montaje y transporte. Por medio de la técnica de observación directa se determinó que la institución presenta carencias en la planificación del mantenimiento que realiza y que además no cuenta con un plan determinado de mantenimiento predictivo lo que ha conllevado a que existan paradas de mantenimiento inesperadas con alta frecuencia. Por ello se determinó

una ruta crítica para establecer la prioridad de las máquinas, clasificar fallas y poder diseñar una rutina de mantenimiento adecuada. El aporte metodológico es un plan de mantenimiento predictivo que ofrece una mejora continua y reducción de paros inesperados lo que logró con ello beneficios económicos y una mejor confiabilidad en las máquinas.

Llanllaya (2019) llevó a cabo la propuesta de un plan de control de calidad y mantenimiento preventivo de la maquinaria para minería modelo SBM 700. Por medio de análisis del equipo y observación directa se determinó que el conjunto de soluciones a los problemas del sistema de perforación de la SBM 700 se ha limitado, principalmente, a la fuente de energía y a los sistemas electrohidráulicos. El enfoque recomendado para solucionar los posibles problemas que pudieran ocurrir es evitar en primer lugar los errores triviales que suelen cometerse y segundo referirse al plan de mantenimiento propuesto. El aporte metodológico es un programa de mantenimiento apropiado para regular y reducir los problemas de funcionamiento de sus equipos.

Llanera (2019) planificó un estudio de investigación y análisis para la administración del mantenimiento, enfocado hacia las empresas que se dedican al servicio de movimiento de tierras, renta, alquiler y/o venta de maquinaria pesada, centrándose en la planificación y desarrollo de la planeación de mantenimiento RCM. El incremento de la demanda en el sector de la construcción provoca que las empresas deseen brindar un mejor servicio y mejorar la calidad de sus máquinas, teniéndose la mayor parte del tiempo en las mejores condiciones operativas y con disponibilidad para responder a la demanda. A través de investigaciones, estudios y análisis se definió una planeación de manutención centrada en confiabilidad para definir las principales acciones y procesos que se deben ejercer. El aporte metodológico que se obtuvo es puesto en práctica y utilización de las 7 preguntas necesarias para el mantenimiento

RCM y con ello determinar un mejor plan de mantenimiento y acrecentar la disponibilidad y confiabilidad de los activos de las empresas.

Pacheco (2018) realizó una recomendación para implementar un sistema de administración de mantenimiento enfocado en RCM enfocado en aminorar la regularidad de presencia de fallas en maquinaria pesada. Por medio de investigación de campo y desarrollo se identificó que existían alrededor de 334 fallas equivalentes a 1,454 horas de paros en el periodo de febrero 2014 a julio 2016. Ello conlleva a tener la necesidad de una mejor administración del plan actual por medio de realizar un análisis costo beneficio de la recomendación y se obtuvo que este era positivo ya que la pérdida monetaria era de varios miles de dólares. El aporte metodológico es el sistema de administración que permitirá gradualmente disminuir las fallas de la maquinaria, lo que logró aumentar su disponibilidad y aminorar los costos de operatividad además de mejorar el tiempo de vida de las máquinas.

Leon (2018) estableció una propuesta de análisis para determinar los adecuados lineamientos para el mantenimiento preventivo de las máquinas que producen altos costos de mantenimiento correctivo. Por medio de la utilización de un cuestionario con utilización de escala de Likert tipo 5 se obtuvo un coeficiente de correlación de Pearson, por medio de un análisis de regresión lineal se determinó la relación que existe entre la utilización del plan preventivo y la eficacia de la maquinaria. El aporte metodológico que se obtuvo son las variables de correlación que apoyaron a definir un valor que establece que una mejor propuesta en el mantenimiento preventivo provoca un cambio en la eficacia de la máquina de hasta un 30.7 %.

Fernández y Shkiliova (2015) llevaron a cabo la ejecución de un estudio que permite calcular los indicadores de mantenimiento asociados a ciertos tipos

de tractores. Por medio de la observación directa y registro de la información a través de unas determinadas tarjetas de control basadas en el registro de consumo de combustible y uso de lubricantes de las máquinas. A través de las tarjetas se recabó información mensual sobre el tiempo real de trabajo ejecutado, regularidad de fallas y el periodo de paro a causa de estas, se calculó por mes y año, para cada máquina, los valores de indicativos del MTTB, MTTR y disponibilidad de equipos.

Ello conlleva a poder conocer los valores medios de disponibilidad de los tractores encontrando valores muchos menores al 80 % por lo que se determinó una baja la disponibilidad de los activos como repercusión de características como el diseño y construcción; la calidad de los mantenimientos y reparaciones realizadas, así como la adquisición de repuestos y materiales para llevarlos a cabo. El aporte metodológico es la obtención de diversos indicadores de mantenimiento para que puedan definir la disponibilidad de un equipo y poder analizar los factores que provocan la baja disponibilidad para aumentar la misma.



### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El problema es la constante falla de las mangueras hidráulicas de las máquinas de perforación horizontal marca IPC modelo 830L en una empresa que se dedica a la elaboración de muros de contención. El mismo afecta a los encargados de obra y operadores porque se generan atrasos en las obras de construcción. El problema ocurre durante la jornada laboral en el sector metropolitano de Guatemala y se cuenta con registro de las fallas desde enero de 2018. Las obras de construcción no cuentan con otra máquina de respaldo.

#### **3.1. Descripción del problema**

Debido a que las máquinas pasan expuestas a la intemperie todo el día y además tienen demasiadas horas de uso, las mangueras han entrado en periodo de obsolescencia o deterioros prematuros. Se ha detectado la mala operación de las mismas además de la falta e inadecuado mantenimiento de la maquinaria. La consecuencia de ello ha sido las paradas no programadas para reparación de las mismas, cambio de mangueras hidráulicas y pérdidas de aceite, lo que provocó costos de mantenimiento inesperados o demasiado elevados y debido a ello también se producen retrasos en las obras porque se genera una mala producción en los trabajos de perforación.

Para el problema mencionado se propone un plan de mantenimiento en las mangueras hidráulicas de las máquinas perforadoras IPC de la empresa que se dedica a la actividad de realización de muros de contención en el sector metropolitano.

### **3.2. Delimitación del problema**

La propuesta está enfocada en mejorar la disponibilidad y confiabilidad de la maquinaria marca IPC modelo 830 L en base a reducir las fallas que se dan por mangueras hidráulicas en el sector de la construcción específicamente en la elaboración de muros de contención en el sector metropolitano.

### **3.3. Formulación de preguntas orientadoras**

Diseño de investigación del plan de mantenimiento de mangueras hidráulicas para un grupo de perforadoras horizontales de una empresa dedicada a la realización de muros de contención en el sector metropolitano

#### **3.3.1. Pregunta central**

La pregunta central de investigación es ¿Qué plan de mantenimiento para mangueras hidráulicas se puede diseñar para las máquinas de perforación horizontal de la empresa que se dedica a la realización de muros de contención en el sector metropolitano?

#### **3.3.2. Preguntas auxiliares**

Las preguntas auxiliares son:

- ¿Cuáles son las causas de falla en las mangueras de las perforadoras horizontales de la empresa?

- ¿Cuáles son las máquinas de perforación horizontal más críticas en función al tipo de falla?
- ¿Cuál es la diferencia entre la frecuencia de fallas previo y posterior a la implementación del plan de mantenimiento en las máquinas de perforación horizontal?



## 4. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo pertenece a la línea de investigación área administrativa, administración del mantenimiento de la maestría en ingeniería de mantenimiento. La propuesta es importante para los trabajos de perforación de la empresa, porque se tienen constantes reportes de fallas en el grupo de perforadoras horizontales de muros de contención. Ello ha provocado atrasos en las obras de los muros de contención, y repercute en la inconformidad del personal a cargo de la obra y del cliente. Además, debido a las constantes fallas se han generado elevados costos de mantenimiento y fallas que conllevan mucho tiempo de reparación.

