

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



Diseño de una perforadora mecánica rotativa para la perforación de pozos tubulares en la región Lambayeque

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR

Edie Santiago Regalado Hernandez

ASESOR

William Fernando Villareal Albitres

<https://orcid.org/0000-0003-1743-6014>

Chiclayo, 2024

**Diseño de una perforadora mecánica rotativa para la
perforación de pozos tubulares en la región Lambayeque**

PRESENTADA POR

Edie Santiago Regalado Hernandez

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

APROBADA POR

Wilson Alejandro Jiménez Zuloeta

PRESIDENTE

Dante Omar Panta Carranza

SECRETARIO

William Fernando Villareal Albitres

VOCAL

Dedicatoria

Este trabajo de investigación está dedicado a Dios porque ha estado conmigo en todos mis pasos. A mis familiares, especialmente a mis padres, quienes me apoyaron y estuvieron conmigo en todo momento.

Para cualquier profesional, estudiante o curioso que se encuentre comprometido para mejorar este trabajo, o que la utilice como herramienta para su construcción.

Agradecimientos

El desarrollo de este trabajo fue posible gracias a Dios por la vida y la salud, al apoyo incondicional de mis padres que me proporcionaron las herramientas que necesité. A todos mis familiares y amigos que directa o indirectamente me brindaron su apoyo en momento difíciles.

Agradecimiento especial a mi asesor el ingeniero William Fernando Villareal Albitres y los docentes de la escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la USAT, por brindarme su ayuda en temas que eran de mi total desconocimiento.

Diseño de una perforadora mecánica rotativa para la perforación de pozos tubulares en la región Lambayeque

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	ribuni.uni.edu.ni Fuente de Internet	1%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%
5	documents.mx Fuente de Internet	<1%
6	idoc.pub Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1%
9	bibliotecadigital.usb.edu.co Fuente de Internet	

Índice

Resumen	14
Abstract.....	15
1. Introducción.....	16
1.1 Situación problemática	17
1.2 Objetivos.....	18
1.2.1 Objetivo general	18
1.2.2 Objetivos específicos	18
2. Revisión de literatura.....	19
2.1 Antecedentes	19
2.2 Bases Teóricas	23
2.2.1 Aguas subterráneas	23
2.2.2 Características hídricas de la región Lambayeque	24
2.2.3 Características geológicas de la región Lambayeque	26
2.2.4 Pozos de agua subterránea.....	27
a) Pozo excavado.....	27
b) Pozo taladrado	27
c) Pozo de chorro	27
d) Pozo hincado	28
e) Pozo perforado.....	28
2.2.4.1. Pozos de agua en la región Lambayeque	28
2.2.5 Métodos para realizar pozos perforados.....	28
1. Perforación por percusión.....	29
2. Perforación manual.....	29
3. Perforación por rotopercusión o martilleo.....	29
4. Perforación por rotación	29
4.1. Perforación hidráulica.....	30

4.2. Perforación mecánica	30
4.2.1. Componentes de perforadora mecánica.....	30
1. Sistema de Fuerza motriz	30
2. Sistema de transmisión principal	30
3. Torre de perforación	31
4. Sistema de empuje y levante	31
5. Giratorio de perforación.....	32
6. Tubería o varillaje.....	32
7. Bomba para circulación de lodos	33
8. Brocas de perforación	33
2.2.6 Diseño de elementos de máquinas.....	36
1. Herramientas y recursos de diseño	37
1.1 Herramientas computacionales.....	37
a) CAD.....	37
b) CAE	37
c) CAM.....	38
2.2.7 Análisis por elementos finitos	38
2.2.7.1. Criterio de Von Mises	38
2.2.8 Diseño de una transmisión mecánica	39
3. Materiales y métodos.....	40
3.1 Tipo y nivel de investigación.....	40
3.1.1 Tipo.....	40
3.1.2 Nivel	41
3.2 Diseño de investigación	41
3.3 Población y muestra.....	41
3.4 Criterios de selección.....	41
3.5 Operacionalización de las variables.....	42
3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	43
3.7 Procedimiento de recolección de datos.....	43
3.8 Procesamiento y análisis de datos.....	43

3.9	Diseño metodológico	43
3.10	Matriz de consistencia	45
4.	Resultados y discusión	46
4.1	Diseño conceptual de la perforadora.....	46
4.1.1	Descripción de características	46
4.1.1.1.	Componentes mecánicos	48
4.1.1.2.	Diagrama de funcionamiento	49
4.1.2	Problemática de perforadoras mecánicas en la región Lambayeque.....	50
4.1.3	Parámetros de diseño	50
4.1.4	Exigencia y deseos para el diseño	52
4.1.5	Estructura de funciones	53
4.1.6	Matriz morfológica.....	55
4.1.7	Conceptos de solución	57
4.1.8	Evaluación técnico económica de conceptos de solución	62
4.2	Diseño de sistema de transmisión.....	63
4.2.1	Cálculo de la potencia de rotación.....	63
4.2.1.1.	Fuerza de empuje sobre la roca	63
4.2.2	Dimensionamiento de sistema de transmisión.....	66
4.2.2.1.	Fuerza motriz (Motor diésel).....	66
4.2.2.2.	Caja inversora reductora (CIR)	67
4.2.2.3.	Transmisión caja inversora – reductor	67
4.2.2.4.	Transmisión caja reductora – eje de salida final	71
4.3	Diseño de bastidor o torre de perforación.....	73
4.3.1	Fuerza de compresión.....	74
4.3.2	Fuerza de tensión	74
4.3.3	Análisis de esfuerzos	78
4.4	Diseño de sistema de corte y perforación	79

4.4.1	Fuerza de corte sobre la roca	79
4.4.2	Fuerza de empuje.....	79
4.4.3	Fuerza tangencial.....	79
4.4.4	Velocidad de penetración	81
4.5	Tubería de perforación.....	82
4.5.1	Cargas aplicadas sobre tubería de perforación	82
4.5.2	Esfuerzos aplicados en la tubería de perforación	84
4.6	Bomba de perforación.....	86
4.6.1	Velocidad del fluido	86
4.6.2	Caudal del fluido	88
4.6.3	Selección de bomba centrífuga.....	89
4.6.3.1.	Sistema de transmisión Bomba – motor.....	89
4.7	Sistema de empuje y elevación	90
4.7.1	Diseño de pasador.....	91
4.8	Diseño de plataforma de perforación	95
4.8.1	Diseño del sistema de empuje (cabrestante – malacate).....	96
4.8.1.1.	Potencia de cálculo ($N\alpha$).....	97
4.8.1.2.	Potencia de entrada (Ne).....	97
4.8.1.3.	Diámetro del tambor.....	97
4.8.1.4.	Velocidad de funcionamiento del tambor de elevación (ω).....	99
4.8.1.5.	Sistema de transmisión motor - malacate.....	99
4.9	Verificación de diseño	101
4.9.1	Análisis estático torre de perforación	101
4.9.2	Análisis estático pin pasador	104
4.9.3	Análisis estático en tuberías de perforación	107
4.9.4	Análisis de plataforma de perforación.....	110
4.9.5	Análisis estático de bastidor de perforación	111

4.9.6	Análisis estático de tambor malacate	114
4.10	Análisis de costos de producción	116
4.10.1	Fabricación de estructuras	116
4.10.2	Comparación de precios de perforadoras.....	117
5.	Conclusiones.....	118
6.	Recomendaciones	119
7.	Referencias	120
8.	Anexos.....	125

Lista de tablas

Tabla 1 Monitoreo hidrológico de la región Lambayeque	25
Tabla 2 Características hidro geoquímicas de la región Lambayeque	26
Tabla 3 Tipos de suelo en la región Lambayeque	26
Tabla 4 Resistencia a la ruptura del suelo en la región Lambayeque.....	27
Tabla 5 Profundidad por tipo de pozo de agua.....	28
Tabla 6 Operacionalización de variables.....	42
Tabla 7 Matriz de consistencia	45
Tabla 8 Descripción de características generales de perforadoras	47
Tabla 9 Problemáticas de perforadoras inspeccionadas	50
Tabla 10 Profundidades de pozos tubulares	52
Tabla 11 Matriz morfológica de Zwicky	55
Tabla 12 Detalle de componentes.....	56
Tabla 13 Evaluación técnico económica de conceptos de solución – VDI 2225	62
Tabla 14 Resistividad vs velocidad de rotación	64
Tabla 15 Potencia y velocidad de rotación por dureza de roca	65
Tabla 16 Características de máquina perforadora	66
Tabla 17 Especificaciones técnicas de fuerza motriz	67
Tabla 18 Ángulo de fricción de materiales.....	80
Tabla 19 Tamaño de las partículas del suelo	88
Tabla 20 Especificaciones de taladro de perforación	88
Tabla 21 Especificaciones técnicas de motor estacionario 2.....	89
Tabla 22 Transmisión de potencia motor – bomba centrífuga	90
Tabla 23 Especificaciones técnicas de cable de acero, 7 X 19 hilos	98
Tabla 24 Materiales para construcción de tambor.....	98
Tabla 25 Características de transmisión de potencia motor - malacate.....	100
Tabla 26 Propiedades mecánicas de acero ASTM A500	102
Tabla 27 Propiedades mecánicas de acero AISI 4340.....	105
Tabla 28 Propiedades mecánicas de acero ASTM A53	107
Tabla 29 Costos unitarios de componentes	116
Tabla 30 Costo de perforadoras.....	117

Lista de figuras

Figura 1 Aguas Subterráneas – Acuíferos..	24
Figura 2 Área de estudio de las características hídricas en la región Lambayeque.....	25
Figura 3 Mecanismos de empuje y elevación.....	31
Figura 4 Relación velocidad de avance – empuje.	32
Figura 5 Giratorio de perforación.....	32
Figura 6 Tubería de perforación.....	33
Figura 7 Tipos de brocas de perforación.....	34
Figura 8 Brocas excéntricas.....	35
Figura 9 Broca PDC.....	35
Figura 10 Brocas de diamantes naturales y de insertos.....	35
Figura 11 Broca tricónica.....	36
Figura 12 Fases del proceso de diseño mecánico.....	37
Figura 13 Esquema de sistema de transmisión.....	40
Figura 14 Procedimiento de diseño.....	44
Figura 15 Metodología de diseño de Pahl y Grote.....	46
Figura 16 Perforadora A y perforadora B.....	47
Figura 17 Componentes perforadora A.....	48
Figura 18 Componentes perforadora B.....	48
Figura 19 Diagrama de funcionamiento perforadora A.....	49
Figura 20 Diagrama de funcionamiento perforadora B.....	49
Figura 21 Concepto de solución 1.....	57
Figura 22 Concepto de solución 2.....	58
Figura 23 Concepto de solución 3.....	59
Figura 24 Concepto de solución 4.....	60
Figura 25 Concepto de solución 5.....	61
Figura 26 Diagrama de evaluación – VDI 2225.....	63
Figura 27 Potencia y velocidad de rotación por tipo de suelo.....	66
Figura 28 Trayecto del fluido de perforación. Propio.....	86
Figura 29 Velocidad de circulación según tipo de fluido.....	87
Figura 30 Diagrama de cuerpo libre en pasador.....	91
Figura 31 DCL de pasador.....	92
Figura 32 Propiedades mecánicas acero AISI 4340.....	93
Figura 33 Catálogo de aceros AISI – 4340.....	93

Figura 34 Diagrama fuerza de corte pin.	94
Figura 35 Diagrama momento flector pin.	94
Figura 36 Plataforma de perforación.	96
Figura 37 Características técnicas de reductor - serie WPA. Jiangsu Devo.....	101
Figura 38 Asignación de cargas y sujeciones de torre de perforación.	102
Figura 39 Esfuerzos resultantes en torre de perforación.	103
Figura 40 Desplazamientos obtenidos en torre de perforación.	103
Figura 41 Factor de seguridad obtenido en torre de perforación.....	104
Figura 42 Asignación de cargas y sujeciones al pin pasador.	105
Figura 43 Esfuerzos resultantes en el pin pasador.....	105
Figura 44 Desplazamientos obtenidos en el pin pasador.....	106
Figura 45 Factor de seguridad obtenido en el pin pasador.	106
Figura 46 Asignación de cargas y sujeciones en tubería de perforación.....	108
Figura 47 Esfuerzos resultantes en tubería de perforación.....	108
Figura 48 Desplazamientos en tubería de perforación.	109
Figura 49 Factor de seguridad obtenido en tubería de perforación.	109
Figura 50 Asignación de cargas y sujeciones en la plataforma de perforación.....	110
Figura 51 Esfuerzos resultantes en la plataforma de perforación.....	110
Figura 52 Desplazamientos obtenidos en la plataforma de perforación.....	111
Figura 53 Factor de seguridad obtenidos en la plataforma de perforación.	111
Figura 54 Asignación de cargas y sujeciones en base de perforación.....	112
Figura 55 Esfuerzos resultantes en torre de perforación.	112
Figura 56 Desplazamientos obtenidos en torre de perforación.	113
Figura 57 Factor de seguridad obtenido en base de perforación.	113
Figura 58 Cargas y sujeciones de tambor.....	114
Figura 59Esfuerzos resultantes en tambor.....	114
Figura 60 Desplazamientos obtenidos en tambor.....	115
Figura 61 Factor de seguridad obtenido en tambor.	115
Figura 62 Capacidad de perforación - costo de máquina.	117

Lista de Anexos

Anexo 1 Guía de entrevista para diagnóstico actual de perforadoras.....	125
Anexo 2 Guía de observación.....	127
Anexo 3 Especificaciones técnicas Caja inversora reductora	129
Anexo 4 Especificaciones técnicas toma de fuerza	130
Anexo 5 Metodología diseño sistema de transmisión	131
Anexo 6 Selección de reductores - Lentax	133
Anexo 7 Características técnicas tubería ASTM A500.....	135
Anexo 8 Características técnicas tubería ASTM A5	136
Anexo 9 Característica bombas Hidrostal	137
Anexo 10 Características técnicas planchas Perform 700 MC.....	139
Anexo 11 Cotización fabricación de estructuras	140
Anexo 12 Plano general de perforadora mecánica	141
Anexo 13 Plano de detalle de perforadora mecánica	142
Anexo 14 Plano de torre de perforación	143
Anexo 15 Plano de bastidor de perforación	144
Anexo 16 Plano de soporte de torre de perforación	145
Anexo 17 Plano de tubería de perforación	146
Anexo 18 Plano de tambor – malacate	147

Resumen

Ante la problemática por la falta de agua en la actualidad, la explotación de los recursos hídricos subterráneos se ha convertido en la alternativa más eficiente para satisfacer esta necesidad; sin embargo, no todas las personas pueden acceder a este recurso por el alto costo que requiere su acceso, ante esta problemática varios autores han realizado investigaciones sobre el diseño de perforadoras para la construcción de pozos. Los autores han optado por el uso de tecnología hidráulica o neumática dejando de lado la tecnología mecánica; no obstante, el sistema mecánico es un sistema de fácil construcción y económico, que con un correcto diseño puede realizar el mismo trabajo que sus competidoras. En la presente investigación se diseñó una perforadora mecánica utilizando como herramienta la matriz morfológica, cálculos teóricos y utilizando el software SolidWorks. El diseño escogido es un sistema mecánico de bajo costo que puede ser construido de manera local y de fácil montaje; este diseño utiliza elementos simples como reductores, poleas, fajas de transmisión y bombas centrífugas. Con el diseño seleccionado se prevé una profundidad de perforación de 70 metros en formaciones con resistencia a la compresión de 50 MPa. Se validaron los cálculos teóricos usando el FEM del software SolidWorks asegurando f.d.s. mayores a 2,5. Finalmente, el costo requerido para la fabricación de la máquina es de S/ 41 089,00 que resulta accesible con el análisis de costos realizado.

Palabras clave: Diseño, perforadora, sistema mecánico.

Abstract

Given the current problem of water shortage, the exploitation of underground water resources has become the most efficient alternative to satisfy this need; however, not all people can access this resource due to the high cost required for access. Given this problem, several authors have conducted research on the design of drilling rigs for well construction. The authors have opted to use hydraulic or pneumatic technology, leaving aside mechanical technology; however, the mechanical system is an easy-to-build and economical system, which with a correct design can perform the same work as its competitors. In this research, a mechanical drilling rig was designed using the morphological matrix as a tool, theoretical calculations and using SolidWorks software. The chosen design is a low-cost mechanical system that can be built locally and is easy to assemble; this design uses simple elements such as reducers, pulleys, transmission belts and centrifugal pumps. With the selected design, a drilling depth of 70 meters is foreseen in formations with a compressive strength of 50 MPa. The theoretical calculations were validated using the FEM of the SolidWorks software ensuring f.d.s. greater than 2,5. Finally, the cost required for the manufacture of the machine is S/ 41,089.00, which is accessible with the cost analysis performed.

Abstract: Design, drilling machine, mechanical system.

1. Introducción

Desde la existencia de la humanidad, el agua es un recurso natural esencial para la vida de todos los seres vivos; además que representa un recurso estratégico para el desarrollo sostenible de una nación. Al mismo tiempo, sin cantidades suficientes de esta, no sería posible la realización de diversas actividades poblacionales y productivas, tales como el mantenimiento de los ecosistemas y ciclos naturales, los cuales son esenciales para la seguridad y supervivencia de un país [1].

Perú es actualmente uno de los 20 países con mayores reservas de agua en su territorio; sin embargo, en la mayoría de su territorio costero el recurso hídrico es muy limitado y no se encuentra distribuido de manera homogénea entre sus pobladores, tal es el caso del departamento de Lambayeque, donde debido a su crecimiento demográfico obliga a las nuevas familias a instalarse en zonas rurales, donde posteriormente sufren las consecuencias de la escasez del recurso hídrico [2].

Según el (INEI) Lambayeque es el octavo departamento con la mayor tasa de consumo de agua; no obstante, esto no significa que todos sus habitantes tengan el acceso a este recurso o esta sea suficiente, desfavoreciendo así a las personas ubicadas en zonas rurales antes mencionadas [1, p. 18]. Entonces, debido a esta situación, la población que se encuentra en esta situación opta por la extracción de agua proveniente de las fuentes subterráneas, porque en el territorio Lambayecano existe un valle hídrico muy importante “Valle de Chancay”, el cual presenta una gran masa de aguas subterráneas y abarca 3 grandes provincias como son Lambayeque, Chiclayo y Ferreñafe con sus respectivos distritos.

En 2017, el Ministerio de Agricultura realizó un estudio al Valle Chancay, donde observaron la creciente realización de pozos en la región. Los pozos identificados se dividen en dos grupos, a tajo abierto y tubulares. El método de tajo abierto consiste en excavar el suelo haciendo uso de herramientas tradicionales como picos y palanas, sin embargo, los pozos tubulares utilizando el método de perforado rotativo en el cual se utiliza maquinaria mecánica, siendo este último la opción más rentable y eficiente. En el estudio, además se indica que en este valle se puede obtener una fuente de agua casi inagotable desde una profundidad de 20 metros [3].

Para realizar pozos tubulares se requiere el uso de maquinaria, pues al realizarse a grandes profundidades nos encontramos con factores que obstaculizan su encuentro como la gravilla, arcilla, arena arcillosa y otros. Existen dos métodos para realizar este tipo de pozos y son mediante rotación y martilleo. La perforación por rotación tiene como principio el giro de un eje conectado a una broca, la cual produce cortes en la tierra producto de un empuje constante; para este tipo de perforación se usan máquinas mecánicas, hidráulicas, y electrohidráulicas, siendo las mecánicas las comunes, económicas y usadas. Por otro lado, la perforación por martilleo consta en golpear la broca de manera lineal y constante contra la tierra, en este proceso se utilizan perforadoras de tipo neumáticas, las cuales debido a su complejo sistema y elevados costos son de difícil acceso [4].

Entonces, bajo los métodos mencionados, la perforación por rotación utilizando las perforadoras mecánicas resulta ser el proceso más utilizado para realizar pozos tubulares, por ello es muy frecuentada por residentes de las zonas rurales de Lambayeque, quienes al no contar con la economía suficiente optan por la utilización de estas máquinas porque consta de un mecanismo simple y una estructura fácil de montar, además que puede funcionar en cualquier escenario posible, al contrario de sus competidoras, las cuales necesitan recursos permanentes para su funcionamiento. Si bien es cierto esta máquina por no ser tan compleja puede ser fabricada por muchos usuarios y fabricantes, sin embargo, todos ellos son construidos sin considerar los principales parámetros de diseño, conllevando a poseer un ciclo de vida corto, poca capacidad de perforado y altos costos de mantenimiento.

1.1 Situación problemática

Hasta donde el autor conoce, pocas investigaciones se han realizado sobre el diseño de perforadoras mecánicas rotativas. Sin embargo, de las investigaciones señaladas en los antecedentes se puede diferir que los objetivos y los estudios han estado enfocadas en la estructura de la máquina, las características de las herramientas de perforación y la potencia necesaria para perforar. Sin embargo, muy poco se conoce acerca de la tecnología del material, factores que influyen en el mecanismo de perforado y elevación. Entonces, la importancia de llegar a cabo la presente tesis permitirá construir una máquina mucho más eficiente y óptima para el tipo de trabajo de perforado, influir en los parámetros de diseño, agregar valor de fabricación artesanal a nivel industrial, y, por

último, generar interés académico como motivación para que otros estudiantes sigan desarrollando proyectos de investigación.

En esta tesis la siguiente pregunta de investigación se plantea ¿En qué medida, el diseño de una perforadora mecánica por rotación permitirá realizar trabajos similares a otras perforadoras con tecnologías existentes en la región Lambayeque?

Las siguientes justificaciones que se mencionan a continuación, dan las razones para realizar la siguiente tesis:

Académica: Generar conocimiento de los diversos factores que intervienen en el diseño de equipos de perforación.

Industrial: La máquina perforadora es potencialmente construible y puede ser una alternativa frente a las existentes en el mercado regional.

Social: Los componentes pueden ser contruidos y ensamblados por usuarios dedicados a la agricultura, permitiéndole ser más competitivo. Está al alcance de pueblos remotos donde la electricidad y el desarrollo aún no es accesible.

1.2 Objetivos

En el siguiente trabajo de investigación se proponen los siguientes objetivos:

1.2.1 Objetivo general

- Diseño de una perforadora mecánica rotativa para la perforación de pozos tubulares en la región Lambayeque.

1.2.2 Objetivos específicos

- Describir las características y tecnología de funcionamiento de perforadoras existentes en la región Lambayeque
- Seleccionar los componentes para el diseño de la perforadora utilizando la técnica de la matriz morfológica de Zwiky.
- Diseñar los componentes de la máquina perforadora para que estos cumplan con las exigencias de trabajo requeridas por los terrenos de la región Lambayeque.