El desarrollo de la investigación pretende obtener un procedimiento de mantenimiento para las mangueras hidráulicas para el grupo de perforadoras horizontales. La implementación de ello beneficiará a que se mejoren los trabajos de perforación en las obras. Ello se debe a que se tendrá una reducción de las fallas en las mangueras de las máquinas perforadoras y mayor disponibilidad para trabajar por parte de las mismas esto también permitirá evitar los atrasos en las obras. Indirectamente se tendrá menor reparación de las máquinas perforadoras y menores costos de mantenimiento para la empresa.

Un adecuado y continuo monitoreo de los sistemas eléctricos, hidráulicos y motores de las máquinas perforadoras puede brindar mejor confianza y fiabilidad en la realización de los trabajos de perforación de muros de contención. Como repercusión se disminuye la probabilidad de ocurrencia de una falla catastrófica o accidente.

Además, se puede mejorar la vida útil de las máquinas controlar y reducir los derrames de aceite hidráulico para reducir la contaminación del medio ambiente.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Diseñar un plan de mantenimiento de mangueras hidráulicas para las máquinas de perforación horizontal de una empresa dedicada a la realización de muros de contención en el sector metropolitano.

### **5.2. Específicos**

- Definir las causas de falla en las mangueras hidráulicas de las perforadoras horizontales de la empresa.
- Categorizar la criticidad de las máquinas de perforación horizontal en función a los tipos de fallas.
- Diferenciar la ocurrencia de fallas en las perforadoras frontales posterior a la implementación del plan de mantenimiento.



## **6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN**

En la elaboración de muros de contención se necesita de maquinaria de perforación frontal las cuales para la empresa son de vital importancia ya que sin ellas y su buen funcionamiento no se podría llevar a cabo la elaboración de los muros, debido a ello es necesario que las máquinas tengan la mayor disponibilidad y confiabilidad al momento de trabajar en las obras de construcción, ya esto permite que los trabajos se puedan realizar en el tiempo estipulado para cumplir con los contratos de trabajo además de que el buen funcionamiento un buen plan de mantenimiento evitara paros y costos inesperados.

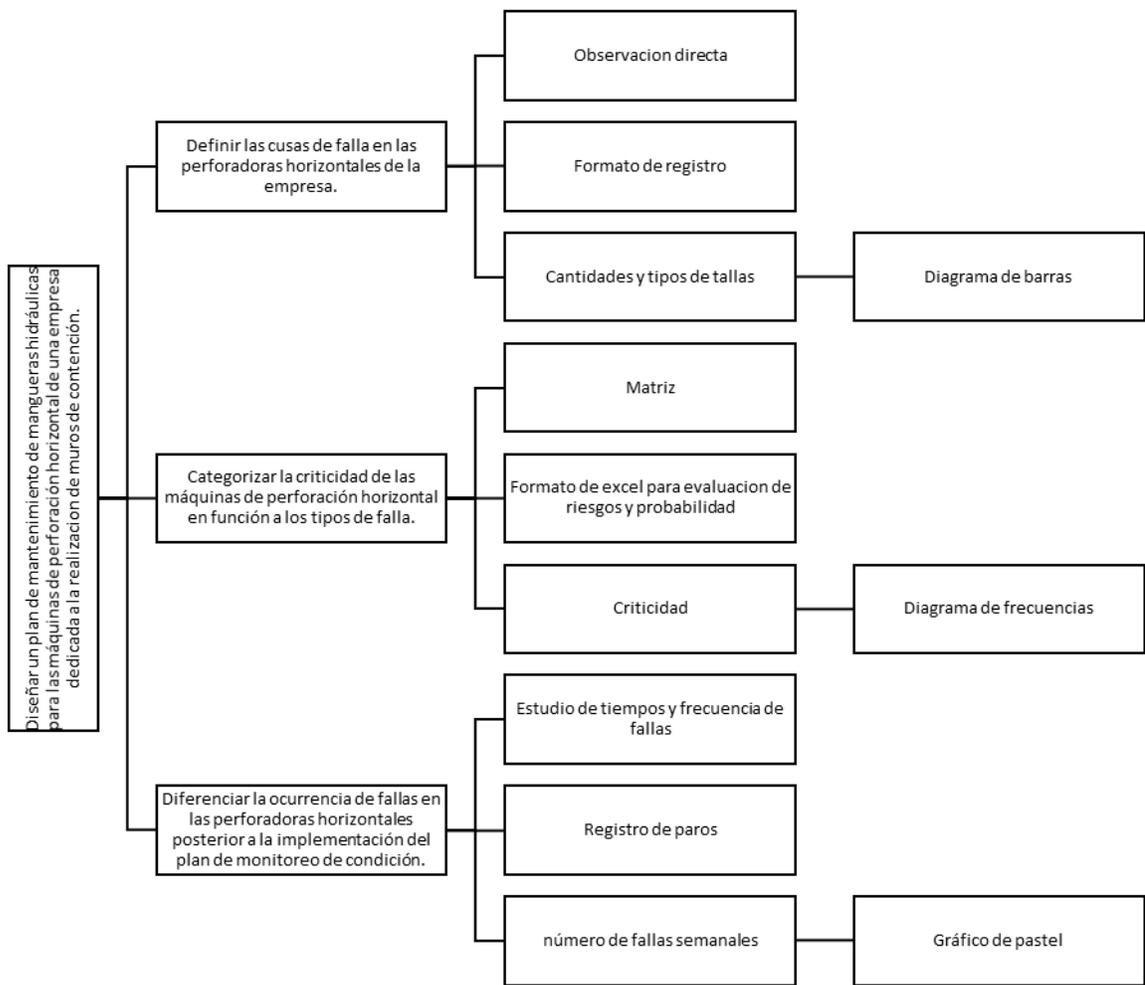
En consideración la investigación propuesta denominada: Plan de mantenimiento de mangueras hidráulicas para un grupo de perforadoras horizontales de una empresa dedicada a la realización de muros de contención en el sector metropolitano

La investigación se considera factible ya que con el plan se reducirán las fallas inesperadas y con ellos los paros en las obras lo cual según los contratos de trabajo puede repercutir en multas económicas por atrasos e incumplimiento de los contratos de trabajo. Mejorar la disponibilidad y confiabilidad en la maquinaria le puede brindar una mejor visión a la empresa para la planificación de los trabajos y también evitar paradas inesperadas que conllevan a gastos de mantenimiento demasiado elevados por la premura en intentar resolverlos.

La validez técnica que tendrá la toma de datos se basa tomar como referencias los valores que detallan los manuales de las máquinas y las

especificaciones de los aceites utilizados, para la toma de datos de temperatura se utilizará un termómetro infrarrojo el cual se verificará que cumpla las especificaciones necesarias y las pruebas de análisis de aceite se llevarán a cabo a través de un laboratorio certificado.

Figura 1. **Esquema de solución**



Fuente: elaboración propia, empleando Word.

## 7. MARCO TEÓRICO

En el presente marco teórico se va a detallar información referente al sector de la construcción, enfocada en la estabilización de muros o *soil nailing*. Se hará un enfoque en el mantenimiento que se debe llevar a cabo sobre la maquinaria de perforación utilizada para llevar a cabo el *soil nailing*, los indicadores que se van a considerar para mejorar la disponibilidad y confiabilidad de la maquinaria en estudio.

### 7.1. Industria de la construcción

El sector de la construcción hoy en día es muy demandado, este se puede enfocar en diversos ámbitos como lo es la geotécnica, la obra civil, entre otros. Para el estudio se hará énfasis en la realización de muros de contención o *soil nailing*.

#### 7.1.1. Obra civil

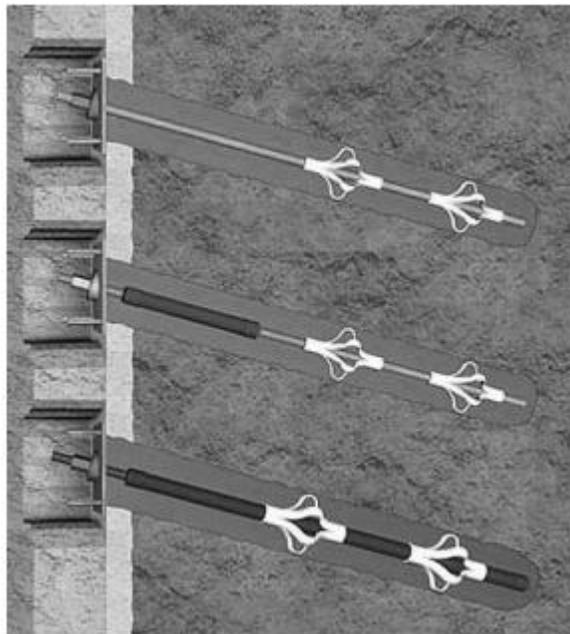
“Está vinculada al desarrollo de infraestructuras para la población. En este caso, el uso del término civil procede de la ingeniería civil, que recibe dicha denominación para diferenciarse de la ingeniería militar” (Porrás, 2015, p. 17)

La obra civil es el conjunto de actividades que conllevan a la ejecución de un proyecto de construcción, geotecnia o movimiento de tierras, o ya sea la realización de muros de contención, está última es la actividad a la cual se dedican las máquinas IPC 830 en estudio.

### 7.1.2. **Soil nailing**

*Soil nailing* es el nombre con el que se le conoce a la realización de muros de contención y refuerzo del mismo, el cual puede llevarse a cabo de forma provisional o permanente. Este proceso se centra en la utilización de un refuerzo metálico dentro de la perforación el cual debe ser seguido por un lanzamiento de concreto a presión. El *soil nailing* es un método para reafirmar y reforzar el suelo *in-situ*.

Figura 2. **Representación de Soil Nailing**



Fuente: Tuozzolo (2003). *Soil nailing: when, where and why a practical guide*.

El proceso del *soil nailing* se describe a continuación:

- Indicar el punto que se debe perforar
- Medición de la inclinación de la máquina

- Colocación de herramienta de perforación
- Realización de perforación
- Colocación del refuerzo metálico o varilla.

Después de que se colocó el refuerzo metálico se debe proceder a realizar una inyección la cual se debe realizar desde el fondo hasta la boca de la perforación, la inyección se realiza con lechada la cual es una mezcla de cemento y agua, realizando la inyección de forma ininterrumpida con una bomba de inyección hasta que la lechada rebose la perforación.

En algunas ocasiones el refuerzo metálico se debe tensar lo cual debe ser efectuado por una persona capacitada y con experiencia en este tipo de trabajos, ya que es un proceso delicado que se debe realizar con mucha rigurosidad; los pasos consisten primero en realizar el montaje del gato hidráulico para tensado sobre el anclaje o refuerzo metálico, después se ejecuta una prueba al anclaje, según los datos del diseño del mismo, cuando se desempeña el proceso de tensado se deben registrar los datos en un formato, los registros obtenidos son lo que sirven para determinar si en anclaje cumple o no con los requerimientos necesarios o establecidos de calidad.

## **7.2. Máquinas de perforación**

Para la realización de trabajos de perforación se utilizan una gran diversidad de máquinas, las cuales varían en características de tamaños, diámetros de perforación, profundidad de la perforación, velocidad, marcas, entre otros.

Las máquinas para perforación horizontal o vertical se utilizan para la realización de pilotes, pozos, drenes de agua, perforación de muros de contención.

### 7.2.1. Máquinas para perforación de muros de contención

La perforadora horizontal es una de las máquinas más utilizadas para la perforación de muros de contención y la realización del *soil nailing*. Es una máquina que está compuesta por un motor estacionario de combustión interna acoplado a una bomba que permite la distribución hacia un sistema hidráulico además de contener un sistema eléctrico para control de electroválvulas, accionamientos o ciertos movimientos específicos. Estas máquinas tienen un sistema de chasis en cadena, dos cadenas paralelas que permiten el movimiento hacia adelante y atrás de las mismas.

### 7.2.2. Perforadora IPC 830 L

A continuación, se muestra la ficha técnica de la máquina perforadora IPC 830 L.

Tabla I. **Ficha descriptiva de la máquina**

<b>Perforadora IPC 830 L</b>	
Origen	Italia
Marca	IPC
Modelo	830 L
Motor	John Deere 4045TF275
Peso	8,000 kg
Potencia	86 KW

Fuente: elaboración propia, empleando Word.

Figura 3. **Perforadora IPC 830 L**



Fuente: [Fotografía de José Meléndez]. (San Isidro zona 16, Guatemala.2022). Colección particular. Guatemala.

### **7.3. Mantenimiento**

Es el conjunto de actividades controladas y evaluadas que a través de la utilización de recursos físicos, humanos y técnicos permiten mejorar la eficiencia del sistema de producción al menor costo disminuyendo fallas imprevistas. Para obtener una mejora en la confiabilidad de los equipos y garantizar la seguridad al personal y sus recursos físicos. (Velázquez, 1992, p. 1)

Mantenimiento son todas aquellas acciones que contemplan conservar, mantener o restablecer los equipos o máquinas a un nivel en el cual puedan cumplir con la aplicación para la que fueron diseñadas o son requeridas. Para concretarse el programa de mantenimiento es necesario combinar acciones técnicas y administrativas de una forma económicamente rentable o favorable según los objetivos de la organización. El mantenimiento se puede medir a través

de indicadores los cuales pueden ser: frecuencia de fallas, costos, estado de los equipos, mano de obra, entre otros.

### **7.3.1. Clasificación del mantenimiento**

Dependiendo del conjunto de técnicas o actividades desarrolladas para prolongar la duración de vida o mejorar la confiabilidad y sostenibilidad de los equipos el mantenimiento se puede clasificar como: correctivo, preventivo, predictivo, preventivo condicional o de clase mundial. Las técnicas o actividades desarrolladas deben cumplir con el objetivo de aumentar lo mayor posible la vida útil del activo y mejorar la disponibilidad.

#### **7.3.1.1. Mantenimiento correctivo**

El mantenimiento correctivo se puede definir como una de las primeras fases de la administración de la manutención de los equipos, el cual está enfocado en corregir todos los imprevistos no deseados que se presentan en activos en el menor tiempo posible. Este tipo de plan se centra en aguardar a que se presente una anomalía para que los técnicos capacitados ejerzan la acción para corregir. “De poco sirven nuestros esfuerzos para tratar de evitar averías sí, cuando éstas se producen, no somos capaces de proporcionar una respuesta adecuada” (García, 2012, p. 157).

Como lo menciona García (2012), las medidas correctivas que se van adoptar deben ser contempladas con antelación, no porque se espera que sucedan, sino para conocer los procesos que se deben seguir al momento que se produzca una falla y no tener proceder de una manera inadecuada o ineficiente.

El mantenimiento correctivo tiene como finalidad la reparación o corrección de fallas que se presenten en los activos, este mantenimiento es la forma más básica de mantenimiento y se basa en ubicar las fallas o defectos de los activos para proceder a repararlos de inmediato. El mantenimiento se ejerce hasta el momento en que alguna falla se presenta. (González, 2005, p. 36)

#### **7.3.1.2. Mantenimiento preventivo**

El mantenimiento predictivo examina, mediante técnicas de análisis predictivas, el estado de los elementos y equipos, estableciendo recomendaciones para intervenir de manera oportuna con labores de mantenimiento, lo que redundará en significativos ahorros de tiempo y, por ende, de dinero. Un sistema de mantenimiento predictivo exitoso debe ser capaz de cuantificar los beneficios obtenidos por sí mismo. (Márquez y Ajuech, 2017, p. 98)

El programa de prevención en el mantenimiento es el que se desarrolla a partir de una planificación de tareas de mantenimiento previamente analizado y establecido con la finalidad de lograr los siguientes resultados: reducir los tiempos muertos de los activos, minimizar los imprevistos no deseados que se presentan, determinar las causas de falla recurrentes para poder eliminarlas, acrecentar la duración de vida de algún bien o activo.

El programa de prevención puede ayudar a reducir costos de energía, mejorar la productividad, disminuir la frecuencia de las intervenciones para reparaciones y colabora a que las tareas de mantenimiento se realicen de la mejor manera posible y con rapidez (Goti, 2008).