- Analizar computacionalmente los esfuerzos en estado estático de los componentes diseñados.
- Realizar un análisis de costos de producción de la perforadora.

2. Revisión de literatura

2.1 Antecedentes

Una máquina perforadora de pozos es una máquina que ha cumplido su trabajo a lo largo de los años a favor de la explotación y construcción de pozos de agua y otros minerales. Manuales de perforación y construcción de máquinas datan del ciclo pasado, como es la publicación realizada el año 1979 en la ciudad de Ohio [5], donde detallan un manual sobre la iniciación en perforación de pozos de agua con máquinas mecánicas manuales.

No obstante, no es sino hasta inicios del año 2000, donde se llevó a cabo investigaciones para el diseño y construcción de estas máquinas. Tal es el caso de los investigadores Farelo y Tovar [6], quienes mediante un trabajo de investigación experimental diseñaron y construyeron una perforadora para pozos de agua, la cual consistió en usar por primera vez un motor Diesel como fuerza motriz de la máquina, el cual estaba acoplado a una caja reductora para aumentar la fuerza de empuje del eje de perforación. Llegando a la conclusión que este tipo de perforadora funciona al igual que sus competidoras de tipo hidráulico, permitiendo igual y mayor alcance en funcionamiento, además que debido a su sistema facilita el proceso de perforación al operario.

Años posteriores se siguió investigando sobre perforadoras mecánicas. En 2008, Castellanos Gabriel [7], diseñó una torre de perforación para pozos de agua utilizando un tecele multipasos como parte fundamental del sistema de elevación, para mejorar la manipulación al momento de perforar. Además, ante las carencias económicas para realizar la compra de un motor Diésel y una caja reductora, Castellanos realizó adaptaciones a la toma de fuerza de un tractor para obtener de ahí la fuerza motriz para la máquina. El autor llegó a concluir que con el equipo diseñado se logró obtener un sistema de perforación de fácil transporte, armado y mantenimiento; además, utilizando tractores agrícolas, se pueden realizar excavaciones en lugares remotos donde no hay fuentes de energía, debido a que estos ostentan una alta presencia en las zonas rurales.

Sin embargo, con el transcurrir de los años se dejó de investigar sobre perforadoras mecánicas manuales, optando por el estudio de perforadoras hidráulicas y neumáticas, las cuales representaban una mejor opción a la vista industrial. Consecuencia de esto, los investigadores empezaron a diseñar diferentes máquinas de este tipo, un claro ejemplo de esto es Pariente Christian [8], quien en 2013 diseñó una perforadora hidráulica, además realizó un análisis simulado por computador. El diseño de la perforadora estuvo basado en modelos comerciales existentes en el mercado, esto para una mejor idealización de esta; además con la ayuda del software SolidWorks se realizó el modelado de la perforadora y el análisis de esfuerzos a la estructura, al bastidor y la tubería de perforación de la máquina, juntamente se realizó el cálculo de fuerzas hidráulicas para determinar el movimiento de los actuadores hidráulicos. Finalmente, el autor concluyó que con el diseño de esta máquina se podrán realizar perforaciones a una profundidad máxima de 150 metros con un diámetro de 60,33 mm.

En años más recientes se siguió investigando sobre perforadoras hidráulicas, esta vez Luque Héctor [9] realizó una investigación sobre el estudio y análisis de una perforadora hidráulica de pozos en la región de Puno. Dicha investigación estuvo centrada en analizar estructuralmente los componentes de la máquina: bastidor de perforación, viga, pin de anclaje, brocas, sistema de transmisión y elevación, el estudio se realizó con la ayuda del software Inventor también utilizó la matriz ponderada para seleccionar componentes nuevos en el sistema de presión y el motor hidráulico, porque son los componentes más propensos a fallar. Finalmente, después de los estudios realizados, Luque llegó a las siguientes conclusiones: con los resultados obtenidos con la ayuda del software se puede obtener la posibilidad de realizar un diseño confiable; con los estudios realizados se logró más conocimiento sobre el funcionamiento de ese tipo de máquinas; por último, el análisis realizado con el software Inventor permitió ve el diseño de una perforadora adaptable a cualquier terreno, con una estructura garantizada.

El mismo año 2016, también se realizó una investigación similar a la anterior. Mori Emerson [10] investigó también sobre perforadoras hidráulicas. Pero, esta vez el autor basó su trabajo en replantear el diseño de una perforadora existente para aumentar su capacidad de perforación. El autor realizó modificaciones en la torre de perforación, el bastidor, mesa rotatoria y las unidades de potencia mecánicas e hidráulicas, esto con el fin de aumentar la resistencia y durabilidad. Para anteponerse a los parámetros de diseño establecidos, realizó cálculo de esfuerzos en los componentes y análisis estático, este

último con la ayuda del software SolidWorks, por último, también realizó ajustes en el sistema de mando de control para un mejor manejo de la máquina. Con los ajustes realizados, Mori concluyó que la capacidad de perforación de la máquina aumentaría de 100 a 200 metros de profundidad, además de poder trabajar en perfectas condiciones a la profundidad estipulada. Finalmente, planteó que la factibilidad económica de la máquina seguirá siendo rentable.

Al año siguiente 2017 Bermedo [11] siguió con investigaciones sobre perforadoras hidráulicas, el diseñó una máquina hidráulica perforadora de pozos para obtener agua desde napas subterráneas en Chile. Al igual que Pariente [8, p. 23], su propuesta de diseño estuvo basada en parámetros de diseño de maquinaria existente. No obstante, el autor utilizó una viga tipo Pratt en la plataforma de elevación la cual soporta de mejor manera el sistema de perforación, utilizó un perfil cuadrado de tubería galvanizada de 50x50x5 mm para la simulación en el software SolidWorks. Sin embargo, después de los análisis y los resultados teóricos del diseño, realizar la máquina con sistema hidráulico resultó no viable, esto debido a su alto costo y complejidad. Entonces ante esta problemática, el autor propone la alternativa de un sistema de perforación con sistema mecánico el cual venía siendo discontinuado, se optó este sistema debido a su sistema sencillo y fácil de montar. Finalmente, el autor concluye que la perforadora con sistema mecánico lograría una capacidad de perforación de 40 metros con un diámetro de 6 pulgadas y será accesible para las personas que viven en zonas rurales debido a su bajo costo de fabricación.

Con el pasar de los años, también se fueron adoptando investigaciones específicas en los sistemas de perforación. Tal es el caso de Igorevich [12] y Wei Yang et al. [13] quienes en 2017 investigaron sobre el uso de brocas de diamantes policristalinos compactos (PDC) para uso en la perforación. Para estudiar estas brocas realizaron pruebas experimentales y teóricas; por la vía experimental se utilizó una barra de presión Hopkinson para someterlas a condiciones dinámicas y estáticas para determinar el esfuerzo al que están expuestas al aplicarle una fuerza; por la vía teórica se corroboraron los datos experimentales con el modelado matemático realizado por los autores Asiáticos, el cual consiste en un modelo tomando consideración de los dientes de la broca y la carga transmitida en la formación. Finalmente, los autores llegaron a condiciones similares, manifestando que el uso de estas brocas permite una perforación con mayor número de vuelos y el aumento de rocas trituradas; permitiendo llegar así a profundidades considerables

Ese mismo año (2017) en Perú, Luis Samaniego [14] realizó la investigación y el diseño de un perforador semi industrial en la ciudad de Piura. El diseño de esta máquina fue de naturaleza mecánica, utilizando como fuerza motriz un motor a combustión y un reductor de velocidad como sistema de accionamiento principal; la capacidad de perforación fue de 50 m. Las dimensiones de la máquina fueron de 1,1 m de ancho por 4 m de alto; la geometría del bastidor de perforación es tipo triángulo recto con cartelas y pivotes móviles en la base, el material utilizado fue acero estructural galvanizado (perfil redondo). Con este diseño llevado a la realidad el autor demostró la capacidad de perforación que proporciona una perforadora mecánica, debido a la sencillez de su mecanismo es de fácil transporte y manipulación, representando una máquina eficiente al momento de realizar perforaciones en diferentes tipos de terreno con una resistencia a la compresión desde 5 MPa a 15 MPa.

Ya en 2018 Babalola y Dairo [15] al igual que Castellanos [7, p. 24] diseñaron una plataforma de perforación tomando como fuerza motriz la toma de fuerza de un tractor agrícola; con el diseño propuesto lograron diseñar un prototipo de equipo de perforación de baja potencia capaz de realizar perforaciones de hasta 30 metros de profundidad a un diámetro de 152,4 mm. Además, implementaron el uso de bentonita con agua para eliminar la fricción y el calor producido por la broca al momento de perforar. El sistema propuesto por los autores es relativamente económico a comparación de las maquinarias existentes en el mercado, teniendo como costo total de fabricación de 841 000,00 Nairas, lo que se compara a las existentes en el mercado (1.5 millones a 15 millones), la potencia calculada para su funcionamiento fue de 14,7 kW, por lo cual, la toma de fuerza de un tractor promedio de 50 hp posee suficiente potencia para impulsar su funcionamiento, porque suministra una potencia de 41,8 kW.

En 2020 con la presencia de la pandemia por el Covid-19, esta desnudó problemas estructurales con los servicios de agua potable. Es por eso que las personas ubicadas en centros alejados a las grandes ciudades se vieron con la necesidad de la explotación de los recursos hídricos subterráneos para su consumo. Es así que en la ciudad de Managua Rodríguez Calderón et al. [16] diseñaron una perforadora rotativa mecánica, donde se destaca nuevamente el uso de un motor a combustión para la fuerza motriz del sistema y un reductor de velocidad para el sistema de accionamiento. La geometría del bastidor de perforación fue de 3 m de altura por 1,5 m de ancho con forma de prisma rectangular, el

material utilizado fue acero estructural ASTM A36 en perfil redondo de $2\frac{1}{2} \times \frac{1}{4}$ ". Las brocas de perforación fueron construidas de manera local con geometría trialeta con planchas de acero AR500 con revestimiento de tungsteno (PDC) en un diámetro de 6". La capacidad de perforación de la máquina justificadas con cálculos teóricos fue de 80 m con una fuerza motriz de 12 hp y una velocidad de corte de 100 rpm en terrenos con una resistencia a la compresión de 40 – 80 MPa catalogados como ligeramente suaves.

Finalmente, la última investigación más reciente sobre el diseño de perforadoras mecánicas se realizó en Perú en el año 2022 en el distrito de San Marcos región Cajamarca. Rodríguez Palomino y Malca Quicio [17] realizaron el diseño de una perforadora mecánica con una capacidad de perforación aproximada de 100 m en terrenos con presencia de arena granular, arcilla con canto y material limoso. En su diseño también optaron por el uso de un motor a combustión interna como fuerza motriz del sistema, también predomina el uso de un reductor de velocidad para el sistema de accionamiento principal. El diseño de las brocas de perforación para los terrenos del distrito San Marcos fue de tipo tricono, las cuales presentan un refuerzo de tungsteno en sus rodamientos, revestimiento muy utilizado en la perforación y minería para realizar excavaciones. El diseño realizado por los autores mencionados y sus antecesores refuerzan la hipótesis que una perforadora mecánica con un correcto diseño y dimensionamiento de materiales puede realizar perforaciones a gran escala con un aspecto económico bajo y rentable.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Aguas subterráneas

El agua subterránea es la parte del agua debajo de la superficie de la tierra; Puede ser captado por agujeros, túneles o galerías de drenaje o fluir naturalmente a la superficie a través de filtros o manantiales [17].

El agua subterránea puede ser utilizada para el abastecimiento hídrico de zonas urbanas y rurales, para uso agrícola, como también para las industrias que demandan un gran consumo de esta. Lo más importante que hace que las aguas subterráneas sean útiles para el consumo humano es el bajo nivel de contaminación al que están expuestas, así como la capacidad del suelo para depurarse, haciéndolas más puras que las aguas superficiales en general. Además, este recurso subterráneo no se ve afectado por los periodos de sequía prolongados [18].

El agua superficial se filtra en el suelo a través de los poros y grietas en el suelo, hasta que alcanza la profundidad donde todos los agujeros se llenan de agua. Esta área se denomina nivel freático o zona de saturación, y su límite superior se denomina superficie saturada o nivel freático [19].

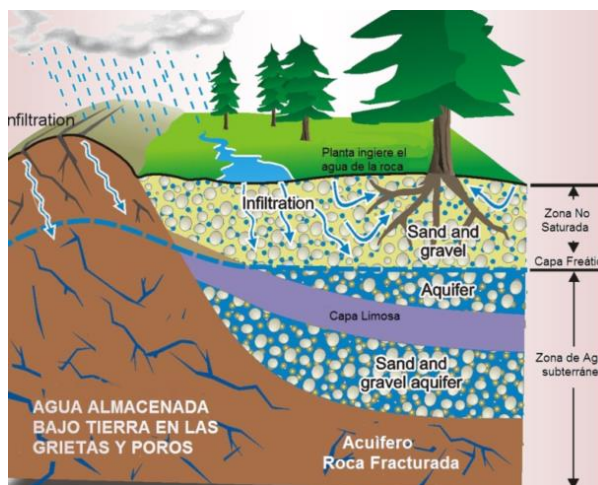


Figura 1 Aguas Subterráneas – Acuíferos. [17].

2.2.2 Características hídricas de la región Lambayeque

Según el estudio realizado por el Ministerio de agricultura en el año 2010 en conjunto con la Intendencia de Recursos Naturales y la Administración Técnica del Distrito de Riego Chancay Lambayeque [3, p. 25], realizaron un estudio de aguas subterráneas en el Valle Chancay para determinar las condiciones hidro geoquímicas, nivel freático del suelo y morfologías de las napas subterráneas que posee este valle. Las áreas de estudio fueron la parte media y baja de la cuenca Chancay – Lambayeque teniendo un aproximado de 3 229 km^2 .



Figura 2 Área de estudio de las características hídricas en la región Lambayeque. [3].

El estudio se realizó en las provincias de Chiclayo, Ferreñafe y Lambayeque porque en su territorio se encuentra el Valle. Para facilidad de trabajo, se dividió el estudio en 4 zonas, donde se ubicaron los distritos de las provincias mencionadas.

Tabla 1

Monitoreo hidrológico de la región Lambayeque

Zona 1		Zona 2		Zona 3		Zona 4	
Distrito	Nivel Freático (m)	Distrito	Nivel Freático (m)	Distrito	Nivel Freático (m)	Distrito	Nivel Freático (m)
Chongoyape	1.58 - 13.60	Pomalca	1.33 - 6.70	Lambayeque	1.10 - 3.34	Pítipo	1.80 - 5.25
Pátapo	1.60 - 11.70	Chiclayo	1.48 - 4.98	Pueblo Nuevo	1.47 - 1.92	Mochumí	1.16 - 6.40
Pucalá	3.26 - 9	José L. Ortiz	1.03 - 2.90	Picsi	1.92 - 5.70	Túcume	1.90 - 4.25
Tumán	1.50 - 7	La Victoria	1.30 - 3.68	Ferreñafe	1.36 - 6.29	Mórrope	1.15 - 5.01
		Monsefú	1.18 - 8.83	M. M. Muro	1.24 - 5.87		
		Santa Rosa	2.16				
		Eten	1.02 - 2.40				
		Reque	2.13 - 4.80				
		Pimentel	0.80 - 3.00				
		San José	0.90 - 2.10				

Nota: El nivel freático en Lambayeque se encuentra a bajas profundidades (0.80 m - 11.70 m), esto indica que el acceso al agua subterránea se encuentra en un rango de profundidad media. [3].

Adicional al estudio de nivel freático se estudiaron las características hidro geoquímicas de las muestras de agua recolectadas.

Tabla 2

Características hidro geoquímicas de la región Lambayeque

Zona	Potabilidad	Calidad del agua subterránea
1	Buena - Mediocre	Buena
2	Pasable - Mala	Buena
3	Buena - Pasable	Buena
4	Buena - Mediocre	Buena

Nota: Se observa que en las zonas de estudio en nivel de potabilidad del agua se encuentra en un nivel aceptable, esto quiere decir que la extracción de este recurso es una buena alternativa. [3].

2.2.3 Características geológicas de la región Lambayeque

La región de Lambayeque que comprende los territorios de Chiclayo, Ferreñafe y Lambayeque se compone por 4 tipos de suelo en su territorio de expansión.

Los estudios realizados por el Gobierno Regional de Lambayeque [20] y la Autoridad Nacional del Agua [21] los describen de la siguiente manera:

Tabla 3

Tipos de suelo en la región Lambayeque

Suelo	Tipo	Nivel freático	Composición
Suelos de depósitos aluviales	Anisotrópico	Alto	Rellenos antrópicos, grava, limo, arena, grava gruesa
Suelos de depósitos coluviales	Heterogéneo	-	Arenas limosas, cantos en matriz arcillo - limosa, pizarras alteradas
Suelos de depósito coluvial - aluvial	Transicional	-	Grava, arena sub -angulosas y mal lavadas
Suelos de materiales residuales	Formación in situ	-	Rocas de naturaleza litológica diversa

Nota: En la mayoría de su territorio la región Lambayeque está compuesta por suelos con presencia de arena, arcilla, grava, limo, franco y cantos. [20] - [21].

El Gobierno Regional de Lambayeque [22] realizó de igual manera un estudio geológico a los 4 tipos de suelo, donde realizaron la excavación de calicatas para estimar la resistencia a la ruptura del suelo en todo el territorio.

Tabla 4

Resistencia a la ruptura del suelo en la región Lambayeque

Composición	Resistencia a ruptura
Arena	Suave
Arena franca	Suave - Muy duro
Franco limoso	Suave - Ligeramente duro - Muy duro
Franco arcilloso	Suave - Ligeramente duro - Muy duro
Franco arenoso	Suave - Ligeramente duro - Muy duro
Franco arcilloso arenoso	Ligeramente duro
Arcilla	Ligeramente duro

Nota: La resistencia a la ruptura de los terrenos se encuentra en una escala de dureza que va desde (suave hasta ligeramente duro), excepto de formaciones de estratificaciones finas donde el nivel es muy duro. [22].

2.2.4 Pozos de agua subterránea

Un pozo de agua es un hoyo vertical o túnel excavado profundamente en el suelo, con una profundidad suficiente para obtener el nivel óptimo de agua de un acuífero o una napa subterránea. Por lo general son construidos de forma cilíndrica, ya que eso los hace menos propensos contra derrumbes [19, p. 28].

J. Chico [23] nos indica que los pozos se clasifican de acuerdo con el método de construcción y estos pueden ser:

a) Pozo excavado

Se construye utilizando herramientas tradicionales como pico, pala, etc.

b) Pozo taladrado

Se realiza utilizando un taladro rotativo, manual o robótico.

c) Pozo de chorro

Es aquel que se realiza mediante la inyección de un chorro de agua a alta velocidad aplicando presión directa contra el suelo.

d) Pozo hincado

Están hechos con una malla cónica, cuando se inserta en el suelo, se agregan tubos roscados consecutivamente.

e) Pozo perforado

Se realiza mediante sistemas de rotación o percusión. Se hace uso de brocas conectadas a ejes tubulares que ejercen presión contante sobre la tierra para avanzar el corte, pueden ser impulsados por presión mecánica, hidráulica o neumática.

2.2.4.1. Pozos de agua en la región Lambayeque

En el año 2010 la Autoridad Nacional del Agua [3, p. 28] realizó un inventario de pozos excavados en la región Lambayeque, los aspectos establecidos para el estudio fueron: tipo, profundidad y diámetro. Los datos recolectados son los siguientes:

Tabla 5

Profundidad por tipo de pozo de agua

Tipo de pozo	Profundidad		Diámetro	
	min	max	min	max
Tubular	6,55 m	69,50 m	0,15 m	0,4 m
Tajo abierto	1,79 m	24,8 m	0,56 m	0,8 m

Nota: En referencia a los pozos tubulares los pozos excavados son muy limitados en cuanto a profundidad, esto es porque su construcción se realiza de manera manual y está propenso a derrumbes, es por eso el aumento en su diámetro. [3].

Entonces se puede afirmar que la opción más viable para construir un pozo es por la vía de perforación.

2.2.5 Métodos para realizar pozos perforados

Los pozos realizados por el método de perforación son de un diámetro considerable, por lo general entre 4 y 15 pulgadas, esto con el fin de no exponer al personal a caídas dentro de estas y evitar accidentes. Para realizar esta perforación se hace el uso de equipos ya sean mecánicos, hidráulicos o neumáticos, debido a su alta eficiencia y alcance [19, p. 29].

1. Perforación por percusión

Este método es una técnica muy antigua que data de 3000 años en la antigua China. Su funcionamiento se basa en la caída libre de un pesado taladro que pulsa de forma continua y rítmica en el pozo, su funcionamiento es simple, consiste en anclar el barreno por la superficie con una soga para después pasarla por un trípode con la ayuda de poleas, esto con el fin de permitir su elevación [24].

2. Perforación manual

Este tipo de perforación se realiza con un sinfín helicoidal para facilitar su extracción y giro. Para realizar esta perforación se requiere el trabajo de dos personas, la primera persona sostiene al barreno para que su compañero la golpee con una comba y luego hacerla girar a un ángulo establecido [25].

3. Perforación por rotopercusión o martilleo

Este método consiste en el impacto lineal y constante de un pistón que golpea directamente la tierra, al generar este impacto se transmite energía al fondo del pozo por medio de una broca. Este es un método moderno y complejo, para su funcionamiento se hace el uso de equipo neumático [25, p. 30].

En la actualidad existen tres tipos de perforadoras neumáticas:

- Jack Leg
- Jack Hammer
- Stoper

4. Perforación por rotación

Este proceso consiste en excavar un agujero cilíndrico vertical de diámetro pequeño por medio de brocas cortantes que ejercen empuje giratorio constante sobre la tierra. Para realizar este método se requiere la inyección constante de agua, esto para mantener húmedo el terreno y refrigerar los barrenos. Se utilizan brocas tipo triconos, excéntricas, PDC y de arrastre [24, p. 30].

Para realizar este tipo de perforación se hace el uso de perforadoras tipo hidráulicas y mecánicas.

4.1. Perforación hidráulica

Se trata de un equipo hidráulico que consta de un sistema altamente sofisticado el cual le permite realizar perforaciones con un alto nivel de mejora del rendimiento. Esta máquina utiliza la energía hidráulica para dar marcha al sistema de transmisión y control; su operación se da desde un tablero de control computarizado en el cual se grafica el trazo de perforación requerido [25, p. 30].