### **7.3.1.3. Mantenimiento proactivo**

El mantenimiento proactivo, implica encargarse antes de que las fallas ocurran o al menos tener decidido cómo se procederá en caso de que ocurran. Para que esto sea posible, necesitamos saber de antemano qué eventos pueden ocurrir. Los eventos, en este contexto, serían los modos de fallas. De manera que, si queremos aplicar el mantenimiento proactivo a cualquier activo, debemos tratar de identificar todos los modos de falla que pueden llegar a afectar a dicho bien. Lo ideal sería identificarlos aun antes de que sucedan, o si esto no fuera posible, antes de que vuelvan a suceder. (Moubray, 2004, p. 55)

El plan de anticipación o proactivo se centra en la utilización de métodos predictivos, las acciones están enfocadas en reconocer y delimitar las causas que generan los desperfectos en los activos de una organización. Este tipo de mantenimiento pretende atacar las causas de los problemas y no solamente los efectos.

Para este tipo de mantenimiento podemos hacer uso de las técnicas de ensayo no destructivas entre las cuales tenemos: ultrasonido, rayos x, estudio de vibraciones, termografía infrarroja, pruebas para inspección de aceites, entre otras.

### **7.3.1.4. Mantenimiento de clase mundial**

Este tipo de mantenimiento está caracterizado por la mejora continua en todos sus procesos, se basa en prever o anticiparse a las futuras fallas para así convertir toda clase de reparación en algo planeado que previene las fallas a toda costa.

La utilización del mantenimiento de clase mundial requiere y exige un cambio de actitud y cultura de la organización. Se necesita tener un alto nivel de prevención y planificación, apoyado por un software especializado en mantenimiento, por medio del cual se fijan las metas para llevar a cabo el plan de mantenimiento.

### **7.3.2. Monitoreo de condición**

Esta clase de mantenimiento consiste en recolectar datos sistemáticamente de los parámetros establecidos de los equipos que indican fallos y analizarlos o evaluarlos para determinar o definir la condición de un activo con el fin de que se pueda planear una acción eficiente para mantener la confiabilidad de dicho activo.

Los diversos métodos o técnicas empleadas para el monitoreo de condición pueden ayudar a la empresa a reducir costos de mantenimiento, incrementar la vida útil del activo, aumentar la seguridad del personal, aumentar los ingresos y hasta incrementar la rentabilidad.

El monitoreo de condición es una estrategia con el fin de monitorear las condiciones reales de los activos con el fin de poder decidir que mantenimiento debe emprenderse para prevenir los defectos o fallas. Con esto se puede determinar que las acciones se deben llevar a cabo cuando ciertos valores medidos en los activos muestran una diferencia significativa en el rendimiento o fallas próximas.

El monitoreo basado en condición del estado de una máquina debe llevarse a cabo cuando esta se encuentra en condiciones de operación normal, para estudiar el cambio o evolución de los indicadores o parámetros en estudio

a través del tiempo, procesando los datos obtenidos se puede obtener un patrón o una tendencia la cual indica o da la pauta de la presencia de una falla incipiente.

Para poder implementar y ejercer tareas de monitoreo por condición se deben seguir los siguientes pasos:

- Estructuración del registro para los activos
- Chequear el estado del activo y su criticidad
- Determinar la táctica adecuada de monitoreo de condición para el activo
- Elegir las tecnologías adecuadas para el monitoreo
- Establecer el sistema de monitoreo de condición
- Recolección, interpretación y evaluación de datos
- Definir el método para el mantenimiento

Para determinar o establecer una táctica o estrategia de monitoreo por condición se deben considerar varios criterios relacionados al activo, como lo son la criticidad, confiabilidad, costos, disponibilidad, además de los costos asociados con la carencia de los activos entre otros, sin embargo, se debe considerar que los costos de implementar el plan deben ser menores a los registrados con anterioridad al plan propuesto.

Algo importante que se debe considerar durante el monitoreo de condición es que si el activo en estudio se encuentra dentro de los parámetros o límites establecidos de operación según los requerimientos de la empresa o gerencia se debe considerar que el activo está trabajando de forma correcta ya que cumple con la función para la cual está diseñado o fue adquirido.

Para poder llevar a cabo el monitoreo por condición de los activos se puede utilizar como guía la Norma ISO 17359 la cual brinda o sugiere las pautas

o pasos que se deben considerar para implementar el programa de monitoreo siempre enfocado o alineado con los objetivos de la organización y gerencia. La norma ISO 17359, propone los pasos o guía para el monitoreo de condición los cuales se muestran en la siguiente figura:

Figura 4. **ISO 17359 – Monitoreo de condición**



Fuente: Organización Internacional de Normalización (2018). *Condition monitoring and diagnostics of machines – general guidelines*.

### 7.3.2.1. Inspecciones VOSO

Las inspecciones VOSO son técnicas que se basan en la utilización de los sentidos, estos sentidos son ver, oír, sentir y oler. Este tipo de inspecciones se debe llevar a cabo con los equipos en marcha para poder aplicar las inspecciones o análisis con los sentidos.

Las personas que pueden llevar a cabo estas inspecciones no necesariamente deben ser los técnicos de mantenimiento, estas inspecciones las puede llevar a cabo el operador o alguna otra persona con un poco de sentido común y conocimiento del funcionamiento o condiciones normales.

A continuación, se describe el uso de cada sentido para las inspecciones:

- Ver: sentido del ver nos ayuda a determinar de forma visual alguna condición anormal como una fuga, una fractura, elementos que están rotos o flojos, cambio de color en los equipos, desplazamiento de las máquinas, oxidación y corrosión, verificar limpieza y orden de las áreas, iluminación, estado del suelo y otros materiales más.
- Oír: sentido de oír nos ayuda a determinar ruidos que no deben presentarse en condiciones normales de funcionamiento, vibraciones anormales, condiciones en cuales se requiera reapriete, falla de cojinetes, alguna alarma que se activa o que no se esté activando.
- Sentir: sentido de sentir nos es útil por medio del tacto corroborar lo que los otros sentidos nos presentan, podemos determinar cambios de temperatura en cualquier parte de una máquina o equipo, irregularidades en las superficies, desgaste, oxidación y corrosión.
- Oler: sentido de oler nos es útil para determinar cuándo un equipo está dañado por calentamiento, también para determinar fugas de gases en tuberías, determinar condiciones de aceites, entre otros.

Las inspecciones VOSO son los principios básicos de mantenimiento que con cierto grado de capacitación y experiencia cualquier persona puede llevar a

cabo de una forma correcta con el fin de determinar o anticiparse a alguna falla y poder programar un mantenimiento correctivo o preventivo.

Para llevar a cabo estas rutinas o inspecciones se debe considerar la seguridad e integridad del personal, se deben establecer los pasos correctos para llevar a cabo cada inspección además de brindar el equipo de protección adecuado para proceder con precaución ya que estas inspecciones se deben llevar a cabo con los equipos en funcionamiento.

Así como un plan de mantenimiento se lleva a cabo con frecuencia del mismo modo se debe establecer una rutina de inspecciones VOSO para realizarlas de forma periódica evaluando según las conclusiones que se van obteniendo el tiempo adecuado u óptimo entre cada revisión o inspección para optimizar los recursos que se tiene disponibles especialmente el recurso humano.

### **7.3.2.2. Análisis de aceite**

La inspección de lubricantes es una técnica para analizar el estado interno de los equipos, además de las características del propio lubricante al momento de hacer el análisis. Con este análisis se determina: nivel de degradación del aceite, presencia de elementos contaminantes, grado de desgaste de las piezas.

El fin primordial o función de la lubricación es evitar o disminuir la fricción, prevenir el desgaste por rozamiento de las piezas y evitar el calentamiento de las mismas cuando están en contacto una con otra. Se puede alcanzar este fin por medio de la utilización del lubricante adecuado o recomendado por el fabricante.

El análisis de aceite se lleva a cabo obteniendo una muestra del aceite lubricante que se desea estudiar, las propiedades intrínsecas que se evalúan de

los aceites son: viscosidad, análisis de alcalinidad o acidez, constante dieléctrica, detergencia, humedad, desgaste y contaminación, entre otras.

Los beneficios de aplicar el análisis de aceite son: optimizar la cantidad de lubricante a utilizar, ahorro en costos y manejo de residuos, mejor control y programación del mantenimiento, trabajo ininterrumpido, protección del medio ambiente.

Las diversas técnicas de análisis son:

- Espectro metalografía
- Espectrometría de emisión
- Espectrometría de infrarrojos
- Ferrografía analítica
- Contador de partículas
  - Conteo de partículas óptico (ISO 4407)
  - Conteo de partículas por bloqueo de luz (ISO 11500)
  - Conteo de partículas por bloqueo de poro (ISO BS3406)

Para realizar un análisis de lubricantes se debe considera lo siguiente: laboratorio correcto, conjunto de pruebas correcto, ubicación de muestreo correcta, frecuencia de muestreo correcta, procedimiento de muestreo correcto, equipo de toma de muestreo correcto, límites y objetivos correctos, interpretación de datos correcta.

El análisis de aceite utilizado dentro de la rutina de monitoreo es de mucha utilidad para poder establecer o determinar la condición de vida del aceite y poder optimizar los reemplazos a ejercer de para reducir costos, pero sobre todo es de

mucha utilidad para evitar desgastes en los activos y comprometer su disponibilidad.

#### **7.4. Hidráulica**

La hidráulica es la ciencia que está enfocada en estudiar el comportamiento de los fluidos en función de sus propiedades mecánicas. Los fluidos líquidos se utilizan para poder transmitir energía y con ello lograr el funcionamiento de un sistema o una máquina.

La presión de un fluido puede ser aumentada por medio de una bomba y con ello generar trabajo útil que se puede utilizar en motores o cilindros. Cuando es necesaria mucha fuerza o trabajo un sistema hidráulico es más eficiente que uno neumático ya que el aceite es más uniforme que el aire por lo cual se transmite una presión de manera más rápida y eficiente.

##### **7.4.1. Sistema hidráulico**

Un sistema hidráulico puede estar compuestos de los siguientes componentes: un depósito de aceite, bomba, motor, cilindros, válvulas direccionales, filtros, manómetros de presión y temperatura, acumuladores, caudalímetros, presostatos, calentadores, indicadores de nivel, refrigeradores, mangueras, tuberías y conexiones entre otros.

#### **7.5. Criticidad de activos**

Mendoza (2000), define que para poder determinar una jerarquía o importancia de los activos es necesario llevar a cabo un análisis de criticidad el cual estará en función del impacto que tenga dentro de la planta. Poder definir la

criticidad de los activos con los cuales se cuenta facilitará poder tomar decisiones y centrar la atención en los equipos que más lo necesitan como lo son los equipos críticos.

Para poder determinar o definir el grado de criticidad de los activos se deben considerar los intereses de la organización, la calidad que se desee obtener, objetivos que se desean alcanzar, entre otros, estos factores pueden ser muy variables, pero se debe considerar principalmente la gravedad que representa el activo al momento de fallar para la producción o la empresa en general.

Sin importar los criterios que se establezcan o se utilicen para definir la criticidad de los activos se debe documentar la criticidad ya que siempre los recursos dentro de una organización son finitos. Enfocarse o asignar esfuerzo y recursos a equipos poco críticos puede representar un alto costo de mantenimiento lo cual da una pauta de que no es viable centrarse en esos equipos.

Cuando ya se han determinado y definidos los activos críticos para la organización los recursos necesarios podrán ser bien enfocados hacia estos para que a través del centrarse en ellos se pueda mejorar el rendimiento o proceso en el cual está involucrado dicho activo.

#### **7.5.1. Indicadores de desempeño**

Puertas (2012), en un plan estratégico es de suma importancia establecer los indicadores de desempeño adecuados ya que por medio de estos se puede dar a conocer el estado o situación actual de los activos o la organización. Esto también implica que los indicadores deben ir enfocados hacia la misión, visión y

finalidad o alcances deseados por la organización para tener un buen indicador, pero aún más importante que conocer el indicador es poder ejercer las tareas necesarias para corregir o mejorar.

En un sistema de gestión los indicadores de desempeño sirven como instrumentos para dar a conocer el estado actual de los activos, evaluar el rendimiento de la organización, los logros alcanzados, grado de efectividad del plan de mantenimiento entre otros. No todos los indicadores son útiles al mismo tiempo por eso es importante determinar la utilidad de cada uno para determinar los adecuados o los que más se acoplen a alcanzar los objetivos deseados establecidos por la gerencia o la organización, con ayuda de los indicadores es posible evaluar el grado de cumplimiento o nivel de efectividad de las tareas o planes que se pretenden ejecutar.

A continuación, se detallan los diferentes indicadores de desempeño que se pueden considerar para el respectivo análisis:

- Indicador de planificación: este indicador nos da a conocer el grado de efectividad de aplicación del plan de mantenimiento determinado o utilizado actualmente en los equipos, permite evaluar las tareas o rutinas de mantenimiento y trabajos ejecutados.

Este indicador se va modificando en base al grado en que se reduce el impacto de los defectos o imprevistos de los activos en la organización.

- Indicador de mano de obra: por medio de este indicador podemos determinar e inspeccionar la mano de obra utilizada, se puede conocer la eficiencia, productividad y efectividad de la misma. Por medio de este parámetro indicativo es posible medir el trabajo de los técnicos enfocados

en el plan además de poder equilibrar las cargas de trabajo y optimizar el recurso humano disponible para ejercer las actividades de mantenimiento planeadas.

- Indicador de gestión de mantenimiento: se utiliza este indicador para conocer la condición del estado de la operatividad de los activos, coopera a calibrar el alcance del plan de manutención de los activos definidos. Este indicador se divide en varios indicadores de estado los cuales son MTBF, MTTR, confiabilidad y disponibilidad los cuales son individuales de cada activo en estudio.

Este indicador permite poder establecer una relación entre las variables costo-beneficio las cuales están correlacionadas entre sí, los cuales reflejan la disponibilidad y confiabilidad en los activos.

- Indicador de inventarios: a través de este indicador podemos conocer cómo se encuentra el estado de la bodega o almacén de repuestos, alta o baja rotación, niveles altos o bajos de inventario, insumos y repuestos obsoletos, errores de ingresos o despachos entre otros. Este indicador está muy relacionado parámetros indicativos del plan de manutención ya que uno depende del otro, pero una mala administración del almacén de repuestos puede generar muchos atrasos o incumplimiento en el plan de manutención e incluso puede conllevar hasta tener paros de producción si los que se ven afectados por la falta de repuestos son los equipos decisivos para la organización.
- Indicadores de costos: estos indicadores se centran en dar a conocer el nivel o cantidad de recursos monetarios utilizados en las reparaciones o

mantenimientos, un buen plan de mantenimiento debe conllevar a la reducción de estos indicadores.

### **7.5.2. Disponibilidad**

Los recursos, equipos y demás activos que se tienen dentro de una organización fueron adquiridos con el fin de cumplir con un fin o un propósito específico. Se puede entender como disponibilidad al nivel de tiempo en que dichos activos están disponibles para llevar a cabo las tareas o propósito para el cual fue adquirido. Dicho en otras palabras, la disponibilidad es el periodo en el tiempo en que se puede disponer de los activos con el mejor rendimiento posible.

Un plan programa de manutención de activos va a tener como uno de sus principales enfoques mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los activos e instalaciones, que los defectos o imprevistos que se presentan no afecten de forma grave al equipo y que esta no afecte a otros equipos. El grado de disponibilidad que se tiene de un activo nos da una probabilidad de asegurar el trabajo que podrá llevar a cabo dicho activo cuando sea requerido.