4.2. Perforación mecánica

En este tipo de perforación se utilizan máquinas con sistemas mecánicos ligeros, el sistema consta de un motor de combustión interna anclado a una caja reductora para transmitir la potencia de giro a las tuberías interconectadas a las brocas y así perforar el terreno.

La gran ventaja de esta máquina es que su sistema es fácil de construir, alcanza profundidades de hasta 70 metros y es económica. Además, en zonas rurales y con limitaciones de acceso a equipo de perforación moderno, esta máquina es una gran alternativa para abastecer de agua a un nivel multifamiliar o de pequeñas comunidades [24, p. 30].

4.2.1. Componentes de perforadora mecánica

1. Sistema de Fuerza motriz

Es el elemento principal de la máquina; es el encargado de transmitir la potencia necesaria para poner en marcha todo el sistema de perforación.

Este va acoplado en la parte superior del sistema de transmisión, se ubica en la parte máxima de la máquina para poder distribuir la potencia a la caja de engranajes mediante el uso de fajas o cadenas. En las perforadoras mecánicas se utilizan motores de combustión interna, ya sean de ciclo Diésel u Otto; la potencia del motor dependerá de la magnitud del equipo.

2. Sistema de transmisión principal

El sistema de transmisión de potencia es un variador que permite la transferencia de potencia de una fuente a otra, aumentando, manteniendo o disminuyendo la velocidad y el par motor.

En una perforadora mecánica este sistema se sitúa por debajo del sistema de fuerza motriz, el cual lo alimenta para posteriormente transmitir potencia a la tubería de

perforación. Para este sistema se suele utilizar motorreductores industriales y también sistemas de transmisión vehicular (caja de cambios y diferencial).

3. Torre de perforación

La torre de perforación es una estructura metálica de aproximadamente 3 y 4 metros de altura, en la torre se acopla el sistema de perforación, además es la encargada de soportar todo el peso y los esfuerzos generados en la perforación.

Las torres de perforación que se utilizan son vigas de celosía (Pratt, k, Howe, Warren, y rombo), vigas con perfil estructural, torres tipo trípode y torres de 4 y 3 extremos.

4. Sistema de empuje y levante

El mecanismo de empuje y levante está diseñado para aplicar una fuerza de alrededor del 50% del peso de la máquina. Sirve para levantar y manipular el sistema de perforación, además del conjunto de tubería las cuales deben agregarse o quitarse al momento de perforar. Se puede utilizar sistemas mecánicos (cabrestantes, cadenas o engranajes) o también sistemas hidráulicos [26].

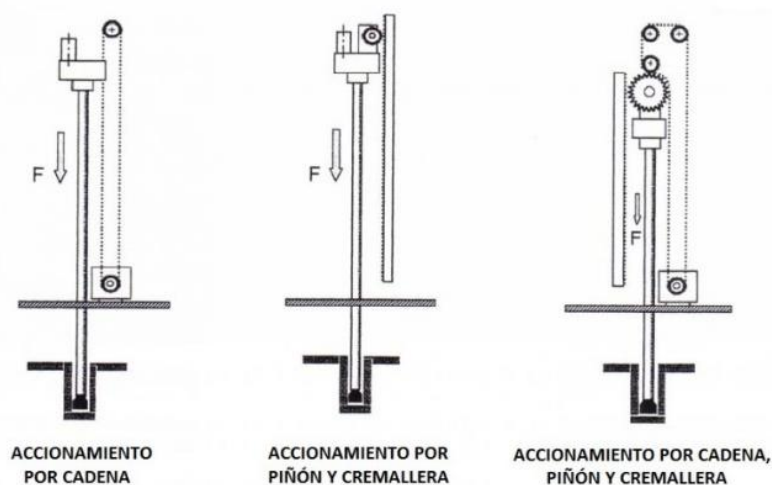


Figura 3 Mecanismos de empuje y elevación. [26].

El empuje que ejerza la perforadora al momento de la perforación debe ser suficiente para el que efecto genere un estrés superior a la resistencia a compresión de las rocas. El empuje debe ser preciso, puesto que si este es excesivo producirá desgaste en la máquina, porque la tasa de penetración proporcional aumenta el empuje hasta el límite desde el cual los vástagos y los insertos se insertan en la roca [26, p. 32].

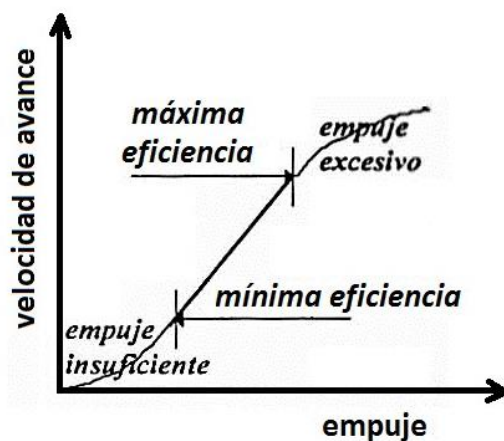


Figura 4 Relación velocidad de avance – empuje. [26].

5. Giratorio de perforación

La plataforma giratoria de perforación o más conocida como Water Swivel, es un elemento que está diseñado para facilitar la conexión entre el sistema de potencia, el sistema de inyección de lodos y las barras de perforación. Está compuesto por una carcasa, tapas y un eje hueco que conecta las barras y el sistema de generación de potencia [11, p. 32].



Figura 5 Giratorio de perforación. [11].

6. Tubería o varillaje

Son tubos livianos con un tamaño mínimo de 2 metros, suelen ser de acero especial o también de hierro, para su funcionamiento están interconectados con la broca y el giratorio de perforación. Una vez que la tubería alcanzó su profundidad máxima es extraída y posteriormente acoplada a otra tubería para seguir perforando.

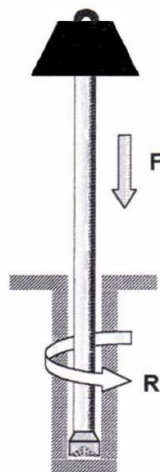


Figura 6 Tubería de perforación. [26].

7. Bomba para circulación de lodos

Es una máquina hidráulica, conocida también como bomba rotodinámica que posee la capacidad de transmitir energía a fluidos a través del trabajo de un campo de fuerzas centrífuga, permitiendo así la circulación de un líquido desde un punto A hacia un punto B.

La función que realiza en la perforadora mecánica es hacer circular el lodo de perforación desde la toma de lodos hacia el giratorio de perforación y al fondo del pozo, repitiendo el ciclo una y otra vez.

8. Brocas de perforación

Las barrenas de perforación son herramientas que permiten el corte de formaciones situadas en el subsuelo, esto debido a su capacidad de corte y trituración mediante el proceso de rotación. En el sistema de perforación, las brocas se encuentran situadas en la parte inferior, juntamente con la tubería de perforación, las cuales al recibir la potencia del sistema de transmisión logran perforar de manera ascendente las formaciones rocosas porque vencen su esfuerzo de compresión [27].

Actualmente existen diferentes tipos de brocas que son utilizadas en la perforación de pozos tubulares, estos se caracterizan ya sea por su mecanismo de corte o su sistema de rodamiento. Como se puede apreciar en la imagen anterior, las más utilizadas en la perforación son las brocas tricónicas, especiales y PDC o de cortadores fijos.



Figura 7 Tipos de brocas de perforación. [27].

Clasificación de las brocas

Las brocas utilizadas en la perforación de pozos son herramientas que van unidas a la tubería o varillaje de las perforadoras por medio de una rosca macho y hembra, además están cubiertas de elementos cortantes que sirven para penetrar las formaciones localizadas en el subsuelo. Estas suelen ser fabricadas en su mayoría de acero u otras aleaciones.

De acuerdo con su diseño, las brocas para perforar se dividen en dos grupos: de cuerpo fijo o arrastre y de conos o elementos rodantes.

a) Cuerpo fijo o arrastre

Estas brocas constan de un bloque sólido de acero, con elementos cortantes que van impregnados o soldados en la parte inferior, la cual perfora las formaciones en la tierra.

Existen tres tipos de brocas con estas características:

- **Excéntricas:**

Son brocas que presentan geometría única, la cual les permite perforar y ensanchar en simultáneo.



Figura 8 Brocas excéntricas. [28].

Su mecanismo de corte consiste se da por cizallamiento, el cual permite perforar sin provocar impactos en la misma, gracias a eso se pueden obtener volúmenes de corte apreciables y por consecuente aumento en la tasa de penetración [28].

- **PDC:**

Son brocas compactas y su principal unidad de corte consiste en capas de diamante policristalino sintéticas o naturales unidas a un sustrato de carburo de tungsteno en procesos que requieren alta presión y temperatura. Están diseñados para taladrar en superficies blandas y para conseguir altas velocidades de taladrado, no se pueden utilizar en estructuras duras, ya que están sujetos a un elevado desgaste mecánico durante la rotación [28, p. 35].



Figura 9 Broca PDC. [27].

- **Diamantes naturales y de insertos:**

Son brocas constituidas por diamantes impregnados en una matriz de carburo de tungsteno, son aptas para formaciones rocosas que presentan alta dureza y abrasividad.



Figura 10 Brocas de diamantes naturales y de insertos. [28].

Las variables más importantes en esta broca es el perfil de la corona donde van los diamantes, el mecanismo de corte y el número de diamantes, estos puntos son importantes porque de ellos depende la correcta perforación vertical del pozo. Además, estas brocas tienen el mismo mecanismo de corte que las brocas PDC y excéntricas, el cual es por cizallamiento [28, p. 36].

b) Conos o elementos rodantes

Las brocas tricónicas son las más utilizadas desde hace mucho tiempo atrás, debido al diseño de sus dientes y sus cojinetes permiten la perforación en cualquier tipo de terreno. Su funcionamiento consiste en la presencia de conos que giran alrededor de su eje a medida que se le ejerce presión [29].



Figura 11 Broca tricónica. [29].

El rendimiento de un tricono se ve afectado por la característica del terreno, es decir la resistencia a la ruptura. Los triconos se utilizan para terrenos con formaciones blandas hasta formaciones duras, la velocidad de rotación dependerá de la dureza del terreno.

2.2.6 Diseño de elementos de máquinas

El diseño mecánico es un proceso en el cual se da la forma, se otorga medidas, se aplica material y tecnología de funcionamiento a una máquina para suplir una función o necesidad; por lo cual, es una tarea compleja que requiere un nivel muy alto de habilidades. La naturaleza del diseño se basa en códigos y normas, esto por temas de economía, seguridad y consideraciones legales del producto diseñado [30].

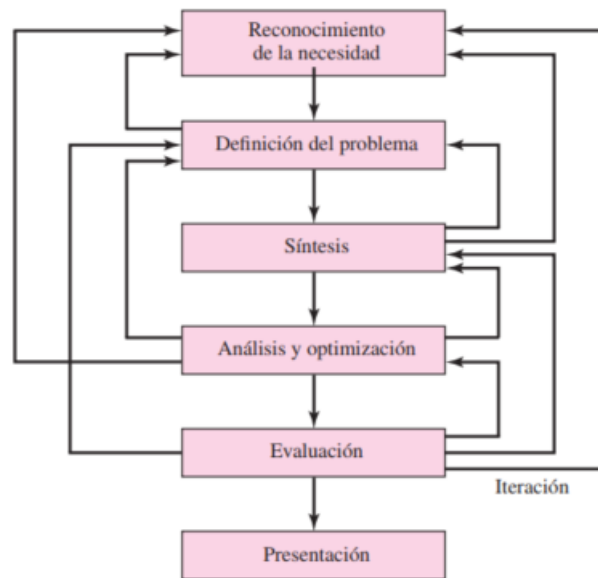


Figura 12 Fases del proceso de diseño mecánico. [30].

1. Herramientas y recursos de diseño

Hoy en día, los ingenieros dedicados al diseño poseen una gran variedad de herramientas disponibles, las cuales permiten resolver cualquier problema de diseño. Entre las herramientas más comunes tenemos las herramientas computacionales [30, p. 37].

1.1 Herramientas computacionales

Las herramientas computacionales hacen referencia al software que ayuda a realizar diferentes acciones por medio de un computador. Entre los softwares más utilizados tenemos:

a) CAD

Es el *diseño asistido por computadora*, el cual permite realizar modelos tridimensionales; esto permite realizar cálculos rápidos y exactos de las propiedades del elemento como la masa, centro de gravedad y los momentos de inercia. Existen diferentes softwares de diseño, entre los softwares disponibles tenemos: SolidWorks, CadKey, Aries, I-Deas, Unigraphics y ProEngineer, entre otros.

b) CAE

Hace mención del término *ingeniería asistida por computadora*, el cual describe las aplicaciones de análisis y/o tareas de simulación utilizando el análisis por elementos finitos (FEA), esto para realizar análisis de esfuerzos, deflexión,

vibración, transferencia de calor, análisis de flujo, fuerzas dinámicas y movimiento de mecanismos. Para realizar estas tareas tenemos softwares como: ANSYS, Algor, MSC/NASTRAN, ADAMS, DADS, Working Model, entre otros.

c) CAM

Hace referencia a la *fabricación asistida por computador*, el cual consiste en el uso de aplicaciones de software de control numérico (NC) con el objetivo de crear instrucciones detalladas (código G) que impulsen las máquinas herramienta de control numérico por ordenador (CNC) para las piezas de fabricación. Para realizar el proceso de fabricación se utilizan los siguientes softwares: SolidWorks, Solid Edge, Inventor, entre otros.

2.2.7 Análisis por elementos finitos

El análisis por elementos finitos (FEM), es un método computacional para predecir cómo se comportará una pieza mecánica al ser sometida a vibraciones, flujo de un fluido, calor, esfuerzos, entre otras interacciones físicas. Este método permite predecir el comportamiento de una pieza que se encuentra en fase de diseño. El método de elementos finitos está compuesto por un sistema de nodos, los cuales forman una malla que contiene las propiedades estructurales del modelo; la densidad de la malla varía según la geometría a lo largo del objeto. Su funcionamiento se basa en ecuaciones matemáticas que permiten predecir el comportamiento de los elementos, estas ecuaciones se basan en principios como el criterio de máxima tensión de Von Mises; este criterio está basado en la teoría de la energía de distorsión.

2.2.7.1. Criterio de Von Mises

Este criterio expone que un material dúctil comienza a ceder cuando el límite de tensión del material es igual a la tensión de Von Mises, se considera el límite elástico del material como el límite de tensión permisible.

$$\sigma_{vonMises} \geq \sigma_{límite}$$

El límite elástico depende de la propiedad temperatura, por lo tanto, siempre se debe considerar la temperatura de la pieza. Para calcular el f.d.s se efectúa a partir de:

$$f. d. s = \frac{\sigma_{límite}}{\sigma_{vonMises}}$$

La expresión matemática de Von Mises está expresada como:

$$\sigma_{vonMises} = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2}$$

Donde $\sigma_1\sigma_2$ son los principales esfuerzos [32].

Criterios matemáticos

- **Ley de Hooke**

Este criterio matemático describe cómo se comporta la elasticidad de los materiales, y se denota por la siguiente ecuación:

$$\sigma = E * \epsilon$$

Esta ecuación fue descrita por los autores Timoshenko y Goodier, donde:

$\sigma = \text{esfuerzo}$

$E = \text{módulo de elasticidad}$

$\epsilon = \text{deformación unitaria}$

- **Análisis de esfuerzos principales**

Son los esfuerzos máximos y mínimos que actúan perpendicularmente sobre los planos del objeto.

- **Análisis de pandeo**

El pandeo ocurre en las columnas que están sometidas a cargas compresivas. Se basa en la ecuación de Euler.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2}$$

$P_{cr} = \text{carga crítica}$

$E = \text{módulo de elasticidad}$

$I = \text{momento de inercia}$

$K, L = \text{factor de longitud efectiva de la columna}$

2.2.8 Diseño de una transmisión mecánica

Según Robert L. Mott [31], una transmisión mecánica es un sistema que recibe potencia de algún tipo de fuente giratoria, cómo un motor eléctrico, motor a combustión interna, motor hidráulico o neumático, una turbina a gas o de vapor, incluso hasta la fuerza ejercida por una persona. Una transmisión cambia la velocidad de los ejes que forman el sistema, esto para que el eje de salida o eje conducido trabaje a bajas o altas rpm, según la necesidad del trabajo. Cuando se reduce la velocidad del eje de salida, se aumenta ligeramente el par torsor, sin embargo, cuando se aumenta la velocidad del eje de salida se reduce el par torsional.

Para diseñar un sistema de transmisión se debe conocer lo siguiente:

- Naturaleza de la máquina impulsada.
- Cantidad de potencia a transmitir.
- La velocidad de rotación del motor de accionamiento o motor que genera fuerza motriz.
- La velocidad de salida deseada en la transmisión.

La imagen presentada a continuación representa la estructura básica de una transmisión de potencia:

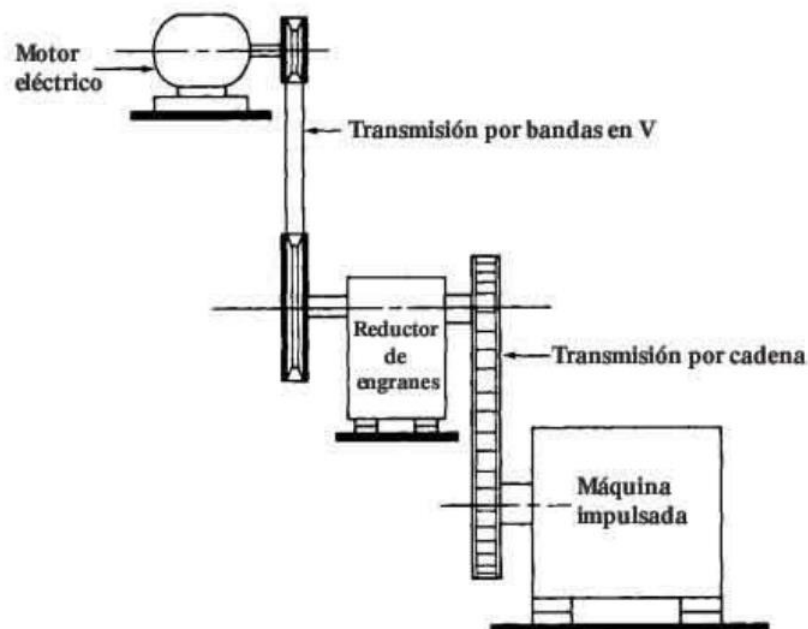


Figura 13 Esquema de sistema de transmisión. [31].

3. Materiales y métodos

El diseño metodológico es un conjunto de actividades propuestas para describir y analizar el origen de un problema propuesto utilizando métodos específicos como la observación y la recopilación de datos para determinar cómo se realiza la investigación. Además, ayuda a explorar supuestos de investigación para recuperar datos de conceptos teóricos que se han elaborado.

3.1 Tipo y nivel de investigación

3.1.1 Tipo

El tipo de investigación para el trabajo realizado es de tipo aplicada correlacional.

3.1.2 Nivel

El nivel de la investigación es de tipo descriptiva, porque ayudará describir los componentes y tecnologías de las perforadoras en la región Lambayeque.

3.2 Diseño de investigación

El diseño de investigación es de naturaleza aplicada no experimental.

Aplicada: Se considera aplicada la investigación porque junto con la realización de cálculos mecánicos, selección de componentes y parámetros de diseño para la perforadora mecánica, también se realizará el modelamiento y el análisis estático de la propuesta de diseño, esto para verificar que los componentes seleccionados y diseñados cumplan con los requerimientos de diseño planteados.

No experimental: Se considera no experimental porque lo realizado en esta investigación no se llevará a la implementación real, si no quedará en aspectos de planos de diseño. Las variables no serán manipuladas, y serán observadas para plantear soluciones adecuadas a la problemática.

3.3 Población y muestra

Población: La población de la investigación está conformada por las perforadoras mecánicas rotativas de pozos tubulares, que se encuentran en funcionamiento en el departamento de Lambayeque. Se considera mecánicas a las perforadoras de fabricación propia y que consta de componentes mecánicos para su funcionamiento.

Muestra: La muestra de la investigación son 2 perforadoras mecánicas que actualmente se encuentran en funcionamientos y que presentan necesidades de mejoras de diseño; estas perforadoras fueron entrevistadas según guías de entrevista y observación. Las perforadoras serán evaluadas con un enfoque de ingeniería, para observar sus fallas más frecuentes y diseñar una máquina más eficiente frente a las necesidades requeridas.

3.4 Criterios de selección

Para determinar las perforadoras que forman parte de la muestra de investigación se realizó el criterio de selección por inclusión, esto recolectando las siguientes características: Sistema de empuje, sistema de transmisión y tecnología de funcionamiento; con las características señaladas se llegó a la inclusión de dos tipos de perforadoras para la presente investigación.

3.5 Operacionalización de las variables

Tabla 6

Operacionalización de Variables. Propio.

Variab les	Tipo de variables	Definición conceptual	Dimensión	Indicador	Ítem
Diseño de una perforadora mecánica rotativa	Independiente	El diseño empezará por realizar un estudio a perforadoras existentes, posteriormente se realizará un diseño conceptual donde se escogerá el diseño óptimo para después diseñar sus componentes y realizar una simulación estático estructural	Diseño conceptual	Identificación de parámetros	Selección
			Sistema de transmisión	Resistencia de materiales	Ordinal intervalo
			Análisis estático estructural	Mecanismos	
				Elementos de máquinas	N/m ²
				Esfuerzos	m/m
Desplazamientos	mm				
Factor de seguridad	Adimensional				
Perforación de pozos tubulares en la región Lambayeque	Dependiente	Los parámetros calculados en el diseño de los elementos servirán para visualizar la capacidad de perforación de la máquina	Perforación del suelo	Dureza de la roca	MPa
				Diámetro de perforación	Pulgada
				Fuerza de empuje	kN

3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la presente investigación se usaron diferentes técnicas e instrumentos para la recolección de datos, las cuales son:

Técnicas:

- Análisis y revisión de documentos
- Observación
- Entrevista

Instrumentos:

- Guía de entrevistas
- Guía de observación
- Libros y manuales de diseño mecánico
 - Documentos de archivos y fuentes gubernamentales.

3.7 Procedimiento de recolección de datos

Para realizar la recolección de datos se realizó un viaje hasta la locación actual de las perforadoras, donde se utilizaron las guías de entrevista para recolectar los datos de los dueños u operarios de las máquinas. Además de la guía de entrevista el investigador también se utiliza la guía de observación.