La disponibilidad es por tanto un indicativo a través del cual podemos obtener los datos de las características y habilidades de los activos para desempeñar sus tareas sin inconvenientes. En otras palabras, la disponibilidad se puede estimar como la proporción del tiempo en que un activo se desempeña en las mejores condiciones posibles durante su duración de vida o durante un periodo de tiempo específico. Pérez y Salgado (2012), demarca la ecuación de la siguiente manera:

$$Disponibilidad = \frac{Tiempo\ total - tiempo\ muerto\ total}{Tiempo\ total} * 100\ \% \quad (Ec.1)$$

Donde:

- Tiempo total: es el lapso de tiempo en el que se desea medir la disponibilidad.
- Tiempo muerto total: es el lapso de tiempo en el activo no ha cumplido con sus funciones de operación.

### 7.5.3. Confiabilidad

La confiabilidad es el afianzamiento que se tiene sobre los activos de la organización, es la seguridad de que el activo será capaz de cumplir con las tareas para las cuales fue diseñado y adquirido, sin considerar las intervenciones de mantenimiento no planificado, en otras palabras, la confiabilidad o fiabilidad es el tiempo total que podrá disponerse del activo sin que se presente alguna falla que provoque un paro del activo o una intervención de mantenimiento. Las intervenciones de mantenimiento deben ser planificadas y estas mismas intervenciones son las que garantizan la confiabilidad de los activos, garantizan que el funcionamiento será el adecuado durante el tiempo que sea requerido y de una forma eficiente.

La fiabilidad o confiabilidad se puede determinar con la siguiente fórmula:

$$Fiabilidad = \frac{T. total - horas de mantto.no programado}{T. total} * 100 \% \quad (Ec. 2)$$

Donde:

- T. total: es el lapso de tiempo del período en el que se desea medir la fiabilidad.

- Horas de mantto. no programado: es el lapso de tiempo que se ha designado a llevar a cabo tareas de mantenimiento o reparaciones no programadas.

#### **7.5.4. Tiempo medio entre fallas**

El tiempo medio entre fallas o MTBF (*mid time between failure*) es el lapso de tiempo contabilizado dentro de un periodo en que el activo estuvo disponible sin comparecer alguna falla que amerite la intervención del mismo, logrando cumplir con su función de diseño. De esto podemos deducir que cuando un activo comparece un bajo rendimiento se considera como una falla y, por ende, necesita de una intervención del equipo de mantenimiento.

El MTBF es un indicador que se encarga de dar a conocer la medición del tiempo en que los activos de forma forzada se detienen por algún problema o emergencia producido debido a una falla funcional o algún otro problema que provoque un bajo rendimiento. Se habla de las acciones de mantenimiento no planificadas pero que son necesarias para volver a establecer la operatividad de los activos, para que estos cumplan con los objetivos para los cuales fueron adquiridos.

Para determinar el MTBF se utiliza la siguiente fórmula:

$$MTBF = \frac{\text{Horas totales del periodo}}{\text{Número de paradas}} \quad (\text{Ec. 3})$$

El valor de este indicador debe ser lo más alto posible.

### 7.5.5. Tiempo medio de reparación

Después de que se hace presente una falla o en el lapso de tiempo de un mantenimiento ya programado, el tiempo que conlleva la reparación debe ser medido, esto con el fin de mantener un registro del recurso tiempo que es necesario para realizar las intervenciones de mantenimiento en los activos. Este indicador MTTR (*mid time to repair*) mide el lapso de tiempo en que el equipo está fuera de la línea, fuera producción, fuera de su capacidad de producir el trabajo para el cual está diseñado.

Este indicador conlleva dentro de sí todas aquellas actividades que se desarrollan de una forma anormal al momento de llevar a cabo las tareas de manutención, pueden ser las complicaciones al armar o desarmar, la ubicación del activo o el difícil acceso al mismo, entre otros, tener presente que en este indicador todas aquellas actividades necesarias y que demandan más tiempo de lo esperado para terminar una tarea de mantenimiento.

Para determinar el MTTR se utiliza la siguiente fórmula:

$$MTTR = \frac{\text{Horas totales de parada}}{\text{Número de paradas}} \quad (\text{Ec. 4})$$

El valor de este indicador debe ser lo más bajo posible.

## 8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

### 1. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

#### 1.1. Industria de la Construcción

##### 1.1.1. Obra civil

##### 1.1.2. *Soil nailing*

#### 1.2. Máquinas de perforación

##### 1.2.1. Máquinas de perforación de muros de contención

##### 1.2.2. Perforadora IPC 830 L

#### 1.3. Mantenimiento

##### 1.3.1. Clasificación del mantenimiento

##### 1.3.2. Monitoreo de condición

#### 1.4. Hidráulica

##### 1.4.1. Sistema hidráulico

#### 1.5. Criticidad de activos

##### 1.5.1. Indicadores de desempeño

##### 1.5.2. Disponibilidad

1.5.3. Confiabilidad

1.5.4. Tiempo medio entre fallas

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

## 9. METODOLOGÍA

### 9.1. Tipo de estudio

La investigación se propone bajo un tipo de estudio cuantitativo, en un diseño no experimental de alcance descriptivo. El diseño es no experimental de forma transversal descriptivo. El alcance es descriptivo porque se pretende especificar y conocer las propiedades o condiciones de las máquinas de perforación frontal, se establecerán las variables adecuadas para recabar información de cada una de las fallas que se presentan y que afectan la disponibilidad y eficiencia de las máquinas.

### 9.2. Variables e indicadores

Las variables e indicadores se muestran en la tabla II:

Tabla II. **Operativización de variables**

No.	Variables	Indicadores
1	Análisis de aceite hidráulico	Viscosidad 50 a 68 cSt
2	Temperatura de motor	Entre 80 y 100 °C
3	Estado de mangueras	Bueno a malo
4	Criticidad	Alta, media o baja
5	Disponibilidad	Más del 85 %
6	Fiabilidad	Más de 90 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

### **9.3. Fases**

- Fase 1: revisión documental

Inicialmente se realizará la revisión de documentos escritos sobre la temática. Entre ellos se encuentran tesis, trabajos de graduación, documentos académicos, artículos científicos, fichas técnicas, manuales de operación y mantenimiento, historial de datos.

- Fase 2: trabajo de campo

Se recopilará información sobre el estado de las máquinas de perforación frontal. Se determinará la viscosidad del aceite hidráulico por medio de un análisis del mismo en un laboratorio. En campo se determinará la temperatura de operación del motor y la temperatura del aceite hidráulico por medio de uso de termómetro infrarrojo y se recolectará la información conforme al apéndice III. Los datos se registrarán al inicio de la operación, durante la operación y posterior a la operación de la máquina. Por medio de inspección visual se verificará el estado de condición de las mangueras al identificar fugas, rajaduras, quebraduras y otros.

- Fase 3: trabajo de gabinete

Mediante la información recopilada, se tabulará y graficará las tendencias identificadas. Se utilizará hoja de cálculo de Excel para la actividad y continuamente se tendrá revisión documental de soporte. Se establecerá la frecuencia de fallas (MTTB). En función de las frecuencias y tiempos de reparación se establecerá la criticidad y el tipo de falla en las máquinas de

perforación horizontal. Junto al tipo de falla que se evidencia en cada máquina, se propondrá la importancia de cada máquina y su reparación.

- Fase 4: redacción de documento

Se utilizará la información recopilada y las tendencias mostradas, se procederá a la redacción final del documento de trabajo de graduación.

#### **9.4. Población de análisis**

Se utilizará el 100 % de la población.

#### **9.5. Resultados esperados**

Se pretende disminuir la cantidad de reporte de fallas en las máquinas de perforación frontal de la empresa. Al desarrollar el plan de mantenimiento de mangueras hidráulicas se identificará las fallas más recurrentes y de un mismo tipo, y ello servirá de base para determinar si las máquinas que presentan fallas más recurrentes son afectadas por el tipo de mantenimiento utilizado actualmente, el uso inadecuado o la obsolescencia de las mismas.



## 10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

Para analizar la variable análisis de aceite hidráulico se llevará a cabo la toma de una muestra de aceite del tanque de la máquina, para ello es necesario utilizar el equipo adecuado para la extracción de muestra de aceite hidráulico que proporcionará el proveedor de aceite y luego se procederá a enviar la muestra a laboratorio para su respectivo análisis, con ello se obtendrá la viscosidad del aceite hidráulico y se registrará el mismo en un documento de Excel el cual se analizará por medio de un gráfico de control basado en las especificaciones necesarias de la máquina y las del aceite hidráulico en estudio.