3.8 Procesamiento y análisis de datos

Enfoque cualitativo: Para procesar los datos se hará uso de la identificación de parámetros de las perforadoras actuales, características recolectadas en el análisis de las perforas las cuales serán obtenidas mediante la observación y las entrevistas. Dichos datos serán analizados para después para ser procesados en el diseño de la máquina.

3.9 Diseño metodológico

Los objetivos se desarrollaron utilizando la siguiente secuencia que se detalla a continuación:

1. Diseño conceptual

- Descripción de características y necesidades de las tecnologías de perforadoras mecánicas existentes en la región Lambayeque.
- Desarrollo de la metodología de diseño de Pahl y Grote [32] para seleccionar el diseño óptimo de la perforadora.

2. Diseño mecánico

- Cálculo de la potencia de rotación en función al tipo de suelo en la región Lambayeque.
- Diseño y dimensionamiento de los componentes de la perforadora mecánica utilizando los fundamentos de la mecánica e hidráulica.

3. Evaluación de diseño

- Simulación estática de los componentes diseñados utilizando el software SolidWorks
- Realización de análisis de costos de producción de la perforadora.

La siguiente figura detalló el procedimiento de los pasos a seguir para el diseño de la máquina perforadora.

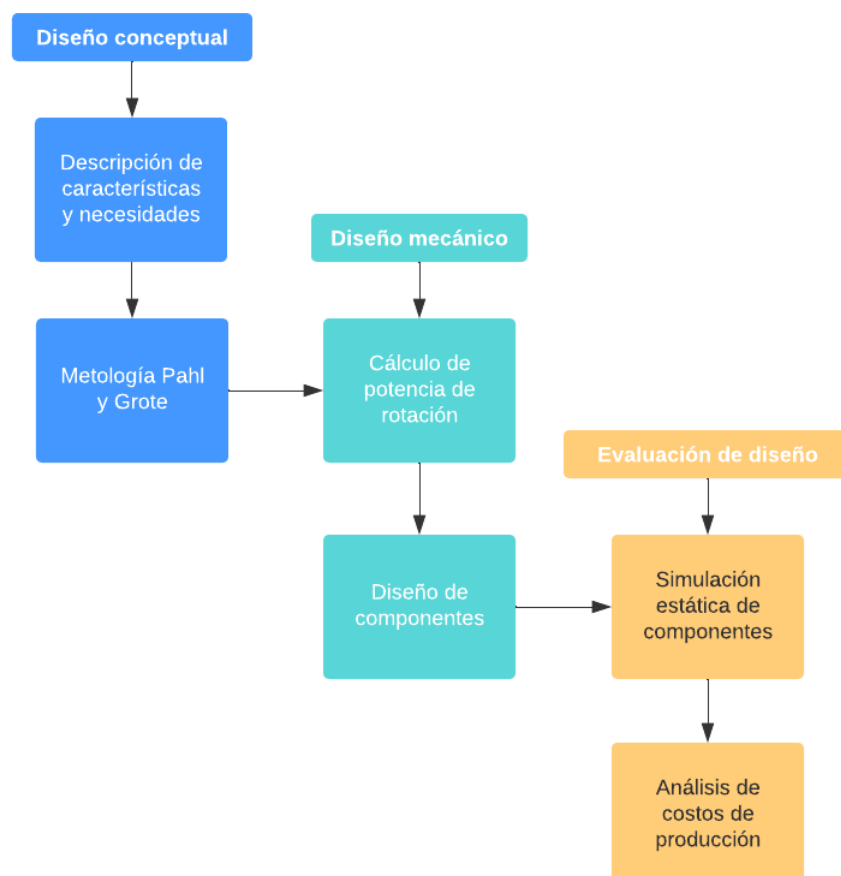


Figura 14 Procedimiento de diseño. Propio.

3.10 Matriz de consistencia

Tabla 7

Matriz de consistencia. Propio.

Diseño de una perforadora mecánica rotativa para la perforación de pozos tubulares en la región Lambayeque					
Problema	Objetivos	Hipótesis	VARIABLES	Metodología	
	General	General	Variable independiente	Diseño de investigación	
¿El diseño de una perforadora mecánica rotativa permitirá la perforación de pozos tubulares en la región Lambayeque?	Diseñar una perforadora mecánica rotativa para perforar pozos en la región Lambayeque	Si se realiza el diseño de la perforadora mecánica rotativa se logrará perforar pozos tubulares en la región Lambayeque	Diseño de una perforadora mecánica rotativa	Tipo aplicada - correlacional	
	Específicos	Específicos	Indicadores	Técnica: Observación, entrevista	
	Describir las características y tecnologías de funcionamiento de perforadoras existentes en la región Lambayeque	Describir las características de tecnología de operación de perforadoras mecánicas en Lambayeque ayudaran a determinar los requerimientos de diseño	Matriz morfológica Esfuerzos	En este proyecto de investigación se utilizó las técnicas de observación y entrevistas para describir características y tecnologías de funcionamiento que poseen las perforadoras mecánicas existentes en la región Lambayeque. Esto para establecer los requerimientos de diseño en nuestro diseño	
	Seleccionar los componentes para el diseño de la perforadora utilizando la matriz morfológica	El uso de la matriz morfológica ayudará a seleccionar un correcto concepto de solución de diseño	Rotación del eje de perforación Velocidad de avance y corte		
	Diseñar los componentes de la máquina perforadora para que estos cumplan con las exigencias de trabajo requeridas por los terrenos de la región Lambayeque.	El diseño mecánico contribuirá a seleccionar y dimensionar los componentes necesarios para la máquina perforadora	Carga aplicada a la tubería Esfuerzos Deformación unitaria Desplazamientos Factor de seguridad		
	Analizar computacionalmente los esfuerzos en estado estático de los componentes diseñados	El análisis por elementos finitos ayudará a verificar el diseño de los componentes de la perforadora	Variable dependiente Perforación de pozos tubulares		Población
	Realizar un análisis de costos de producción de la perforadora	Si se realiza un análisis de costos del proyecto obtendremos un resultado de viabilidad de construcción	Indicadores Dureza de la roca Diámetro de perforación Resistencia a la compresión Profundidad de perforación		Perforadoras mecánicas rotativas que existen en la región Lambayeque
					Muestra
			Perforadoras entrevistadas: A, B		

4. Resultados y discusión

4.1 Diseño conceptual de la perforadora

Se abarcó el diseño conceptual propuesto por Pahl y Grote [32, p. 45] para realizar el diseño de la perforadora mecánica, a continuación, se describe los pasos a seguir.

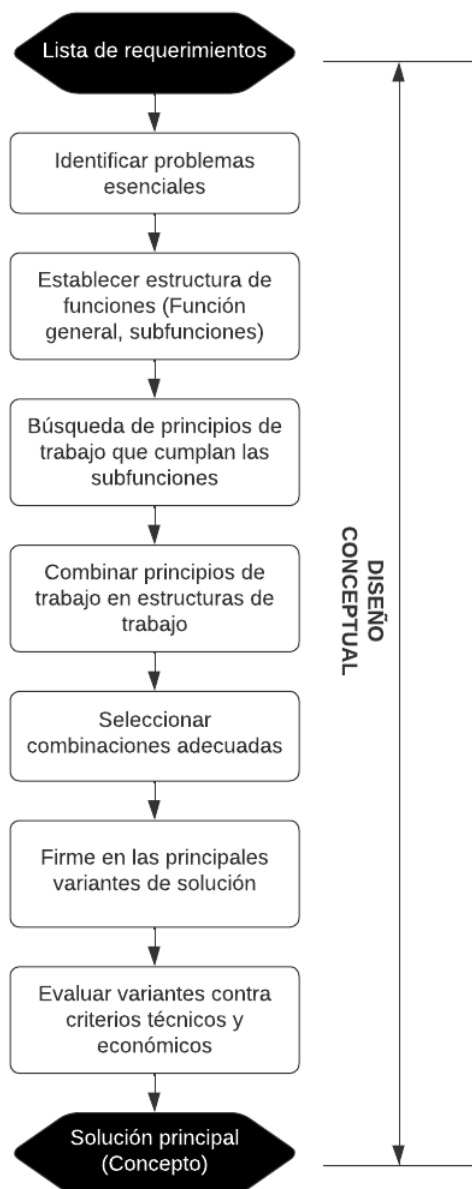


Figura 15 Metodología de diseño de Pahl y Grote. [32].

4.1.1 Descripción de características

Para el estudio se visitaron 2 perforadoras en funcionamiento dentro de la región Lambayeque, la primera ubicada en el CC.PP. Chacupe Alto (La Victoria) y la otra en el CC.PP. La Colorada (Mórrope). Se consideraron estas dos perforadoras porque son los

diseños más comerciales en la región; sin embargo, al no existir una descripción específica de su estructura de diseño se consideró describir a las perforadoras como A y B.



Figura 16 Perforadora A y perforadora B. Propio.

Las características generales de las máquinas son:

Tabla 8

Descripción de características generales de perforadoras

Máquina	A	B
Potencia	16 hp	20 hp
Motor	Diésel	Diésel
Retroceso	-	-
Embrague	-	-
Altura	3,5 m	3 m
Broca	Trialeta	Tricono
Desplazamiento	Fricción	Fricción
Cabezal de corte	Caja reductora	Diferencial
Transmisión de potencia	Poleas y fajas	Piñón - cadena

Nota: Las características descritas fueron tomadas en el lugar de efecto, a partir de esta se pudo identificar la problemática y desventajas que estas poseen. Propio.

4.1.1.1. Componentes mecánicos

- **Perforadora A**

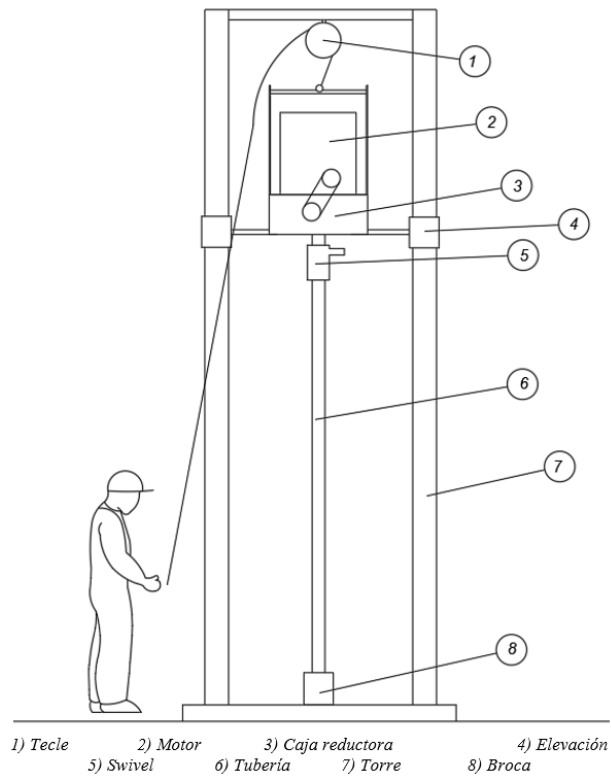


Figura 17 Componentes perforadora A. Propio.

- **Perforadora B**

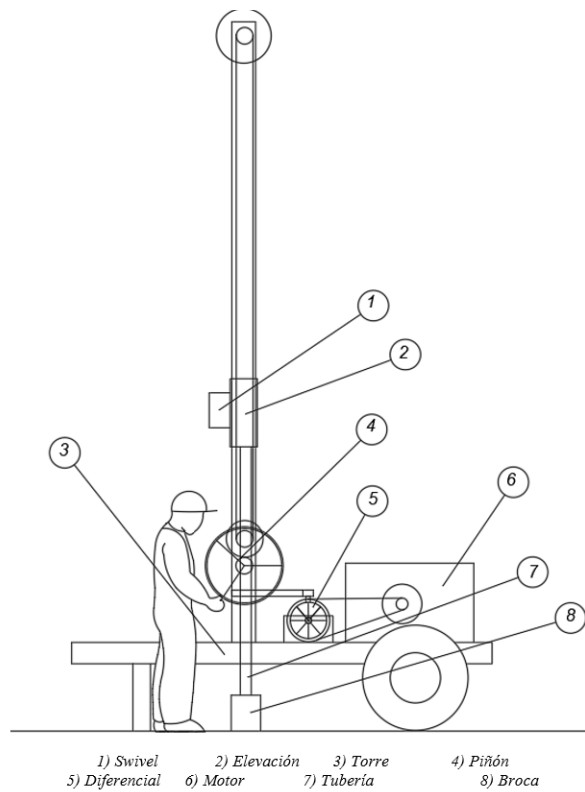


Figura 18 Componentes perforadora B. Propio.

4.1.1.2. Diagrama de funcionamiento

- **Perforadora A**

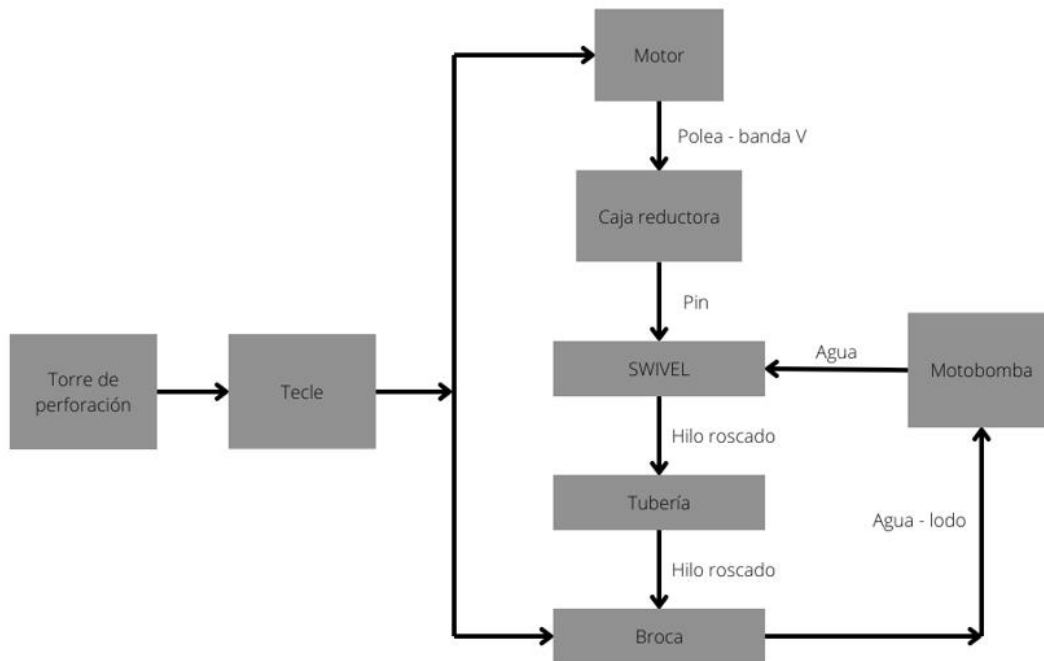


Figura 19 Diagrama de funcionamiento perforadora A. Propio.

- **Perforadora B**

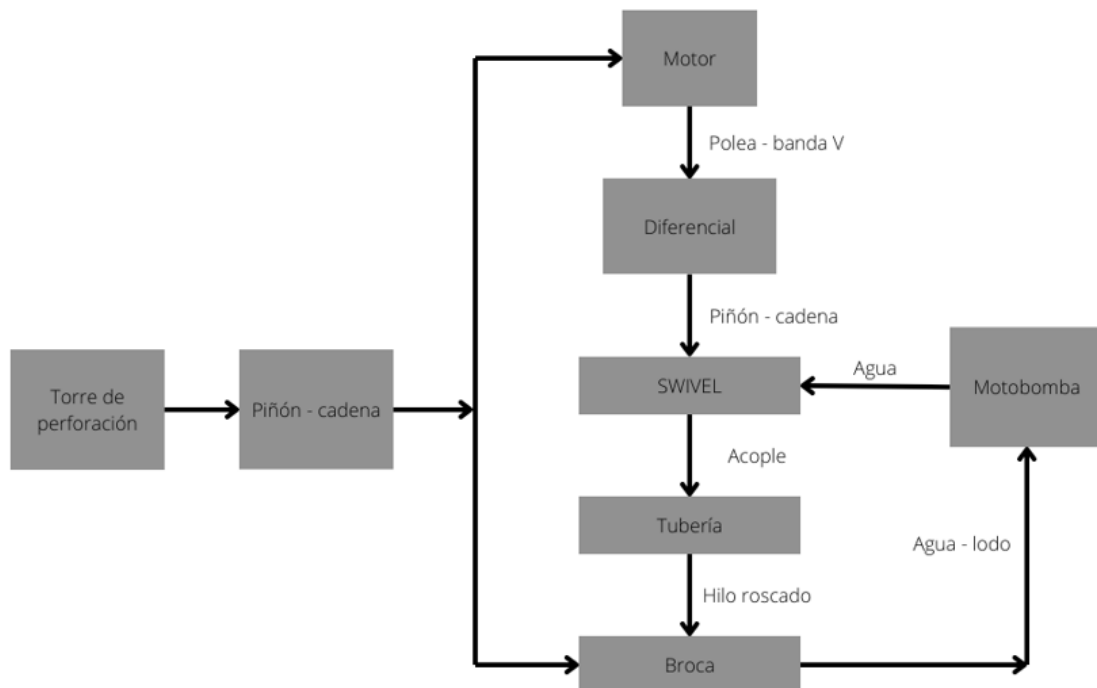


Figura 20 Diagrama de funcionamiento perforadora B. Propio.

4.1.2 Problemática de perforadoras mecánicas en la región Lambayeque

Ante la ausencia de un correcto plan de diseño para la fabricación de estas máquinas, su vida útil y calidad de servicio es limitado. Esto sucede porque sus sistemas de funcionamiento no están dimensionados correctamente o se omitieron para abaratar costos. Actualmente existen formas de mejorar perforadoras mecánicas haciendo el uso de sistemas hidráulicos; sin embargo, utilizar este sistema conlleva un gasto económico considerable y prácticamente la modificación completa de la máquina original.

Los problemas esenciales presentes en las perforadoras mecánicas de estudio y en general se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 9

Problemática de perforadoras inspeccionadas

Problema	Máquina A	Máquina B
Presión	Baja	Baja
Dirección	Ineficiente	Ineficiente
Desplazamiento	No uniforme	No uniforme
Embrague	No presenta	No presenta
Retroceso	No presenta	No presenta

Nota: Las características descritas fueron tomadas en el lugar de efecto, a partir de esta se pudo identificar la problemática y desventajas que estas poseen. Propio.

Los 5 puntos tomados en la tabla anterior muestran los problemas actuales en las perforadoras visitadas. La ausencia de estas funciones en las máquinas genera una problemática que se manifiestan de la siguiente manera:

- Presión no continua e insuficiente para vencer el terreno
- Sistema de empuje y avance deficiente
- Desplazamiento no uniforme
- Pandeo en tubería de perforación

4.1.3 Parámetros de diseño

1. Altura de la máquina

La altura estándar de las torres de perforación en perforadoras rotativas oscila entre los 10 y 13 pies de altura. Bellido [24, p. 49], manifiesta que la altura óptima en una perforadora mecánica es de 3 metros (10 pies aproximadamente). Entonces la altura para la perforadora será de 3 metros esto para evitar pandeo en la tubería de perforación.

2. Diámetro de perforación

El diámetro estándar de perforación se determina por el manual para el diseño y construcción de pozos [23, p. 49], el cual establece que los diámetros para un pozo perforado son de **4** hasta **12** pulgadas.

Cabe recalcar que el diámetro es el inicial, el cual se utiliza hasta llegar a la profundidad estimada, después el pozo es ensanchado aumentando su diámetro

Se considera un diámetro de perforación equivalente a 6 pulgadas.

3. Tubería de perforación

El diámetro y longitud de la tubería de perforación se rige por el Instituto Americano del Petróleo (API) [33], el cual norma las características de las tuberías de perforación en función al diámetro de perforación.

Por consideraciones de diseño establecidas en el diámetro de perforación de 6 pulgadas, se selecciona la siguiente tubería:

- Diámetro nominal: 2''
- Espesor de la pared: 3 – 5 mm
- Longitud: 2 metros

Los primeros tramos de tubería se considerarán 2 metros, esto para evitar el pandeo de la tubería al momento de la perforación.

4. Tecnología de operación

Transmisión mecánica.

Bermedo [11, p. 50] propone optar por la fabricación de un sistema de perforación mecánico debido a su eficiencia y versatilidad de diseño.

5. Brocas de perforación

Para formaciones de suelo con presencia de arenas, limos y arcilla Gonzalo Cabrero [34] afirma el uso de brocas con inserto de diamantes naturales, tricónicas, trialetas y brocas con insertos de diamante (PDC).

6. Profundidad de perforación

Bellido [24, p. 51] y Cabrero [34, p. 51], afirman que las profundidades alcanzadas por una perforadora rotativa están en un rango de 25 m como profundidad mínima, 50 m como profundidad aceptable y 70 m como profundidad máxima.

Para tener un valor exacto de este parámetro, la Administración Técnica del Distrito de Riego Chancay – Lambayeque [3, p. 51] establece que en la región Lambayeque las profundidades generales de los pozos construidos son:

Tabla 10
Profundidades de pozos tubulares

Tipo de pozo	Tubular	Tajo abierto
Profundidad mínima	6.55 m	1.79 m
Profundidad máxima	69.50 m	24.8 m

Nota: Las dimensiones plasmadas en la tabla son un valor promedio general de los pozos perforados en el territorio de la región Lambayeque. [3].

Entonces tomamos como valor promedio 70 metros de profundidad.

4.1.4 Exigencia y deseos para el diseño

Luego de mencionar los parámetros de diseño, es necesario contar con las consideraciones y restricciones necesarias, por ello se planteó los siguientes puntos donde se describe las exigencias que se tendrán en cuenta al momento de diseñar la máquina.

Las exigencias de diseño nacen a raíz de las desventajas de las perforadoras analizadas en el punto 4.1, entonces las exigencias a tomar en cuenta son:

- **Presión en sistema de empuje**

Esta exigencia está presente para evitar que el operario utilice su fuerza para desplazar la plataforma de perforación, además de ayudar a ejercer presión en el sistema cuando este choque contra sedimentos duros o se atrape entre el lodo.

- **Geometría**

Esta exigencia se presenta para evitar el uso de tuberías de larga sección y posterior evitar el pandeo en las tuberías al momento de iniciar la perforación.

- **Carga**

Se considera esta exigencia para diseñar un bastidor o torre de perforación que sea capaz de resistir un peso máximo de 4 Ton.