Para analizar la variable temperatura de motor y del aceite hidráulico se llevará a cabo una toma de datos de temperatura del indicador de la máquina, el cual se podrá verificar en ocasiones con un termómetro infrarrojo y se procederá a registrar los datos en un formato de recolección de datos, los datos se utilizarán para registrar el indicador de temperatura de motor y analizar estos mediante medidas de tendencia central y representarlos en un gráfico de dispersión y control.

Para analizar las variables estado de las mangueras hidráulicas se llevará a cabo una inspección VOSO para determinar el estado de las mismas y se procederá a registrar los datos en el formato específico para ello, los datos se utilizarán para determinar si el estado es bueno o malo y se registrarán los resultados mediante un gráfico de dispersión.

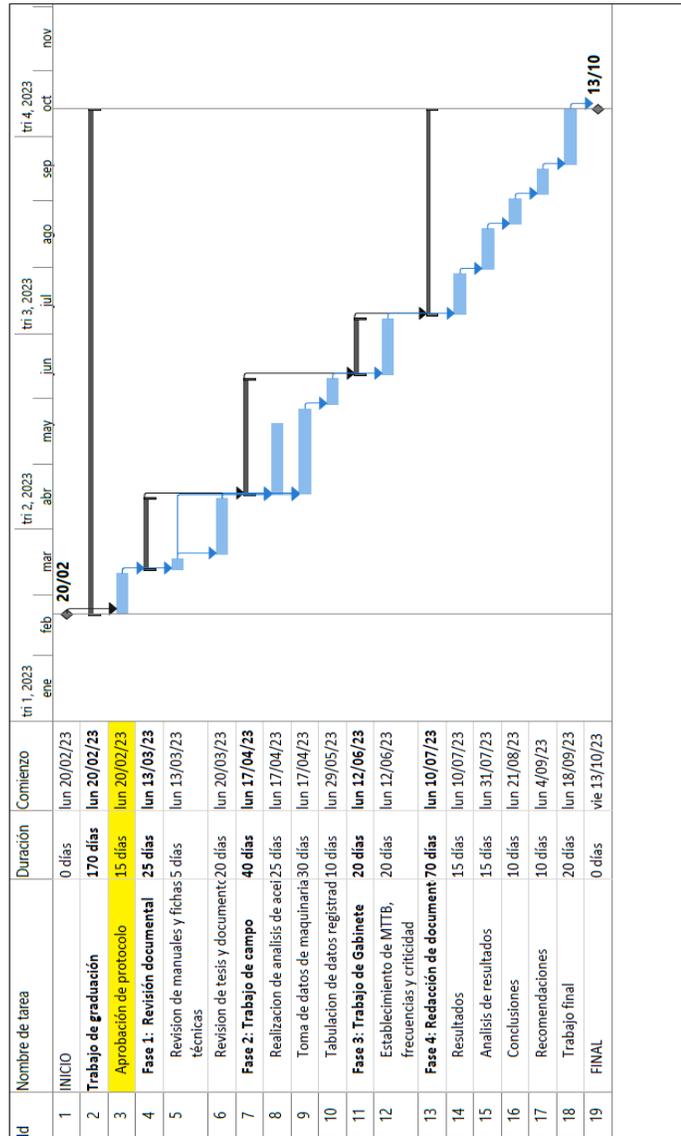
Para analizar la variable criticidad se utilizarán los registros de falla de la máquina los cuales se llevarán un formato de registro de datos, por medio de un

documento de excel se procederá a clasificar las fallas y en base al cálculo del tiempo medio entre fallas, tiempo medio de reparación y el costo monetario que representa cada falla se determinará si la criticidad es alta, media o baja, los valores se representarán mediante un gráfico de barras.

Para analizar las variables disponibilidad y fiabilidad se llevará a cabo el registro del número de paradas en el formato de toma de datos, se verificará el registro del horómetro de la máquina y se calculará el tiempo medio de reparación, los datos se registrarán en un documento de excel en cual se aplicarán las fórmulas respectivas para determinar el porcentaje de disponibilidad y fiabilidad y se representarán estos valores mediante un gráfico de barras.

# 11. CRONOGRAMA

Tabla III. Cronograma de las actividades



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Project.



## 12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Para el desarrollo de la investigación se utilizará como recurso humano un investigador y un controlador de datos, que será el operador de la máquina quien será el encargado del registro y llenado del formato de fallas e inspección. Se cuenta con los permisos por parte del Gerente General para llevar a cabo la investigación además de los permisos para acceso a la unidad de análisis que es la máquina IPC 830 L para la realización de las visitas técnicas por parte del investigador para corroborar datos tomados por el controlador de datos.

Los recursos físicos estarán disponibles por parte de la empresa, como recursos tecnológicos por parte del investigador se utilizará el celular y la computadora, se tendrán como recursos materiales 3 resmas de papel bond e impresiones.

Tabla IV. **Detalle costos de factibilidad**

<b>Recurso humano</b>				
<b>Cantidad</b>	<b>Tiempo/meses</b>	<b>Concepto</b>	<b>Precio/unidad o mensual</b>	<b>Subtotal</b>
1	6	Investigador	Q. 1,200.00	Q. 7,200.00
1	6	Controlador de datos	Q. 500.00	Q. 3,000.00
<b>Recurso físico, tecnológico y materiales</b>				
<b>Cantidad</b>	<b>Tiempo/meses</b>	<b>Concepto</b>	<b>Precio/unidad o mensual</b>	<b>Subtotal</b>
1	6	Depreciación de computadora	Q. 32.00	Q. 192.00
1	6	Depreciación de celular	Q. 15.00	Q. 90.00

Continuación tabla IV.

3	-	Resmas de papel bond	Q. 50.00	Q. 150.00
1	-	impresiones	Q. 300.00	Q. 300.00
		5 % de imprevistos		Q 546.60
		<b>Total</b>		<b>Q 11,478.60</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

La investigación que se llevará a cabo para la empresa que realiza muros de contención en el sector metropolitano a su máquina de perforación frontal IPC 830 L en común acuerdo con el Gerente General, financiará la parte del recurso humano necesario, el investigador financiará los recursos físicos, tecnológicos y materiales.

### 13. REFERENCIAS

1. Avallone, E., y Baumeister III, T. (1995). *Manual del ingeniero mecánico*. México: McGraw-Hill.
2. Bona, J. (1999). *Gestión del mantenimiento*. Madrid, España: Fundación Confemetal.
3. Carnero, M. (2012). *Programas de mantenimiento preventivo*. España: EAE.
4. Condori, E. (2019). *Diseño de un plan de monitoreo basado en la condición (CBM) de una pala eléctrica P&H 4100XPC en una empresa minera del sur del Perú* (Tesis de licenciatura). Universidad Continental, Perú/ Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/327087535.pdf>.
5. Cruz, E. y Pérez, E. (2001). *Sistema de cálculo de indicadores para el mantenimiento*. España: Autor.
6. Cruz, V. (2020). *Mejora del plan de mantenimiento preventivo y su impacto en la disponibilidad de la perforadora sks12 en una empresa minera* (Tesis de licenciatura). Universidad Cesar Vallejo, Perú. Recuperado de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/42801>.

7. De la Cruz, C. A. (2019). *Diseño de un sistema de mantenimiento predictivo, para la reducción de fallas en maquinaria pesada, en una empresa que brinda servicio de montaje y transporte industrial* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/13837/>.
8. Fernández, M. y Shkiliova, L. (diciembre, 2015). *Cálculo de indicadores de mantenimiento de los tractores Belarus-892*. *La Técnica*, (15), 38-45. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6087676>.
9. Gamero, M. (2019). *Aplicación del TPM para mejorar la productividad en el proceso de perforación de la empresa anclajes y cimentaciones del Perú SAC, Villa El Salvador 2019* (Tesis de licenciatura). Universidad Cesar Vallejo, Perú. Recuperado de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/69391>.
10. Garcia, S. (2009). *Ingeniería de mantenimiento: manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento*. España: Autor.
11. García, S. (2012). *Mantenimiento correctivo en centrales de ciclo combinado*. España: Autor.
12. González, F. (2005). *Teoría y práctica del mantenimiento industrial*. España: FC Editorial.
13. Goti, A. (2008). *Sound-based predictive maintenance: a cost-effective approach*. Estados Unidos: Autor.