- **Sistema de retroceso**

Esta exigencia es una de las más necesarias en el diseño de la perforadora, porque ayudará a aumentar la eficiencia al momento de acoplar las tuberías y rescatar la broca cuando esta sea atrapada en el transcurso de la perforación.

- **Sistema de embrague**

Esta exigencia es necesaria para poder neutralizar el sistema de transmisión en cualquier evento posible sin recurrir a la necesidad de apagar la máquina por completo.

- **Plataforma de elevación**

Esta exigencia se presenta para que el desplazamiento de la plataforma de perforación se dé por medio de rodamientos que estén en contacto con la torre de perforación y no recurrir al desplazamiento por fricción el cuál es menos eficiente.

4.1.5 Estructura de funciones

Las funciones relacionadas a la perforadora serán las siguientes:

- **Empujar**

Al encender la perforadora, la máquina empezará a ejercer presión sobre el terreno.

- **Perforar**

Con la presión ejercida por la perforadora, la broca y la tubería empezarán a perforar el terreno y dar paso a la formación del pozo.

- **Circulación de lodos**

La bomba de lodos se encargará de mantener la circulación del agua en el sistema, para mantener húmedo el terreno, lubricar la broca y permitir a esta ceder más fácil en el terreno.

- **Retroceso**

Cuando la broca y la tubería logran su profundidad máxima de perforación, se ejecuta el cambio de marcha para poner el sentido de giro de la perforadora en retroceso y acoplar el siguiente tramo de tubería.

- **Elevar**

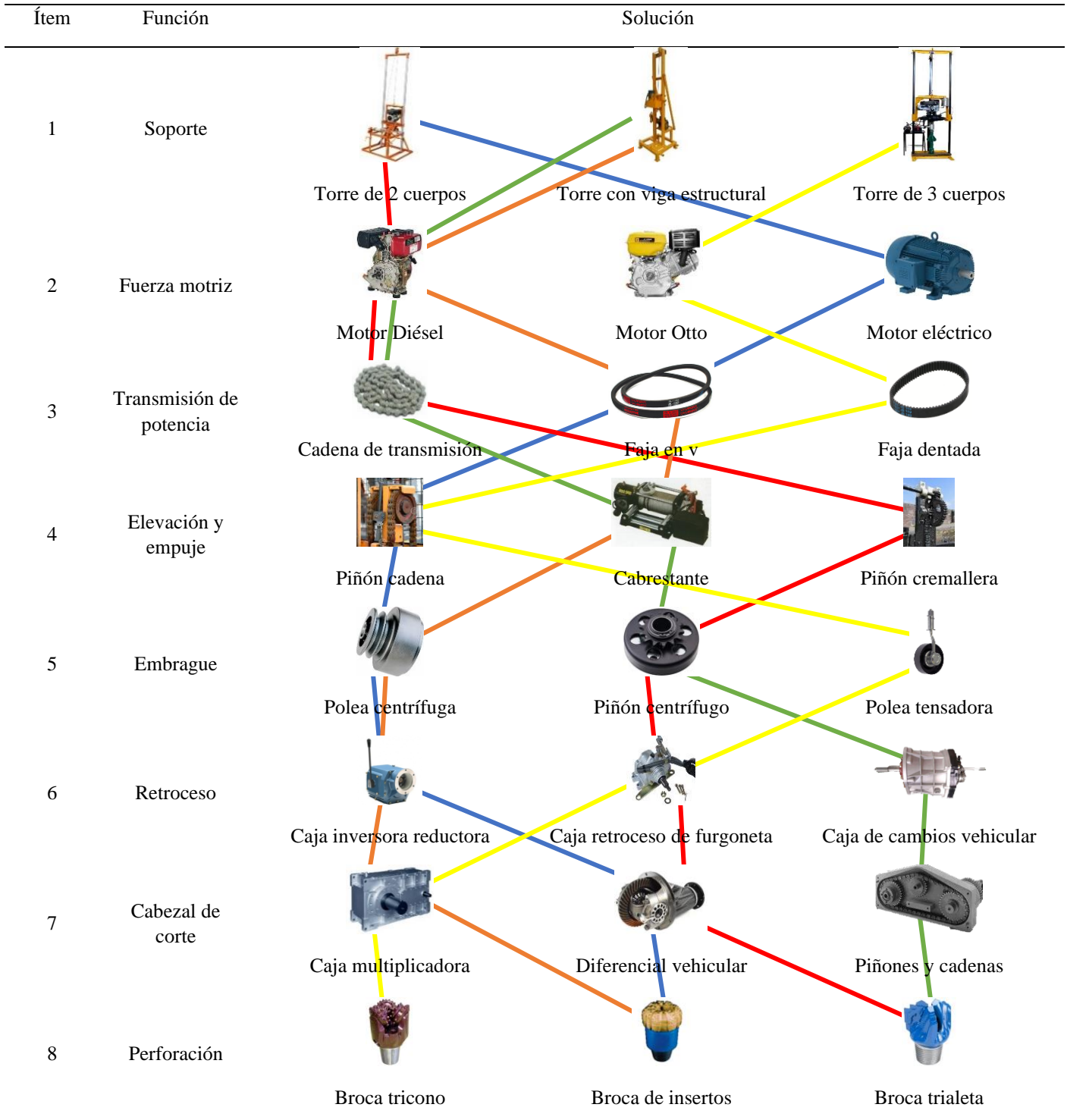
Cuando la marcha de retroceso está activada, se procede a elevar la broca con las tuberías para el acoplamiento de otro cuerpo de perforación.

Una vez definida las funciones que realizará la máquina, se procede a establecer la matriz morfológica, donde se expondrán los conceptos de solución posible para escoger el diseño óptimo para la perforadora.

4.1.6 Matriz morfológica

Tabla 11

Matriz morfológica de Zwicky



Nota: La matriz morfológica explora y combina diversas opciones para cada componente del diseño de la máquina. Cada columna representa un aspecto clave y las filas contienen alternativas evaluadas. Propio.

Tabla 12

Detalle de componentes

SOLUCIÓN	COMPONENTES
1	<ul style="list-style-type: none"> • Torre de dos cuerpos • Motor eléctrico • Faja en v • Sistema piñón cadena • Polea centrífuga • Caja inversora reductora • Sistema de transmisión vehicular
2	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Torre con viga estructural ➤ Motor Diésel ➤ Cadena de transmisión ➤ Cabrestante ➤ Piñón centrífugo ➤ Caja de cambios vehicular ➤ Reducción por piñones y cadenas ➤ Broca trialeta
3	<ul style="list-style-type: none"> • Torre de dos cuerpos • Motor Diésel • Cadena de transmisión • Piñón cremallera • Piñón centrífugo • Caja de retroceso de furgoneta • Diferencial vehicular • Broca trialeta
4	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Torre de 3 cuerpos ➤ Motor Otto ➤ Faja dentada ➤ Sistema piñón cadena ➤ Polea tensadora ➤ Caja de retroceso de furgoneta ➤ Caja reductora ➤ Broca tricono
5	<ul style="list-style-type: none"> • Torre con viga estructural • Motor Diésel • Faja en V • Cabrestante • Polea centrífuga • Caja inversora reductora • Caja reductora • Broca de insertos

Nota: Cada celda coloreada indica la posible solución de diseño con sus respectivos componentes. Propio.

4.1.7 Conceptos de solución

A continuación, se detalla las soluciones obtenidas en la matriz morfológica.

a) Concepto solución 1

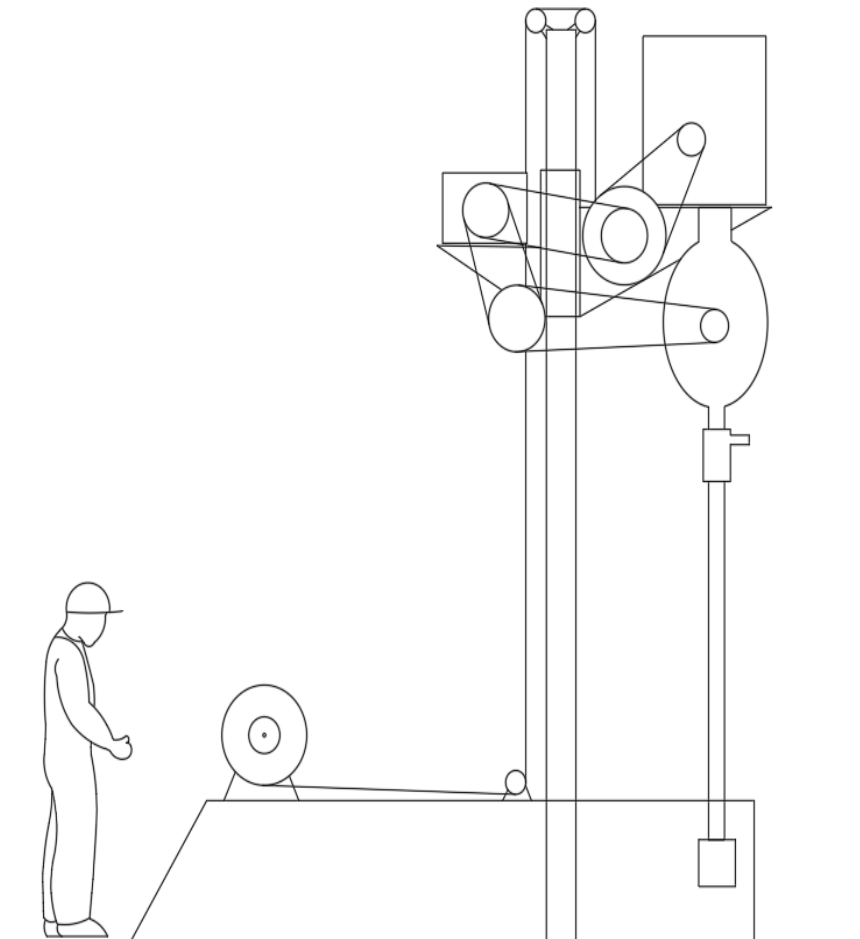


Figura 21 Concepto de solución 1. Propio.

El funcionamiento de esta perforadora es la más simple de montar y fabricar, pues parte con el uso de una torre de perforación de dos cuerpos, broca con inserto de diamantes y mecanismo de empuje y elevación impulsado por piñones y cadenas de transmisión. La fuerza motriz de esta perforadora será un motor eléctrico que se acoplará directamente a la caja inversora reductora, la polea centrífuga se acoplará al eje de salida de la caja y se conectará con otra polea que está conectada con el diferencial vehicular. Cuando se disminuya la aceleración del motor, se activa el sistema de embrague gracias a la polea centrífuga, además, en ese tiempo si el operario requiere puede efectuar el cambio de giro en el sistema. Este modelo de diseño ovia el uso de una caja reductora y utiliza la relación de transmisión potencia al diferencial vehicular, el cual impulsará la tubería de perforación.

b) Concepto solución 2

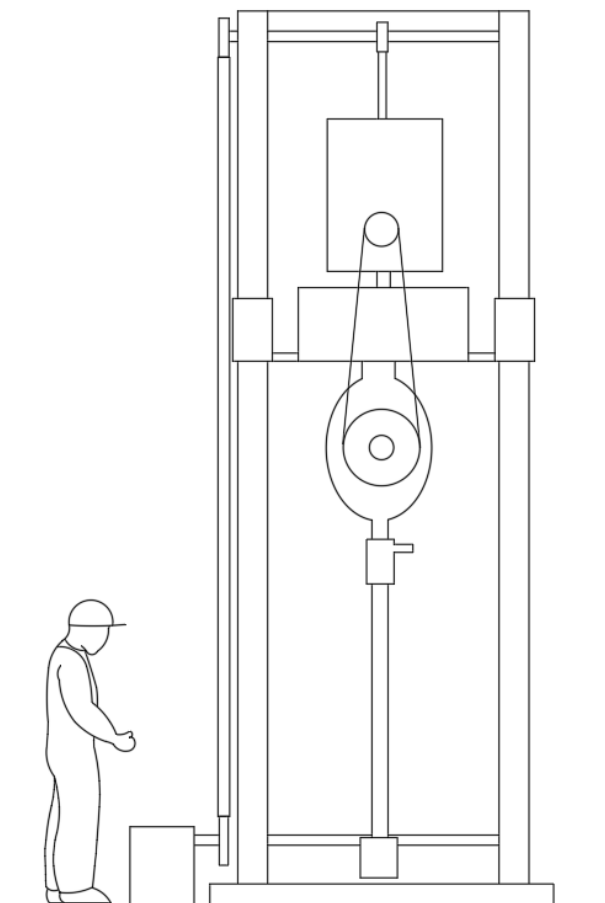


Figura 22 Concepto de solución 2. Propio.

Este concepto implementa un sistema diferente al primero, pues parte por el uso de vigas con perfil estructural, no obstante, esta presenta una base simétrica, situando toda la carga al centro; usará como fuerza motriz un motor estacionario diésel y utilizará broca trialeta para su funcionamiento. El motor estará acoplado a un piñón centrífugo que se conectará con la caja de cambios vehicular mediante cadenas de rodillo; este sistema cuenta con dos formas de embrague, una por el piñón centrífugo y la otra por la caja de cambios vehicular, además que una variación de velocidad producto de las 5 marchas que posee, cabe señalar que en funcionamiento normal la marcha de la caja será en tercera. La reducción de transmisión se conforma con el uso de piñones y cadenas; el último tramo de reducción se acoplará en el diferencial, donde se colocarán las tuberías.

El sistema de empuje y avance se dará mediante el uso de un cabrestante industrial, este diseño también omite el uso de una caja reductora.

c) **Concepto solución 3**

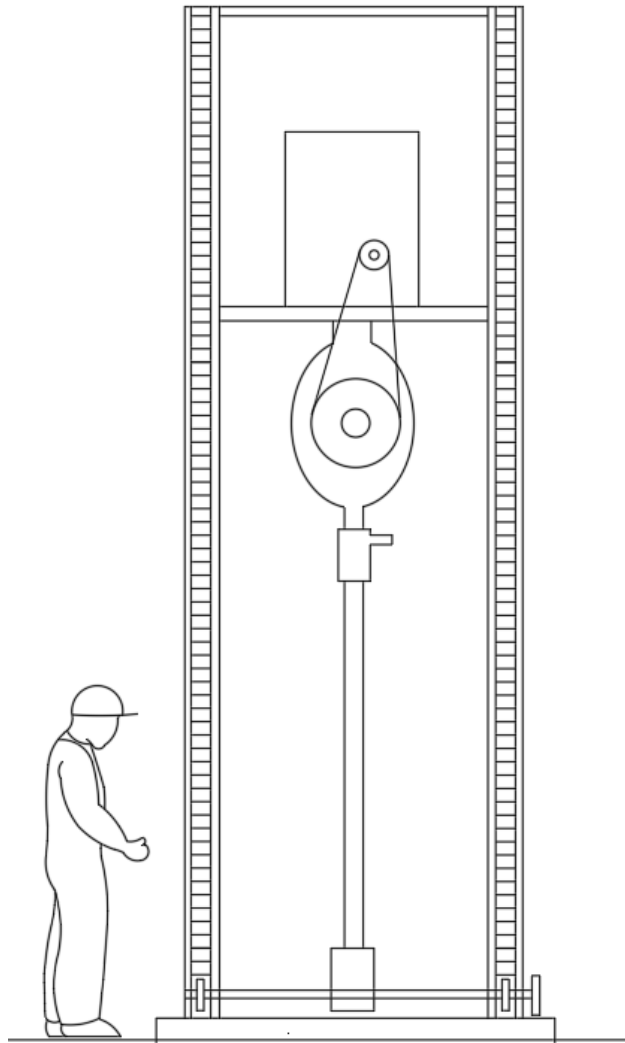


Figura 23 Concepto de solución 3. Propio.

Este concepto parte de una torre de perforación de dos cuerpos similar al concepto número 1, no obstante, esta torre estará anclada a una base rectangular. El sistema será impulsado por un motor diésel que contará con un piñón centrífugo a la salida y estará acoplado a una caja de retroceso de furgoneta por medio de cadenas de rodillo; al igual que el primer concepto utilizará un diferencial vehicular para la reducción de la transmisión. El sistema también cuenta con embrague gracias al piñón centrífugo.

Este diseño utilizará brocas trialeta y su sistema de avance y empuje se dará gracias a un sistema de avance vertical por piñón y cremallera, que será impulsado por un segundo motor. Este concepto también omite el uso de una caja reductora de velocidad.

d) Concepto solución 4

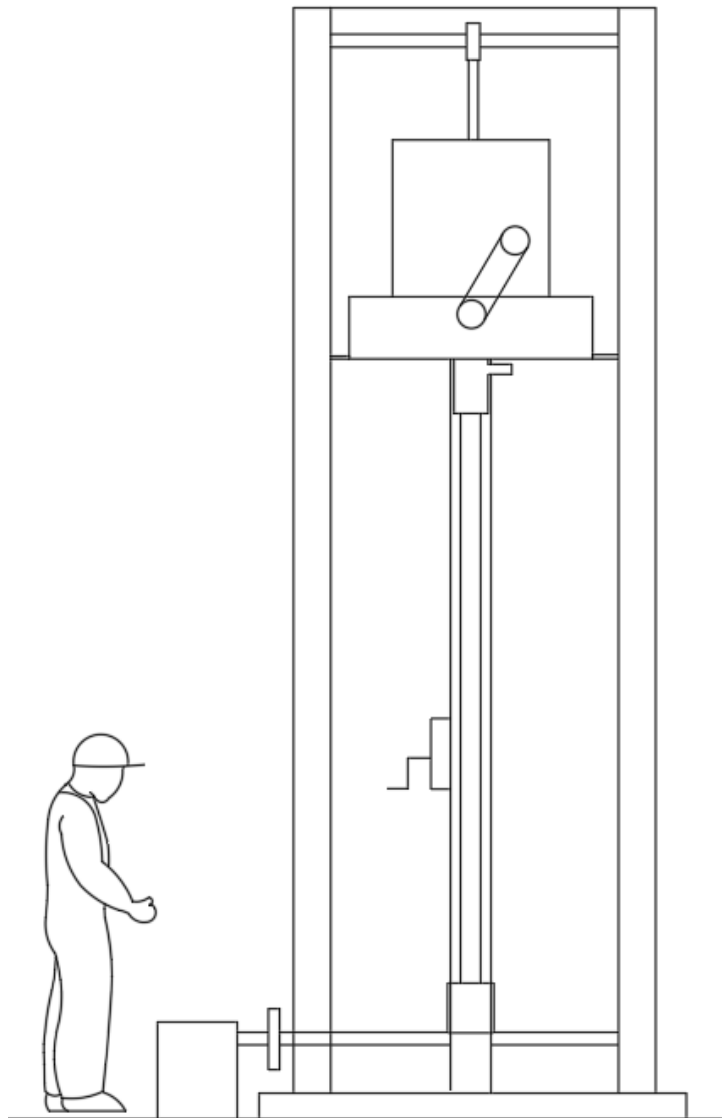


Figura 24 Concepto de solución 4. Propio.

En el presente concepto se utilizará una torre de tres cuerpos, la cual contará con una base triangular, acoplando los postes de la torre con forma de triángulo. El sistema será impulsado por un motor Otto el cual estará conectado a una caja de retroceso de furgoneta por medio de poleas y bandas de transmisión; el sistema de embrague se realiza por medio de una polea tensadora, la cual permitirá activar la transmisión entre el motor y la caja. El sistema de empuje estará compuesto por un sistema de piñones y cadenas.

En el eje de salida de la caja de retroceso se instalará una polea que se conectará con la caja reductora, donde se acoplará la tubería de perforación. Este sistema utilizará brocas tricónicas

e) **Concepto solución 5**

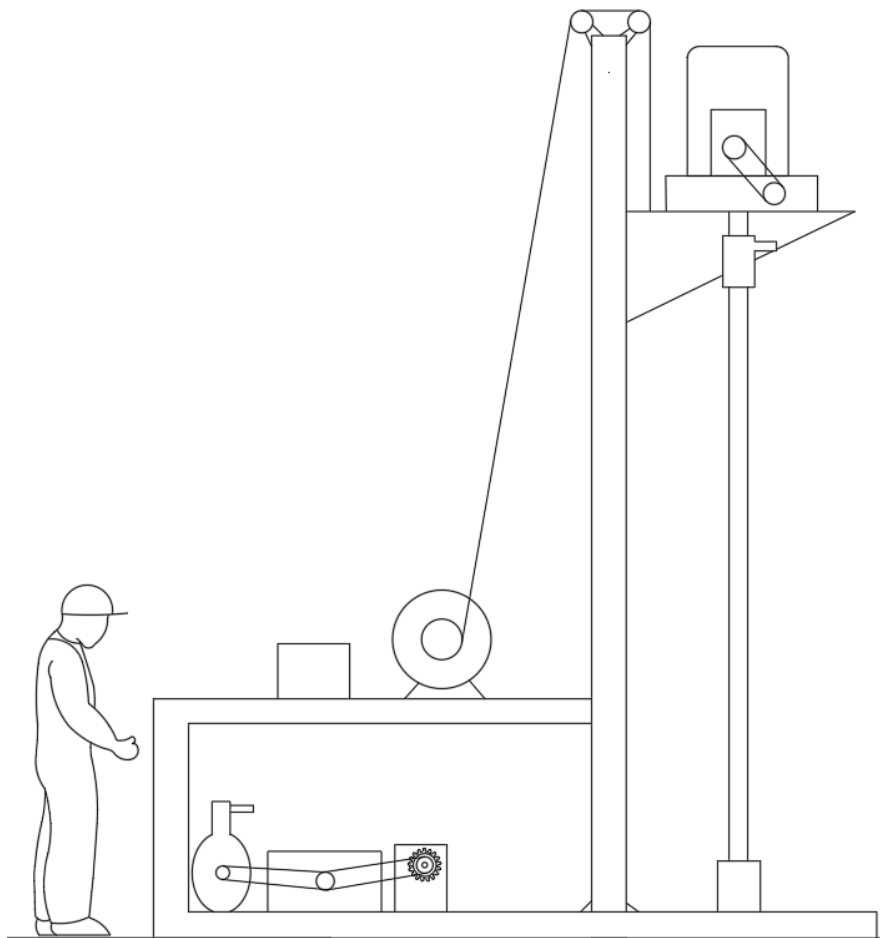


Figura 25 Concepto de solución 5. Propio.

En este concepto de solución empieza por el uso se muestra una viga estructural similar al concepto número dos. Como fuerza motriz tendrá un motor Diésel, el cual irá conectado a una caja inversora reductora de manera directa, a la salida de la caja inversora estará acoplada una polea con embrague centrífuga que neutralizará el sistema cuando se desacelera el motor. La polea con embrague se conectará a la caja reductora por medio de poleas y bandas en V.

El operador de la máquina manipulará el equipo desde un panel de control donde controlará el empuje y elevación que será efectuado por un sistema vertical de un cabrestante o malacate, Además, la broca utilizada será la de insertos que debido a sus diamantes impregnados, son aptas para perforar formaciones rocosas que presentan alta dureza y abrasividad.

4.1.8 Evaluación técnico económica de conceptos de solución

En función a los requerimientos de diseño planteados se establecieron criterios económicos y técnicos para evaluar la mejor solución posible. Se hizo uso de la normativa de diseño VDI 2225 adoptada por [32, p. 60], la cual establece una asignación de valores de 1 a 4, siendo 4 el valor máximo para una solución perfecta. Cómo calificación general se establecieron los rangos: Solución deficiente, buena solución y muy buena solución.

Tabla 13

Evaluación técnico económica de conceptos de solución – VDI 2225

Variables de concepto / proyecto		Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución 4		Solución 5		Solución ideal		
N°	Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	p	Gp
1	Perforación	2	1	2	2	4	1	2	1	2	3	6	4	8
2	Montaje	1	3	3	2	2	2	2	3	3	2	2	4	4
3	Diseño	2	2	4	1	2	1	2	2	4	3	6	4	8
4	Mantenimiento	2	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	4	8
5	Ergonomía	2	2	4	2	4	3	6	2	4	2	4	4	8
6	Confiabilidad	2	2	4	1	2	2	4	1	2	3	6	4	8
7	Transporte	2	3	6	3	6	2	4	3	6	2	4	4	8
8	Rigidez	2	2	4	1	2	1	2	2	4	3	6	4	8
9	Operación	1	3	3	2	2	2	2	2	2	3	3	4	4
10	Seguridad	2	2	4	2	4	2	4	2	4	3	6	4	8
Puntaje máximo		22	38	18	32	18	32	20	35	26	47	40	72	
Valor técnico		0,53		0,44		0,44		0,49		0,65		1		
1	Cantidad de piezas	2	2	4	2	4	2	4	1	2	3	6	4	8
2	Adquisición de materiales	1	3	3	2	2	2	2	3	3	2	2	4	4
3	N° operarios	2	2	4	1	2	1	2	2	4	3	6	4	8
4	Producción	2	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	4	8
5	Costo operaciones	2	2	4	2	4	3	6	2	4	2	4	4	8
Puntaje máximo		11	19	9	16	10	18	10	17	12	22	20	36	
Valor técnico		0,26		0,22		0,25		0,24		0,31		1		

Nota: Se han establecido 10 variables técnicas y 5 variables económicas para evaluar las soluciones. Se comparan en base a la solución ideal que tiene puntuación perfecta. Propio.

Cómo siguiente paso se graficó los valores de cada variable en un gráfico de dispersión, donde según la normativa nos indica que la mejor solución es el punto que esté más cerca de la línea de tendencia.

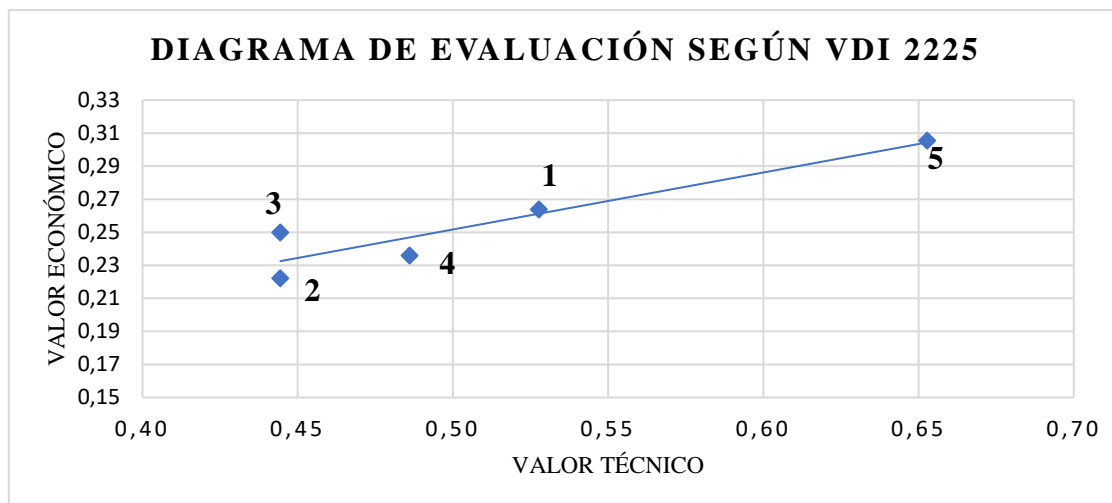


Figura 26 Diagrama de evaluación – VDI 2225. Propio.

Después de aplicar la tabla de evaluación de conceptos, la opción más cercana a la solución óptima es el concepto 5.

4.2 Diseño de sistema de transmisión

4.2.1 Cálculo de la potencia de rotación

Manuel Alfonso De Gracia Peñaloza [35] manifiesta que la dureza de las rocas es directamente proporcional al suelo donde se encuentran y cómo en la región Lambayeque se localizan suelos con origen arcilloso, limoso y gravilla es más sencillo clasificar su dureza. No obstante, este proyecto va dirigido para que su construcción sea en zonas de la región donde no se tiene acceso a un servicio de agua potable de calidad y se tiene que recurrir al uso de agua subterránea. Según el ANA [22, p. 63] las zonas afectadas son Pampagrande, Motupe, Pítipo, Cayaltí, Zaña, Pacora, Mochumí, Ferreñafe, Nueva Arica, Oyotún y Salas, los cuales según estudios hidrológicos y geológicos de fuentes gubernamentales tienen buena presencia de napa freática y sus rocas tienen una clasificación de “Duras”.

El cálculo de potencia de rotación de la máquina diseñada se realizó en base a la clasificación de rocas duras. Sin embargo, se presentarán gráficos con detalles técnicos de diseño para suelos donde se presenten rocas con dureza media y blanda.

4.2.1.1. Fuerza de empuje sobre la roca

Para calcular la fuerza de empuje se utiliza la parametrización normada por la ISRM (Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas). Feijoo y Padrón [36] y Aparicio Morales [37] sintetizaron los datos establecidos por la ISRM y establecieron los parámetros donde

se afirma que la resistencia a la compresión es directamente proporcional con la velocidad de corte.

Tabla 14

Resistividad vs velocidad de rotación. [36].

Roca		Muy blanda	Blanda	Mediana	Dura	Muy dura
Resistencia a la compresión	(Sc) Mpa	< 5	5 - 25	25 - 50	50 - 100	> 100
Velocidad de rotación	(N) rpm	120 - 100	100 - 80	80 - 60	60 - 40	40 - 30

Nota: La resistencia a la compresión manifiesta la tenacidad de las rocas ante el avance de la broca. [36] [37].

En el punto anterior señalamos que se utilizará el valor para rocas duras, que tienen un valor de resistencia a la compresión de **50 MPa** que es directamente proporcional a una velocidad de corte de **60 rpm**.

Una vez establecido los datos necesarios de cálculo, hallamos las fuerzas de empuje necesarias para vencer las rocas, para ellos utilizaremos fórmulas empíricas establecidas por el autor Aparicio Morales [37, p. 63] y descritas por el ingeniero Pariente [8, p. 63]. Se realizan estos cálculos para determinar cuanta fuerza necesita ejercer nuestro sistema de perforación para vencer el terreno. Se sabe que la fuerza de empuje es proporcional a la dureza de la roca en el terreno; además, esta fuerza no debe exceder los límites de resistencia a la compresión porque puede conllevar a un desgaste prematuro de las brocas de perforación.

1. Fuerza de empuje mínima

El cálculo de esta fuerza se describe por la siguiente ecuación:

$$F_{min} = 28,5 * S_c * \varphi [lb]$$

Donde:

S_c = Resistencia a la compresión de la roca

φ = Diámetro de perforación en pulgadas

Entonces, seleccionamos un $S_c = 50 MPa$ y un $\varphi = 6''$.

$$F_{min} = 28,5 * 50 MPa * 6''$$

$$F_{min} = 8 550 lb = \mathbf{38, 0323 kN}$$

2. Fuerza de empuje máxima

$$F_{max} = 2 * F_{min}$$

$$F_{max} = 2 * 8 550 lb$$

$$F_{max} = 17\,100\,lb = 76,064\,kN$$

3. Fuerza de empuje límite

$$F_{lim} = 810 * \varnothing_{broca}^2$$

Donde:

\varnothing = Diámetro de perforación

$$F_{lim} = 810 * (6\,pulg)^2$$

$$F_{lim} = 29\,160\,lb = 129,7101\,kN$$

4. Cálculo de potencia de rotación

Finalmente, con todos los datos establecidos calculamos la potencia de rotación que se necesita para poner en marcha la perforadora.

$$HP_r = 8,55 * 10^{-9} \varnothing^2 N_r F_{min}^2$$

Donde Nr: Velocidad de rotación

$$HP_r = 8,55 * 10^{-9} * (152,4\,m)^2 * 60\,rpm * (38,0323\,kN)^2$$

$$HP_r = 17\,hp$$

Consultando catálogo de motores diésel, observamos que no se encuentran motores comerciales con potencia de 17 Hp, entonces utilizaremos un motor con una potencia cercana y superior de 20 Hp para consideraciones de diseño.

Tabla 15

Potencia y velocidad de rotación por dureza de roca

Dureza de roca (MPa)	Potencia de rotación (hp)	Velocidad de rotación (rpm)
Blanda	5	6
Mediana	25	17
Dura	50	46

Nota: Después de calcular la potencia de rotación necesaria para el tipo de roca seleccionado, se muestran los resultados de los cálculos con los otros 2 tipos de rocas existentes en la región Lambayeque. Estos resultados sirven para el dimensionamiento en otras zonas de la región con otro nivel de dureza de las rocas. Elaboración propia.

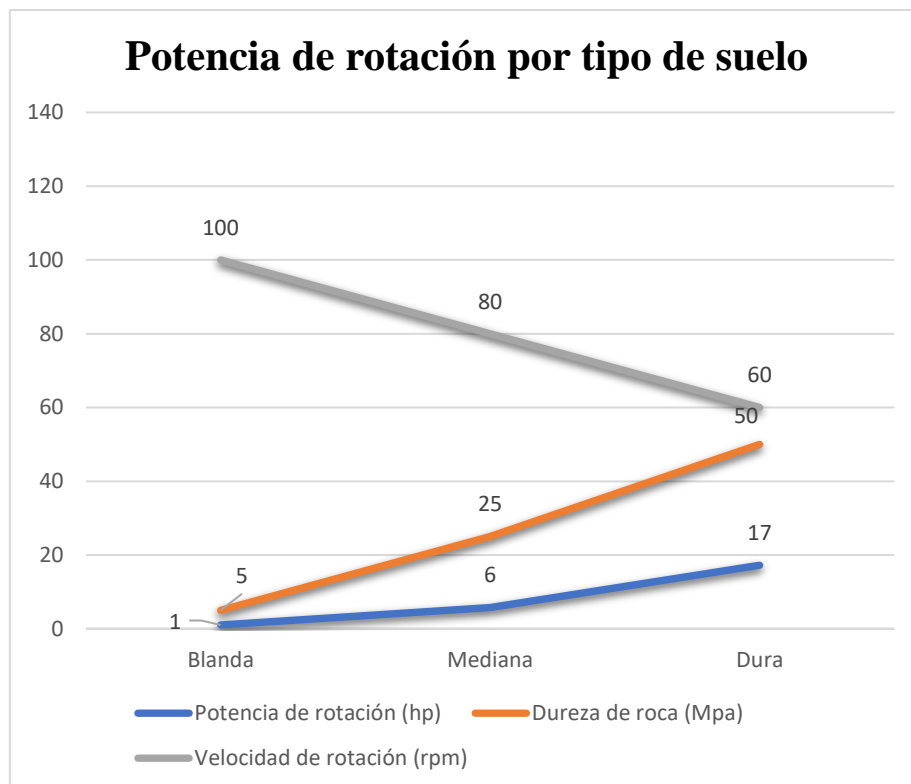


Figura 27 Potencia y velocidad de rotación por tipo de suelo. Propio.

Nota: El gráfico demuestra el comportamiento de la potencia y la velocidad de rotación para el diseño de una máquina perforadora en función de la dureza de las rocas. Se observa que a mayor dureza la velocidad de rotación disminuye y la potencia aumenta.

4.2.2 Dimensionamiento de sistema de transmisión

Para realizar el dimensionamiento del sistema de transmisión empezamos describiendo las características generales de la máquina:

Tabla 16

Características de máquina perforadora

Descripción	Valor
Horas de trabajo	8 horas
Potencia de rotación	20 hp
Velocidad de salida	60 rpm

Nota: Se establecieron las horas de servicio para la máquina en relación al régimen de trabajo más común en el Perú que es 6x1 por 8 horas diarias según señala la Ley Peruana. Elaboración Propia.

4.2.2.1. Fuerza motriz (Motor diésel)

Para la selección del motor se optó por un motor comercial que pueda ser conseguido de forma local en la región Lambayeque o a nivel nacional; el seleccionado fue un motor de 20 hp marca Bonelly.

Tabla 17

Especificaciones técnicas de fuerza motriz

Detalle técnico	Valor
Peso	50 kg
Velocidad nominal	3600 rpm
Potencia nominal	15 kW
Tipo de motor	4 tiempos diésel
Estilo frío	Refrigerado por aire
Arranque	Eléctrico

Nota: Los detalles técnicos mostrados corresponden a la ficha técnica proporcionada por el fabricante. Elaboración propia.

4.2.2.2. Caja inversora reductora (CIR)

A la salida del motor principal irá conectado una caja inversora reductora; esta irá acoplada de manera directa al eje de salida del motor. Según datos de fabricante este equipo tiene una reducción de salida de 2:1, reduciendo considerablemente el giro del sistema y aumentando el par torsional. Se optó por la utilización de esta marca por las prestaciones industriales que sus equipos poseen, además de la tecnología de manufactura. Los datos técnicos de este equipo se pueden encontrar en el apartado de anexos (3).

4.2.2.3. Transmisión caja inversora – reductor

Para empezar con el dimensionamiento del sistema de transmisión que conectará la caja inversora con el reductor utilizaremos la metodología del autor Robert L. Mott [31, p. 66]. Como datos conocidos tenemos la velocidad de salida en el inversor con una reducción 2:1 (1 800 rpm) y el uso de una polea de 4” como conductora.

Datos:

$$d_1 = 4 \text{ pulg} = 101,6 \text{ mm} \quad d_2 = ?$$

$$n_1 = 1\,800 \text{ rpm} \quad n_2 = 1\,020 \text{ rpm}$$

$$n_1 * d_1 = n_2 * d_2$$

$$1\,800 \text{ rpm} * 101,6 \text{ mm} = d_2 * 1\,020 \text{ rpm}$$

$$d_2 = \frac{1\,800 \text{ rpm} * 101,6 \text{ mm}}{1\,020 \text{ rpm}} = 179,3 \text{ mm} = 7 \text{ pulg}$$

1) Potencia de diseño:

$$P.D = P.E * f_s$$

Donde:

$P.D = \text{Potencia de diseño}$

$P.E = \text{Potencia de entrada}$

$f_s = \text{factor de servicio}$

Para hallar realizar los cálculos utilizaremos las tablas proporcionadas por el mencionado autor Robert L. Mott [31, p. 67], las cuales están expuestas en el aparatado de anexos (5)

En el anexo 5.1 escogemos el factor de servicio de **1.5**, por encontrarse en la intersección de las características (6 – 15) horas de trabajo diario, motor de combustión interna: 4 cilindros o menos y máquina transportadora pesada

Una vez escogido el factor reemplazamos en la fórmula:

$$P.D = 20 \text{ hp} * 1,5 = \mathbf{30 \text{ hp}}$$

2) Relación de velocidad

$$R.V = \frac{v_e}{v_s}$$

Donde:

$R.V: \text{Relación de velocidad}$

$v_2 = \text{Velocidad de entrada}$

$v_s = \text{Velocidad de salida}$

$$R.V = \frac{1800 \text{ rpm}}{1020 \text{ rpm}} = \mathbf{1,76}$$

3) Tipo de banda

Utilizamos la gráfica de potencia por giro de eje de motor expresada en el anexo 5.2. Nuestro punto de intersección parte de la potencia de diseño (30) y la velocidad del eje rápido (1 800). Una vez ubicado nuestro punto, observamos que la correa apropiada para el sistema es de la categoría 3V O 3VX.

4) Potencia nominal real

Con el tipo de banda seleccionado, los diámetros de las poleas y la potencia de diseño, procedemos a calcular la potencia nominal real:

$$P.N.R = P.N.B + P.A$$

Donde:

$P.N.B = Potencia\ nominal\ por\ banda$

$P.A = Potencia\ agregada$

Utilizamos la gráfica de diámetro de paso por potencia nominal expresada en el anexo 5.3. Ubicamos nuestro punto de intersección entre el diámetro de la polea menor (4) y la curva de rpm (1 750), para finalmente tener una potencia nominal por banda de **4hp**.

Para hallar la potencia agregada utilizamos la gráfica de potencia (anexo 5.4) agregada en función de la relación de velocidades, para bandas en V. Ubicamos nuestra relación de velocidad (1,76), y la interceptamos con la curva de rpm (1750), obteniendo como resultado una potencia agregada de **1.74 hp**.

Entonces:

$$P.N.R = 4 + 1,74 = 5,74hp$$

La potencia nominal real del sistema es **5,74 hp**.

5) Distancia entre centros

La distancia entre centros se basa de la siguiente relación:

$$D_1 < C < 3(D_2 + D_1)$$

Entonces reemplazamos:

$$4 < C < 3(7 + 4)$$

$$4 < C < 33$$

Esta relación nos quiere decir que la distancia entre centros de nuestra polea debe estar entre 4 y 33 pulgadas. En este caso, utilizaremos una distancia entre ejes de **10''**.

6) Longitud de la banda

Con todos los datos obtenidos anteriormente, procedemos a calcular la longitud de la banda, que se rige por la siguiente formula:

$$L = 2C + 1,57(D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4C}$$

Reemplazamos:

$$L = 2(10) + 1,57(7 + 4) + \frac{(7 - 3)^2}{4(10)} = 37,6 \text{ pulgadas}$$

Tenemos como resultado que la longitud de la correa debe ser de **37,6** pulgadas. Consultando en catálogos de diseño si existe faja de estas dimensiones.

7) Calcular distancia entre ejes real

Omitimos este paso, puesto que la longitud de banda calculada si existe en el mercado.

8) Ángulos de contacto

Con la longitud de la banda calculada, procedemos hallar el ángulo de contacto entre las bandas y las poleas.

$$\theta_1 = 180^\circ - 2\text{sen}^{-1} \left[\frac{D_2 - D_1}{2C} \right]$$

$$\theta_2 = 180^\circ + 2\text{sen}^{-1} \left[\frac{D_2 - D_1}{2C} \right]$$

Reemplazamos:

$$\theta_1 = 180^\circ - 2\text{sen}^{-1} \left[\frac{7 - 3}{2(10)} \right] = 179,9^\circ$$

$$\theta_2 = 180^\circ + 2\text{sen}^{-1} \left[\frac{7 - 3}{2(10)} \right] = 180^\circ$$

9) Calcular número de bandas

Para calcular el número de bandas usamos la siguiente ecuación:

$$N^\circ \text{ de bandas} = \frac{\text{Potencia de diseño}}{\text{Potencia corregida}}$$

La potencia corregida se calcula:

$$\text{Potencia corregida} = P.N.R * C_\theta * C_L$$

Donde:

C_θ = Factor de corrección por ángulo

C_L = Factor de corrección por longitud

Para calcular el ángulo de contacto, utilizamos la gráfica de Factor de corrección por ángulo de contacto ubicada en el anexo 5.5. Ubicamos nuestro punto de intersección entre el ángulo de contacto (179,9) y la curva de diseño, obteniendo un factor de corrección de aproximadamente **0,99**.

Después calculamos la longitud de contacto utilizando las tablas de factor de corrección por longitud de banda (anexo 5.6). Ubicando las rectas en la gráfica el factor de corrección es **0,9**.

Con los datos de ambos factores de corrección, calculamos la potencia corregida para después hallar el número de bandas.

$$Potencia\ corregida = 5,74 * 0,99 * 0,9 = 5,11\ hp$$

$$N^{\circ}\ de\ bandas = 3$$

10) Resumen de diseño

Con los cálculos realizados, el diseño de nuestro primer subsistema quedaría de la siguiente manera:

- Entrada: Motor a combustión diésel 20 hp a 1 800 rpm.
- Factor de servicio: 1,5.
- Potencia de diseño: 30 hp.
- Banda: Sección 3V, 37,6 pulgadas de longitud, 3 bandas.
- Poleas: conductora: 4 pulgadas, conducida: 7 pulgadas.
- Velocidad de salida: 1 020 rpm

4.2.2.4. Transmisión caja reductora – eje de salida final

Una vez calculada la primera parte de reducción del sistema de transmisión y con la velocidad de la polea conducida, procedemos al cálculo de la selección de la caja reductora. Se ha considerado utilizar cajas reductoras de la empresa LENTAX [38], esto debido a su experiencia y calidad en la construcción de reductores de velocidad. El fabricante nos proporciona un manual con el procedimiento para la selección del reductor que más se adecue a nuestras necesidades, los pasos seguir son los siguientes:

1) Potencia de cálculo (N_a)

Por especificaciones técnicas del fabricante tenemos que la potencia del motor es: 15 kW \approx 20 Hp.

2) Potencia de entrada (N_e)

El fabricante LANTEX nos indica que sus cajas reductoras poseen un rendimiento del 98%. Entonces calculamos:

$$N_e = \frac{N_a}{r}$$

$$N_e = \frac{20 \text{ Hp}}{0,98} \approx 20 \text{ hp}$$

3) Velocidad de entrada (n_e)(rpm)

Este valor ya lo conocemos, pues es la velocidad de la polea conducida, este valor es 1 020 rpm.

4) Velocidad de salida (n_s)(rpm)

Al igual que la velocidad de entrada este dato ya lo conocemos, pues la velocidad final del sistema de transmisión es de 60 rpm.