14. Leon, M. Y. (2018). *Influencia del mantenimiento preventivo en la productividad de la maquinaria pesada del área de operaciones en la empresa Prinsur JCH S.R.L. Ica, 2018* (Tesis de licenciatura). Universidad Cesar Vallejo, Perú. Recuperado de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/30375>.
15. Llanera, C. T. (2019). *Análisis de gestión logística de Mantenimiento en empresas de maquinaria pesada que realizan movimiento de tierras, para el desarrollo de una política de mantenimiento basada en la confiabilidad* (Tesis de licenciatura). Universidad Católica San Pablo, Perú. Recuperado de [http://54.213.100.250/bitstream/UCSP/16055/1/LLERENA\\_BUTRON\\_CAR\\_MAN.pdf](http://54.213.100.250/bitstream/UCSP/16055/1/LLERENA_BUTRON_CAR_MAN.pdf).
16. Llanllaya, J. (2019). *Control de calidad y mantenimiento preventivo del sistema de perforación de la SBM 700* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional de San Agustín, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/9349/IMllhujl.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
17. Márquez, Á, y Ajuech, L. (2017). *Mantenimiento: técnicas y aplicaciones industriales*. España: Grupo Editorial Patria.
18. Mendoza, R. (marzo, 2000). El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional. *Ingeniería mecánica*, 3(4), 13-19.
19. Moubray, J. (2004). *RCM. Mantenimiento centrado en confiabilidad*. Carolina del Norte, Estados Unidos: Aladon LLC.

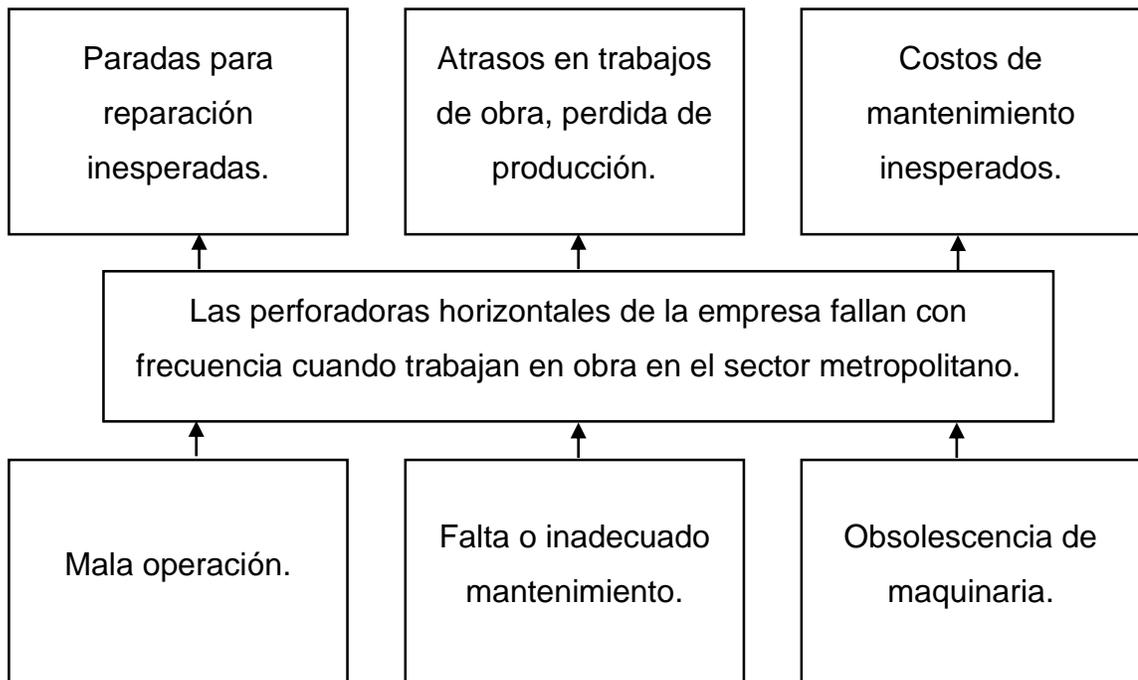
20. Organización Internacional de Normalización (2018). *Condition monitoring and diagnostics of machines – general guidelines*. Ginebra, Suiza: Autor.
21. Pacheco, L. F. (2018). *Propuesta de implementación de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo basado en rcm para la reducción de fallas de la maquinaria de la empresa HYDRO PÁTAPÓ S.A.C.* (Tesis de licenciatura). Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Perú. Recuperado de <https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/1353>.
22. Pérez, C. y Salgado, G. (2012). *Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo programado para equipo pesado y motores fuera de borda del gobierno autónomo descentralizado del Cantón Colta con la utilización de un software* (Tesis de licenciatura). Universidad de Riobamba, Ecuador.
23. Porras, D. (2015). *La planeación y ejecución de obras de construcción dentro de las buenas prácticas de la administración y la programación (Proyecto torres de la 26-Bogotá)* (Tesis de licenciatura). Universidad Católica de Colombia, Colombia.
24. Prando, R. (1996). *Manual de gestión de Mantenimiento a la medida*. Guatemala: Piedra Santa, S.A.
25. Puertas, J. L. (2012). *Gestión de conservación industrial*. Guatemala: Autor.

26. Tarrillo, L. E. (2020). *Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa construcción y administración s. a, provincia de bagua – amazonas* (Tesis de licenciatura). Universidad Politécnica Amazónica, Perú. Recuperado de <https://repositorio.upa.edu.pe/handle/20.500.12897/54>.
27. Trujillo, G. (2003). *Monitoreo de condición - Una estrategia de Integración de Tecnologías*. México: Autor.
28. Tuozzolo, J. (2003) *Soil nailing: when where and why a practical guide*. Estados Unidos: Moretrench.
29. Velásquez, E. (1992). *Administración de Mantenimiento*. Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana.



# APÉNDICES

## Apéndice 1. **Árbol de problemas**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

## Apéndice 2. Matriz de coherencia

No.	Objetivo	Pregunta	Variable
1	Definir las causas de falla en las perforadoras frontales de la empresa.	¿Cuáles son las causas de falla en las perforadoras frontales de la empresa en el sector metropolitano?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis de aceite</li> <li>• Temperatura de motor y aceite hidráulico</li> <li>• Estado de mangueras</li> </ul>
2	Categorizar la criticidad de las máquinas de perforación horizontal en función a los tipos de falla.	¿Cuáles son las máquinas de perforación horizontal más críticas en función al tipo de falla?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipos de fallas</li> <li>• Criticidad</li> </ul>
3	Diferenciar la ocurrencia de fallas en las perforadoras horizontales posterior a la implementación del plan de mantenimiento.	¿Cuál es la diferencia entre la frecuencia de fallas previo y posterior a la implementación del plan de mantenimiento en las máquinas de perforación ?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frecuencia de fallas</li> <li>• Edad de la maquinaria</li> <li>• Tipo de mantenimiento</li> </ul>
G	Diseñar un plan de mantenimiento de mangueras hidráulicas para las máquinas de perforación horizontal.	¿Qué plan de mantenimiento de mangueras hidráulicas se puede diseñar para las máquinas de perforación horizontal?	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

### Apéndice 3. Toma de datos en campo

Termómetro: \_\_\_\_\_

Técnico: \_\_\_\_\_

Temperatura ambiente: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Inicio de operación: \_\_\_\_ En operación: \_\_\_\_ Post.operacion: \_\_\_\_

**Máquina (°C) Motor (°C) Hidráulico Condición de mangueras**

\_\_\_\_\_

Observaciones:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
—  
\_\_\_\_\_  
—

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.