5) Relación de transmisión (i)

Calculamos la relación de transmisión dividiendo la velocidad de entrada con la velocidad de salida.

$$i = \frac{n_e}{n_s}$$

$$i = \frac{1\ 020 \text{ rpm}}{60 \text{ rpm}} = 17$$

Con la relación de transmisión calculada, seleccionamos el tipo de caja reductora, en este caso utilizaremos la serie KTP – HU porque son cajas reductoras de tipo ortogonal.

6) Factor de servicio (F_s)

En este apartado seleccionamos los factores de servicio correspondientes a la máquina accionada, tipo de motor de accionamiento y cantidad de arranques por hora. Utilizamos los gráficos descritos en el anexo 6. Seleccionamos el factor de servicio 1,65 por ser una máquina con un funcionamiento de 8 horas diarias y con un funcionamiento tipo cabezal de corte.

7) Potencia de mando

Para calcular la potencia de mando multiplicamos la potencia de entrada por el factor de servicio.

$$N_m = N_e * F_s$$

$$N_m = 20 \text{ Hp} * 1,65 = \mathbf{33 \text{ hp}}$$

8) Selección de caja reductora

Cómo se indicó en el paso 5, seleccionamos una caja reductora de modelo KTP. Buscamos nuestra relación de transmisión y nuestra velocidad de salida final para corroborar que este reductor sea el adecuado para nuestro sistema. Sin embargo, nuestros datos obtenidos no se encuentran en el catálogo, por ellos interpolaremos nuestro valor para verificar que este cumpla y sea compatible con el reductor seleccionado.

Utilizamos la fórmula de la interpolación:

$$y = y_1 + \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)}(x - x_1)$$

$$y = 16 + \frac{(20 - 16)}{(51,1 - 63)}(60 - 63) = 17$$

Cómo se puede observar en la respuesta del cálculo anterior, la caja reductora KTP – 200 cumple con los requisitos necesarios para funcionar en nuestro sistema de transmisión. Se pueden ver las características del reductor seleccionado en el anexo 6.

4.3 Diseño de bastidor o torre de perforación

Para diseñar la torre y el bastidor de perforación utilizamos tuberías de acero ASTM A500 debido a su alta resistencia en estructuras de soporte y transporte, además por sus propiedades químicas que la hacen resistente a la corrosión. Para tomar las características usamos los datos proporcionados por Aceros Arequipa [39], expuestas en el anexo 7.

El siguiente paso para el diseño de la torre de perforación es calcular las fuerzas a las que estará sometida cuando tenga todos los componentes en estado de suspensión y las fuerzas de reacción producto de la compresión del terreno. Las fuerzas para calcular son las siguientes:

4.3.1 Fuerza de compresión

Esta fuerza se genera por la reacción de la fuerza que ejerce la broca cuando empuja el suelo, es decir, es una reacción opuesta. Para esta situación tomamos la fuerza de empuje mínima calculada es 38,0323 kN.

Entonces:

$$F_E = F_{trabajo} = 38,0323 \text{ kN}$$

4.3.2 Fuerza de tensión

La fuerza tensión se genera cuando los componentes de la perforadora se encuentran suspendidos en cualquier trayecto de la torre de perforación. Entonces para calcular esta fuerza debemos calcular el peso de todos los componentes y sumar el peso total, los componentes que se consideran son: la tubería de perforación, el swivel, la broca, la plataforma de elevación y demás componentes que se encuentren suspendidos al momento de la extracción.

a) Peso de la tubería

Según el Instituto Americano del Petróleo (API) [33, p. 75] recomienda el uso de tuberías tipo API 5DP y API SPEC 7 para trabajos de perforación pesada y a elevadas profundidades; sin embargo, para perforaciones a bajas profundidades y con menor resistencia del terreno se puede optar por el uso de tuberías ASTM A53, la cual indica además del diámetro mínimo para las tuberías de perforación es de 2”.

Las especificaciones técnicas de las tuberías ASTM A53 se encuentran expuestas en el anexo 8, extraídas también del fabricante Aceros Arequipa [39, p. 73].

Cómo podemos apreciar en las características mostrada en el anexo 8, las dimensiones de la tubería son las siguientes:

$$\varnothing_i = 60.3 \text{ mm}$$

$$\varnothing_o = 52,48 \text{ mm}$$

$$Peso = 5,44 \frac{kg}{m}$$

El peso de la tubería se considerará cuando esté en su máxima longitud, la cual es 70 metros.

$$W_{tubería} = 5,44 \frac{kg}{m} * 70m * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$W_{tubería} = 3\,735,6\,N$$

b) Peso de la broca

Por dato del fabricante, tenemos que el peso de la broca es 9 kg y sus dimensiones son las siguientes:

$$D_o = 0,15\,m$$

$$D_i = 0,10\,m$$

$$L = 0,25\,m$$

$$W_{broca} = 9\,kg * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$W_{broca} = 88,29\,N$$

c) Peso del terreno

Para calcular el peso del terreno utilizamos las fórmulas expresadas por Rodríguez et al [40].

Consideramos una densidad aproximada de los terrenos con formaciones arenosas, limosas y arcillosas.

$$\rho_{terreno} = 2\,550 \frac{kg}{m^3}$$

Con ese dato calculamos el peso del terreno:

$$w_{terreno} = Volumen_{broca} * L_{terreno}$$

$L_{terreno}$: Longitud que la broca ocupa en el terreno

$$w_{terreno} = \frac{\pi}{4} * 0,15^2 * 0,25 * 2550 \frac{kg}{m^3} * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$w_{terreno} = 110,5\,N$$

d) Peso del lodo

El lodo de perforación se forma cuando la presión de agua entra en contacto con el material en la perforación, las densidades de los lodos formados suelen estar en un rango de $1,05 - 2,5 \frac{gr}{cm^3}$. El lodo permite contrarrestar la presión que se forma al momento de la perforación.

Cómo mencionamos en el apartado anterior, Rodríguez et al [40, p. 74] manifiesta que para calcular el peso del lodo primero se debe calcular la presión hidráulica en los 70 metros de perforación, el cual se calcula por la siguiente ecuación:

$$P_{h,max} = \rho * \frac{h}{10}$$

$$P_{h,max} = 1,785 \frac{gr}{cm^3} * \frac{70}{10}$$

$$P_{h,max} = 12,495 \frac{kg}{cm^2} = 1\,225\,340,9175 \frac{N}{m^2} = 1\,225,3 \frac{kN}{m^2}$$

Con la presión hidráulica calculada, hallamos el peso del lodo alrededor de los 70 metros.

$$w_{lodo} = P_{h,max} * \text{Área}_{broca}$$

$$w_{lodo} = 12,495 \frac{kg}{cm^2} * \frac{\pi}{4} (15^2 cm - 6,3^2 cm) * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$w_{lodo} = \mathbf{17\,839,97\,N}$$

e) Peso de la caja reductora

Por datos del fabricante LANTEX, nos indica que el peso de la caja reductora es 160 kg.

$$w_{reductora} = P_{reductora} * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$w_{reductora} = 160\,kg * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$w_{reductora} = \mathbf{1569,6\,N}$$

f) Peso del motor

El peso del motor indicado por el fabricante es de 75 kg.

$$w_{motor} = P_{motor} * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$w_{motor} = 75\,kg * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$w_{motor} = \mathbf{735,75\,N}$$

g) Peso de la plataforma de elevación

Para el diseño de la plataforma de perforación utilizaremos láminas de acero perform 700 MC, debido a tu sobresaliente resistencia y buena soldabilidad ante las planchas convencionales.

El diseño de la plataforma de elevación se realizó en el software de modelamiento CAD SolidWorks, arrojando una masa aproximada de 74,16 kg.

Cómo no tenemos un peso exacto de la plataforma, tomamos el valor estimado que nos ofrece el software SolidWorks que es 74.16 kg.

$$W_{plataforma} = P_{plataforma} * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$W_{plataforma} = 74.16 \text{ kg} * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$W_{plataforma} = \mathbf{727,51 N}$$

Nota: Los datos del plano de construcción se adjuntan en la parte final, en el capítulo de anexos.

h) Peso del Swivel

Según fabricante el peso real del swivel es de 35 kg.

$$W_{swivel} = P_{swivel} * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$W_{swivel} = 45 \text{ kg} * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$W_{swivel} = \mathbf{343,35 N}$$

i) Peso de caja inversora reductora

El peso de la caja inversora reductora indicada por el fabricante EMHEI es 45 kg.

$$W_{inversora} = P_{inversora} * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$W_{inversora} = 35 \text{ kg} * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$W_{inversora} = \mathbf{441,5 N}$$

j) Peso extra

Consideraremos un peso aproximado entre poleas y bandas de transmisión y demás componentes de 20 kg.

$$W_{extra} = P_{extra} * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$w_{extra} = 20 \text{ kg} * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$w_{extra} = \mathbf{196,2 \text{ N}}$$

Con el peso estimado de todos los componentes soportados en el bastidor de perforación, calculamos el peso total que soportará.

$$F_{tc} = W_{tubería} + W_{broca} + w_{terreno} + w_{lodo} + w_{reductora} + w_{motor} + w_{plataforma} \\ + w_{swivel} + w_{inversora} + w_{extra}$$

$$F_{tc} = 3735,6 \text{ N} + 88,29 \text{ N} + 110,5 \text{ N} + 17\,839,97 \text{ N} + 1\,569,6 \text{ N} + 735,75 \text{ N} \\ + 727,51 \text{ N} + 343,35 \text{ N} + 441,5 \text{ N} + 196,2 \text{ N}$$

$$F_{tc} = 25,78 \text{ kN}$$

4.3.3 Análisis de esfuerzos

Para realizar el análisis de esfuerzos en la torre de perforación calculamos el espesor necesario del perfil escogido (perfil estructural cuadrado 4''x4''x9,5mm), realizamos este cálculo para verificar que el esfuerzo normal σ se encuentra por debajo del límite elástico del material (250 MPa).

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Para realizar este cálculo necesitamos qué:

$\sigma \leq \sigma_y$, entonces:

$$A = \frac{P}{\sigma_y} = \frac{2\,780}{250} = 103,12 \text{ mm}^2$$

Revisando los catálogos del fabricante local observamos que el espesor máximo es 9,5 mm, entonces recalculamos con este valor y tenemos los siguientes resultados:

$$A = 3\,499 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = 7,04 \text{ MPa}$$

Donde, el área calculada es mayor al área necesaria ($3499 \text{ mm}^2 > 103,12 \text{ mm}^2$) y el esfuerzo está por debajo de los 250 MPa del material seleccionado.

Para validar la selección realizamos también el análisis LFRD de la estructura donde tenemos valores conocidos como el área transversal y el esfuerzo normal.

Resistencia nominal:

$$R_n = A * \sigma_y$$

$$R_n = 3\,499 * 250 = 874\,950\,N$$

Factores de carga y resistencia:

$$\varphi = 0,9 \quad \gamma = 1,5$$

Resistencia factorizada:

$$R_{fact} = \varphi * R_n$$

$$R_{fact} = 0,9 * 874\,950 = 787\,455\,N$$

Carga factorizada:

$$P_{fact} = \gamma * R_n$$

$$P_{fact} = 1,5 * 25\,780 = 38\,670\,N$$

Tenemos que $R_{fact} > P_{fact}$, por lo tanto, la estructura con perfil de 4''x4''x9,5mm es estructuralmente segura.

4.4 Diseño de sistema de corte y perforación

Para calcular las fuerzas que se generarán en la broca de perforación a una velocidad de 60 rpm, utilizamos las fórmulas descritas por los autores Pariente [8, p. 77] y Rodríguez et al [40, p. 77]. Las fuerzas para calcular son las siguientes:

4.4.1 Fuerza de corte sobre la roca

Sabemos que el sistema de perforación de una perforadora rotativa funciona de manera similar a un taladro de banco, porque actúan dos fuerzas (tangencial y vertical o de empuje). Los siguientes cálculos se utilizan para calcular la fuerza de corte necesaria que necesitará nuestro sistema de perforación para efectuar sobre las brocas y vencer los terrenos. Para el diseño de nuestra máquina perforadora utilizaremos brocas con insertos de diamante, para calculamos las fuerzas de empuje y tangencial descritas por Aparicio Morales [37, p. 77] y Pariente [8, p. 77].

4.4.2 Fuerza de empuje

Utilizamos el valor obtenido de la ecuación, $F_{min} = 38,0323\,kN$

4.4.3 Fuerza tangencial

Para encontrar la fuerza tangencial que actúa sobre la broca y la tubería, encontramos el par resistente, con ese dato encontrado calculamos el valor de la fuerza tangencial.

$$T_r = \frac{2}{3} \mu F_E \left(\frac{r_0^3 - r_i^2}{r_0^2 - r_i^2} \right)$$

Donde:

T_r = Par resistente

μ = Coeficiente de fricción de la roca

F_E = Fuerza de empuje sobre la roca

r_0 = Radio exterior de la broca

r_i = Radio interior de la broca

Para identificar el coeficiente de fricción de la roca, debemos conocer el ángulo de fricción de cada material, por ello consultamos el Manual de perforaciones y voladura de rocas avalado por el Instituto Geológico y Minero de España [41], donde nos detalla lo siguiente:

Tabla 18

Ángulo de fricción de materiales

Material	Ángulo
Arena	34° - 45°
Grava	30° - 45°
Limo	27° - 30°

Nota: El ángulo de fricción representa el ángulo máximo entre la superficie y la fuerza aplicada cuando se ejerce el corte. [41].

Se puede observar que el ángulo de fricción de la arena, la grava y el limo se encuentra entre 34 y 45. Sin embargo, necesitamos un solo valor, por ende, sacamos el valor promedio de los ángulos y tenemos que es 40°.

Una vez se tiene el valor del ángulo de fricción procedemos a calcular el coeficiente de fricción (μ).

$$\mu = \tan(\varphi)$$

Donde:

φ = Ángulo de fricción

$$\mu = \tan(40^\circ)$$

$$\mu = 0.839$$

Con el valor de ángulo de fricción calculamos el par resistente (T_r).

$$T_r = \frac{2}{3} \mu F_E \left(\frac{r_o^3 - r_i^3}{r_o^2 - r_i^2} \right)$$

Los radios internos y externos lo tomaremos del diámetro de la tubería 2'' y el diámetro pe perforación 6'', estas medidas expresadas en metros.

$$r_o = 0,0762 \text{ m}$$

$$r_i = 0,03015 \text{ m}$$

$$T_r = \frac{2}{3} (0,839) (30,4258 \text{ kN}) \left(\frac{(0,0762 \text{ m})^3 - (0,03015 \text{ m})^3}{(0,0762 \text{ m})^2 - (0,03015 \text{ m})^2} \right)$$

$$T_r = 1,8170 \text{ kN} * \text{m} = 1817 \text{ N} * \text{m}$$

Con el valor del par resistente encontrado, calculamos la fuerza tangencial (N_t)

$$N_t = r_o T_r$$

$$N_t = 0,0762 \text{ m} * 3344,7 \text{ N} * \text{m}$$

$$N_t = 137,3741 \text{ N}$$

Siguiente a la fuerza tangencial calculamos la fuerza de corte (P)

$$P = \sqrt{F_E^2 + N_t^2}$$

$$P = \sqrt{(38032,281 \text{ N})^2 + (138,4530 \text{ N})^2}$$

$$P = \mathbf{38032,53 \text{ N}}$$

4.4.4 Velocidad de penetración

La velocidad de penetración en un pozo con diámetro determinado, la fuerza de empuje es directamente proporcional junto con la velocidad de rotación. Para calcular esta velocidad tomamos la fórmula empírica propuesta por R. Praillet y Pariente [8, p. 79].

$$VP = \frac{63,9 * F_E N_r}{S_c^2 \emptyset^{0,9}}$$

F_E = Expresado en kg

$$VP = \frac{63,9 * 3876,89 \text{ kg} * 60 \text{ rpm}}{(50 \text{ MPa})^2 * (152,4 \text{ m})^{0,9}}$$

$$VP = 64,49 \frac{\text{m}}{\text{h}} = 1,07 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

4.5 Tubería de perforación

Cómo se indicó en el apartado de diseño conceptual, el Instituto Americano del Petróleo norma que el diámetro mínimo para perforaciones es de 2'' = 60,3 mm. Los datos de la tubería se indican en el anexo 8.

Para verificar el diseño de las tuberías de perforación empezamos por calcular los esfuerzos y las cargas aplicadas en el trayecto de la tubería

4.5.1 Cargas aplicadas sobre tubería de perforación

Cómo sabemos, la tubería al entrar en estado de rotación debido a la potencia transmitida por el motor genera una fuerza indirecta, y también genera fuerzas directas al rozar la broca con las paredes del terreno.

Empezamos calculando la fuerza de reacción en la tubería, la cual tomamos del valor obtenido por la fuerza de empuje máximo obtenido en el apartado 4.5.1.2, entonces:

1. Fuerza de empuje máxima sobre la roca

$$F_E = F_{max} = 76,0646 \text{ kN}$$

2. Fuerza por peso ejercido de los componentes

Tomamos la fuerza establecida por el peso de los componentes que se encuentran en suspensión, la cual calculamos en el apartado 4.3.2 que es equivalente a:

$$F_{tc} = 25,75 \text{ kN}$$

3. Fuerza de corte producto del torque aplicado por la fuerza motriz

Utilizamos el par torsional calculado $T_r = 1\,817 \text{ N} * \text{m}$.

Consideramos el diámetro de la tubería 2'' en metros: 0,0603 m.

$$F_c = T_r \varnothing_{tubería}$$

$$F_c = 1\,817 \text{ N} * \text{m} * 0,0603 \text{ m}$$

$$F_c = 109,6 \text{ N}$$

4. Fuerza de corte producto del rozamiento de la broca con las partículas del terreno

Para calcular la fuerza de corte sobre la tubería utilizamos la densidad promedio del terreno; $\rho_{terreno} = 2550 \frac{kg}{m^3}$

La fórmula para calcular la fuerza de rozamiento es la siguiente:

$$F_t = M_t * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

Para calcular la masa de la roca triturada a la profundidad de 70 metros, multiplicamos la densidad del terreno por el volumen de la tubería.

$$M_t = \rho_{terreno} * V_{tubería}$$

El volumen de la tubería se describe por la siguiente ecuación:

$$V_{tubería} = L_{tubería} * \frac{\pi}{4} (\emptyset_o^2 - \emptyset_i^2)$$

Donde, $L_{tubería} = 70 \text{ metros}$

$$V_{tubería} = 70 \text{ m} * \frac{\pi}{4} (0,0603^2 \text{ m} - 0,05248^2 \text{ m})$$

$$V_{tubería} = 0,048 \text{ m}^3$$

Con el volumen de la tubería calculado, reemplazamos valores en la fórmula de la masa de roca triturada.

$$M_t = 2550 \frac{kg}{m^3} * 0,048 \text{ m}^3$$

$$M_t = 122,4 \text{ kg}$$

Finalmente, con los datos obtenidos de la masa triturada lo multiplicamos por la gravedad.

$$F_t = 122,4 \text{ kg} * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_t = 1\ 200,7 \text{ N}$$

5. Fuerza interna debida a la presión hidráulica del lodo de perforación

Al momento de la perforación, el fluido que recorre por el interior de la tubería genera fuerzas internas en todo el recorrido, estas fuerzas se describen por la siguiente ecuación:

$$P_{h,max} = \rho_{lodo} * g * h_{tubería}$$

Utilizamos el valor de la densidad de $1.785 \frac{gr}{cm^3}$.

$$P_{h,max} = 1,785 \frac{gr}{cm^3} * 9,81 \frac{m}{s^2} * 70 m$$

$$P_{h,max} = 1225,76 \frac{kN}{m^2}$$

6. Fuerza debido al torque ejercido producto del rozamiento de la broca con las partículas del terreno

Para calcular el torque que se ejerce al momento de rozar el terreno con la broca y la tubería de perforación, multiplicamos el radio interno de la tubería por la fuerza de corte en la broca.

$$T_o = r_i * F_t$$

$$T_o = 0,03015 m * 1200,7 N$$

$$T_o = 36,2 N * m$$

4.5.2 Esfuerzos aplicados en la tubería de perforación

Para calcular los esfuerzos aplicados en la tubería de perforación a lo largo de su profundidad máxima de 70 metros, calcularemos los esfuerzos normales, cortantes y de presión hidráulica, para finalmente calcular el esfuerzo equivalente máximo por el método del círculo de Mohr.

Seguimos el procedimiento utilizado por Pariente [8, p. 82] y Mori [10, p. 82]:

Propiedades geométricas de la tubería y momentos de inercia

1. Área

$$A = \frac{\pi}{4} (\varnothing_o^2 - \varnothing_i^2)$$

$$A = \frac{\pi}{4} (60,3^2 mm - 52,48^2 mm)$$

$$A = 692,67 mm^2$$

$$A = 0,69 * 10^{-3} m^2$$

2. Momento de inercia

$$I_x = \frac{\pi}{64} (D_E^4 - D_i^4)$$

$$I_x = \frac{\pi}{64} (0,0603^4 m - 0,05248^4 m)$$

$$I_x = 2,77 * 10^{-7} m^4$$

$$I_x = I_z$$

3. Esfuerzo normal (tracción)

$$\sigma_n = \frac{F_e - F_{tc}}{A}$$

F_e = Fuerza de empuje máximo (76,0646 kN)

$$\sigma_n = \frac{76,0646 * 10^3 N - 25,78 * 10^3 N}{0,69 * 10^{-3} m}$$

$$\sigma_n = \mathbf{72,88 MPa}$$

4. Esfuerzo cortante

$$\tau_t = \frac{T_B r_o}{\frac{\pi}{2} (r_o^4 - r_i^4)}$$

Donde:

$$T_b = T_r + T_o$$

$$\tau = \frac{(1817 N * m + 36,2 N * m) 0,03015}{\frac{\pi}{2} (0,03015^4 m - 0,02305^4 m)}$$

$$\tau = \mathbf{130,76 MPa}$$

5. Esfuerzo por presión hidráulica

$$\sigma_n = \frac{P_{h,max} * r}{t_{espesor}}$$

Consideramos el $P_{h,max} = 1225,76 \frac{kN}{m^2}$ obtenido en el apartado 4.8.1

$$\sigma_n = \frac{1225,76 \frac{kN}{m^2} * 0,05248 m}{0,00392 m}$$

$$\sigma_n = \mathbf{164,1 MPa}$$

Después de realizar los cálculos sobre los esfuerzos en la tubería de perforación podemos observar que ningún esfuerzo sobrepasa el nivel a la fluencia de la tubería de perforación, por lo tanto, podemos concluir que la perforadora puede perforar a una profundidad de 70 metros sin recibir daños en la tubería.

4.6 Bomba de perforación

Para el cálculo de la selección de la bomba centrífuga se debe tener en cuenta el caudal y la velocidad del fluido. Según (Oil Production) la velocidad de circulación del lodo en una perforación de pozos tubulares se encuentra en un rango de $(30 - 45) \frac{m}{s}$ y un caudal promedio de $(20 - 30) \frac{l}{s}$. Sin embargo, esto es un valor referencial, por lo tanto, calcularemos la velocidad y el caudal del fluido que transcurre por los tramos 1-3 y 3-4. El grafico de la instalación de la bomba y el trayecto del fluido de perforación se muestra a continuación.

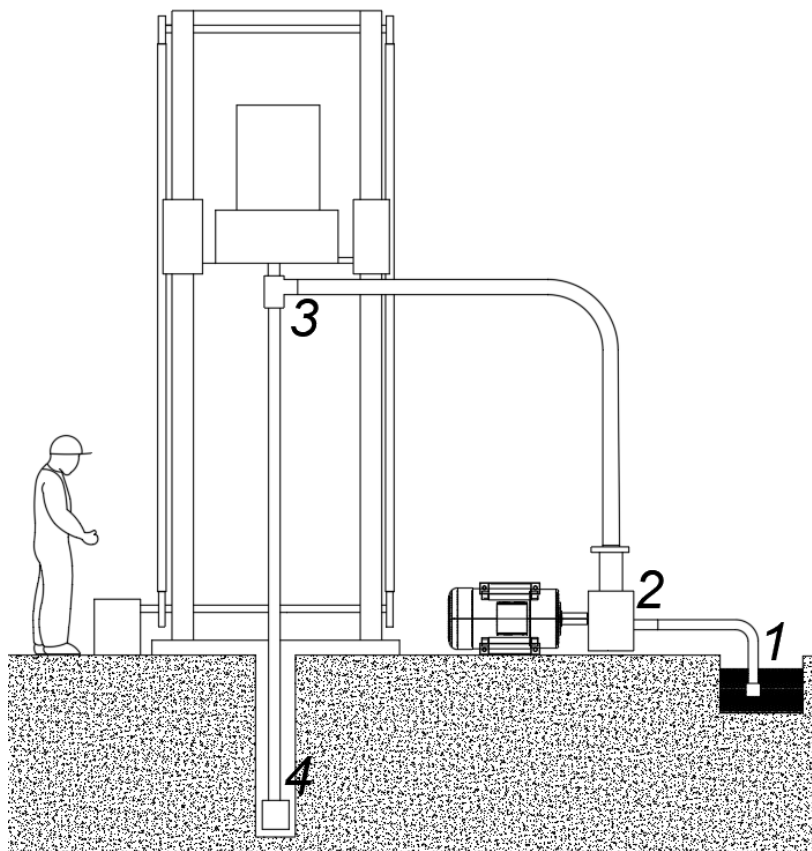


Figura 28 Trayecto del fluido de perforación. Propio

4.6.1 Velocidad del fluido

El agua que se inyecta al inicio de la perforación sirve como refrigerante para la tubería y las brocas de perforación, también ayuda a remover el detritus que son los restos de las rocas y materiales sueltos que se generan en el suelo de perforación. Por eso la velocidad del fluido debe ser la correcta para poder cumplir su propósito. En el manual proporcionado por el libro (Perforación y voladura de rocas en minería) [42] nos indican que la velocidad de circulación del fluido de perforación son los siguientes:

Tabla 3: Velocidad de circulación en función del tipo de fluido de barrido	
Fluido de barrido	Velocidad de circulación
AIRE	900-1800 m/min
AGUA	45-60 m/min
LODO	30-45 m/min
ESPUMA	10-20 m/min

Figura 29 Velocidad de circulación según tipo de fluido. [42].

Cómo se indicó en puntos anteriores el lodo de perforación de barrido en las tuberías perforación varía según el fluido; como sabemos el agua al mezclarse con los componentes del suelo como la arena, arcilla y limos, pasa a convertirse en un lodo de perforación. Entonces seleccionamos la velocidad mínima que es $30 \frac{m}{min}$, esto porque estaremos utilizando el menor diámetro de tuberías de perforación permitido por el Instituto Americano del Petróleo (API).

Sin embargo, si se desea calcular de forma manual la velocidad del fluido en las tuberías de perforación, el autor el autor Pariente [8, p. 85] describe la siguiente fórmula que hace posible su cálculo:

$$V = 573 \left(\frac{\delta_r}{\delta_r + 1} \right) d^{0,6}$$

Donde tenemos que:

$$\delta_r = \text{Densidad del terreno expresado en } \left(\frac{gr}{cm^3} \right)$$

$$d = \text{Diámetro promedio de las partículas situadas en el terreno (mm)}$$

La densidad promedio de la roca en el terreno de perforación que se utiliza en terrenos de consistencia arenosa es:

$$\rho_{\text{terreno}} = 2550 \frac{kg}{m^3} = 2,55 \frac{g}{cm^3}$$

El diámetro de los componentes del suelo según el libro (Perforación y voladura de rocas en minería) [42, p. 85] es:

Tabla 19

Tamaño de las partículas del suelo. [42].

Nombre del componente	Diámetro en (mm)
Arena gruesa	1 – 0,5
Arena media	0,5 – 0,1
Arena fina	0,25 – 0,1
Arena muy fina	0,1 – 0,05
Limo	0,05 – 0,002
Arcilla	> 0,002

Nota: La presente tabla detalla el diámetro aproximado de las partículas desagregadas del suelo. [42]

4.6.2 Caudal del fluido

Para calcular el caudal del fluido de perforación, hacemos uso de la fórmula descrita por Pariente [8, p. 86]:

$$Q = \left[\frac{\pi(\varphi^2 - D^2)}{4 * 10^6} \right] V$$

Donde tenemos que:

φ = Diámetro del Swivel o herramienta de perforación (mm)

D = Diámetro nominal de la tubería de perforación (mm)

V = Velocidad del fluido de perforación $\left(\frac{m}{min}\right)$

Para determinar el diámetro del Swivel o herramienta de perforación, consultamos los planos de construcción del fabricante, donde tenemos los siguientes datos:

Tabla 20

Especificaciones de taladro de perforación. [43].

Especificaciones	
Peso	35 kg
Capacidad	6,8 toneladas
Rodamientos	Rodillo cónico
Sellos	PTFE + sellos reforzados
Presión	20 bar
Agujero de perforación	35 mm
Velocidad máxima de rotación	350 rpm

Con los datos establecidos, reemplazamos los valores en la fórmula:

$$Q = \left[\frac{\pi(35^2 - 60,3^2)}{4 * 10^6} \right] * 30$$

$$Q = 0,056 \frac{m^3}{min} = 56 \frac{litros}{min}$$

Entonces, tenemos que nuestro fluido de perforación tendrá una velocidad de $30 \frac{m}{min}$ y un caudal de $56 \frac{litros}{min}$. Con estos datos seleccionados seleccionaremos una bomba que cumpla con los requisitos necesarios para circular el lodo.

4.6.3 Selección de bomba centrífuga

Entonces, con el dato conocido del caudal buscamos una bomba que cumpla con estos requerimientos. Para esta selección utilizaremos el catálogo de bombas proporcionado por la empresa peruana Hidrosta, quien es fabricante de bombas centrífugas. El catálogo de selección se encuentra en el anexo 9.

Cómo se señala en la figura (54), trazamos los puntos de unión entre el caudal y la altura de bombeo. Se seleccionó una altura de 3,5 metros, esto porque se considera la altura máxima de la torre de perforación y un 16% más de su altura. Al trazar los puntos de unión se puede observar que no se encuentra alguna bomba centrífuga que cumpla con los parámetros necesarios, esto porque el trabajo al que estará sometida la bomba es muy bajo para su régimen de trabajo; entonces se selecciona el primer tipo de bomba centrífuga ISO 2858 que es el tipo (32 – 125).

4.6.3.1. Sistema de transmisión Bomba – motor

Como se muestra en el anexo 9 la bomba centrífuga para su funcionamiento necesita una velocidad nominal máxima de 1800 rpm, entonces seleccionamos un motor estacionario de tipo diésel para impulsar el sistema. Además, este motor servirá para impulsar el sistema de empuje, por lo tanto, se debe dimensionar correctamente la distribución de transmisión entre los 2 sistemas; las características del motor seleccionado para el trabajo se muestran a continuación:

Tabla 21

Especificaciones técnicas de motor estacionario 2

Especificaciones	
Modelo	ZS1100
Potencia nominal	12,1 kW
Velocidad nominal	2200 rpm
Peso	155 kg
Refrigeración	Líquido

En la salida de motor se utilizará una polea de 4'' con 4 canales, de las cuales 2 serán para la bomba centrífuga y 2 para el sistema de empuje. Con la guía del procedimiento de cálculo para el dimensionamiento de poleas y bandas de transmisión en el apartado 4.2.2 diseñamos la reducción de velocidad de salida del motor hacia la polea B esperada por el usuario, entonces tenemos los siguientes datos:

$$d_1 = 4 \text{ pulg} = 101.6 \text{ mm}$$

$$d_2 = ?$$

$$n_1 = 2200 \text{ rpm}$$

$$n_2 = 1800 \text{ rpm}$$

$$n_1 * d_1 = n_2 * d_2$$

$$\text{Potencia nominal} = 16 \text{ hp}$$

$$2200 \text{ rpm} * 101.6 \text{ mm} = d_2 * 1800 \text{ rpm}$$

$$d_2 = \frac{2200 \text{ rpm} * 101,6 \text{ mm}}{1800 \text{ rpm}} = 124.18 \text{ mm} = 5 \text{ pulg}$$

Con los datos iniciales conocidos realizamos el procedimiento para la selección de bandas y el número a utilizar y tenemos los siguientes datos:

Tabla 22

Transmisión de potencia motor - bomba centrífuga

Procedimiento	Resultado	
Potencia de diseño	24	hp
Relación de velocidad	1.22	
Tipo de banda	3V	
Potencia nominal real	5,09	hp
Distancia entre centros	20	in
Longitud de la banda	54	in
Ángulos de contacto	179,9	°
	180	°
Número de bandas	1	

Nota: Los datos mostrados son el resumen de diseño aplicando la metodología de diseño de un sistema de transmisión de Robert I. Mott. Propio.

4.7 Sistema de empuje y elevación

El sistema de empuje y elevación es un componente vital en el equipo de perforación, porque este sistema proporciona el medio para que la sarta o plataforma de perforación logre un movimiento vertical ascendentes y descendente según sea necesario, esto ayuda a extraer e introducir las tuberías según sea necesario. En el sistema de empuje se

encuentran 3 componentes importantes, como la plataforma de elevación, el sistema de empuje (cabrestante – malacate) y avance y el pasador que se acopla entre el Swivel y la sarta de perforación. Por orden de cálculos, empezaremos diseñando el pin (pasador), después la plataforma y por último el cabrestante o malacate.

4.7.1 Diseño de pasador

Para seleccionar el diámetro óptimo del pasador utilizaremos la carga máxima que representan todos los componentes en suspensión ($W_{tubería} + W_{broca} + w_{terreno} + w_{lodo}$), la fuerza que se ejerce es $21,77 \text{ kN}$. Las fuerzas que actuarán en el pin se muestran en la siguiente imagen:

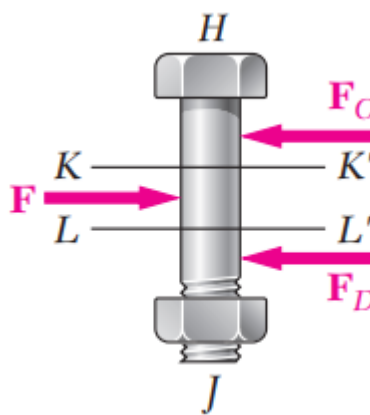


Figura 30 Diagrama de cuerpo libre en pasador. [45].

Para diseñar el pin se tiene que calcular el esfuerzo promedio, el cual está representado por la siguiente ecuación:

$$\tau_{promedio} = \frac{P}{A}$$

Donde:

$\tau_{promedio}$: Esfuerzo cortante promedio expresado en $\left(\frac{N}{m^2}\right)$

P : Carga aplicada sobre el sistema expresado en (N)

A : Area de la sección del pasador expresado en (m^2)

A continuación, se detalla el DCL del pasador, esto para identificar las fuerzas y tener mejor desarrollo de cálculo.

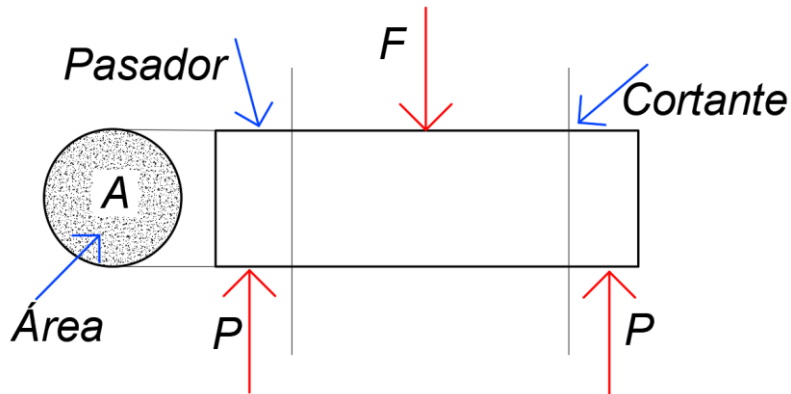


Figura 31 DCL de pasador. Propio.

Como se observa en la figura (31) el sistema está en equilibrio; se considera la sumatoria de fuerzas en (y), porque es la dirección donde apunta la fuerza del trabajo en el sistema.

Entonces, realizamos la sumatoria de fuerzas en (y):

$$\sum F_y = 0$$

$$2P - F = 0$$

Donde:

F : Fuerza de los componentes del sistema en suspensión expresada en N

Reemplazando tenemos que:

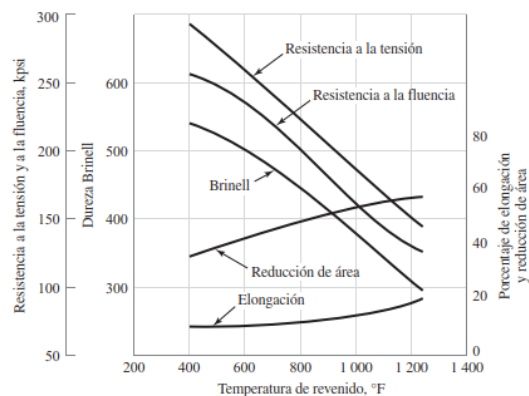
$$P = \frac{F}{2}$$

Con los datos establecidos, reemplazamos valores en la ecuación inicial:

$$\tau_{promedio} = \frac{F}{A}$$

Para obtener el valor del área del pasador, debemos seleccionar el material a utilizar y una sección de diámetro nominal promedio que se encuentran en los catálogos de fabricantes. Para la selección tipo de aceros se utilizó el manual de diseño de Shigley [31, p. 92], donde aborda aspectos para la correcta selección; estos aspectos son (económicos, tamaños estándar, tratamientos y propiedades mecánicas). Los aceros con sistema AISI son los más utilizados en aplicaciones donde se requiere resistencia mecánica superior y

durabilidad en condiciones de alto impacto y fatiga. La opción tomada fue el acero AISI 4340, debido que cumple con las exigencias que estará sometido el pin.



Condición	Resistencia a la tensión, kpsi	Resistencia a la fluencia, kpsi	Reducción de área, %	Elongación en 2 pulg, %	Dureza Brinell, Bhn
Normalizado	200	147	20	10	410
Laminado	190	144	18	9	380
Recocido	120	99	43	18	228

Figura 32 Propiedades mecánicas acero AISI 4340. [31]

Con el material seleccionado, buscamos catálogos con diámetros estándar en el mercado, esto para abaratar costos en refrentado de material.

Sección Diámetro Nominal	Peso	Diámetro d	PROPIEDADES				
			Área A	Eje X-X = Eje Y-Y			
				I	s	r	z
pulg	kg/m	mm	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³
3/8	0.56	9.52	0.71	0.04	0.08	0.24	0.14
1/2	0.99	12.7	1.27	0.13	0.2	0.32	0.34
5/8	1.55	15.9	1.98	0.31	0.39	0.4	0.67
3/4	2.24	19.0	2.85	0.65	0.68	0.48	1.15
7/8	3.05	22.2	3.88	1.20	1.08	0.56	1.83
1	3.98	25.4	5.07	2.04	1.61	0.63	2.73
1 1/8	5.03	28.6	6.41	3.27	2.29	0.71	3.89
1 1/4	6.21	31.7	7.92	4.99	3.14	0.79	5.33
1 1/2	8.95	38.1	11.4	10.3	5.43	0.95	9.22

Figura 33 Catálogo de aceros AISI – 4340. [44].

Con los datos de la figura 33, se realizó una tabulación para seleccionar el diámetro más apropiado. Se seleccionó el de 1/2". Con este dato establecido reemplazamos los valores en la ecuación inicial para determinar el esfuerzo cortante promedio en el pasador.

$$\tau_{promedio} = \frac{F}{2A}$$

$$\tau_{promedio} = \frac{\frac{21\,770\,N}{2}}{(1,27 * 10^{-4}m^2)}$$

$$\tau_{promedio} = 85,71\,MPa$$

Para validar la selección del material y diámetro seleccionado realizamos el análisis computacional de cargas y cortes para generar los gráficos y validar los cálculos teóricos. A continuación, se muestra los diagramas de corte y momento flector del pin.

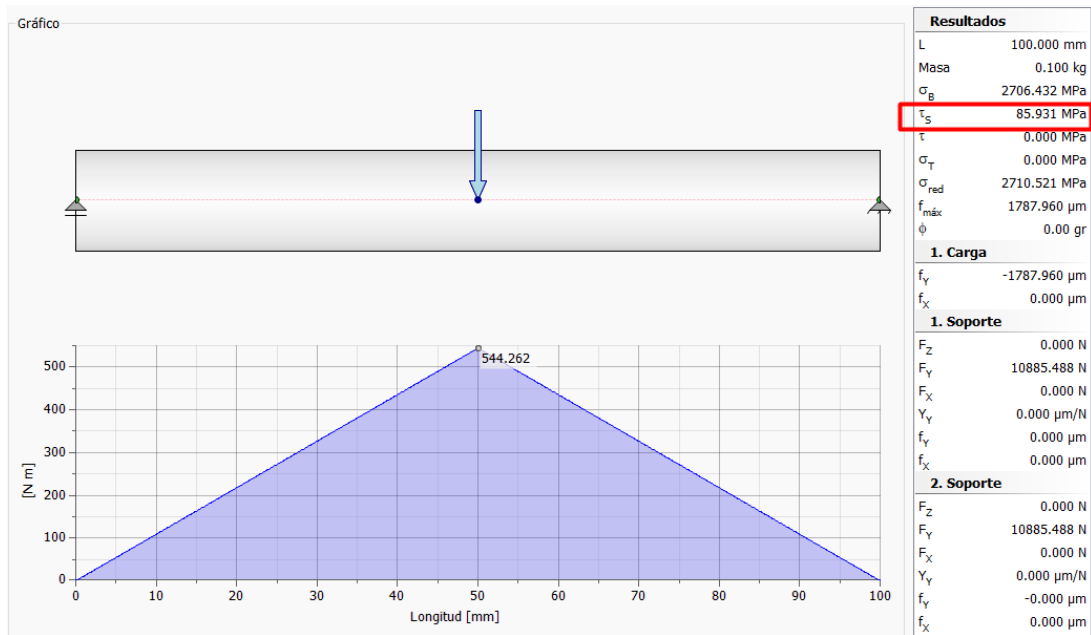


Figura 34 Diagrama fuerza de corte pin. Propio

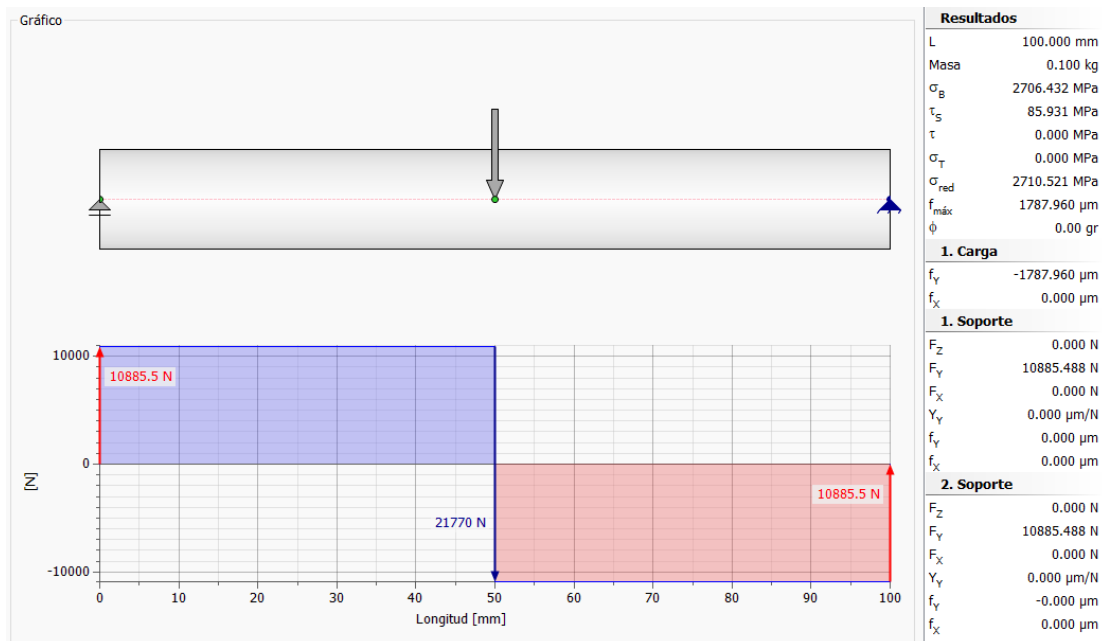


Figura 35 Diagrama momento flector pin. Propio

Observamos que en el cálculo computacional y en el teórico tenemos un esfuerzo último de 85 MPa, con esto justificamos la selección del material. Para el factor de seguridad y determinar cuan seguro será nuestro pasador realizaremos la verificación en función al esfuerzo cortante promedio del acero AISI - 4340, el cual es 689 MPa ; con este último valor realizamos el cálculo del factor de seguridad, el cual se describe por la siguiente ecuación:

$$F.S = \frac{Esfuerzo_{\acute{u}ltimo}}{Esfuerzo_{admisible}}$$

$$F.S = \frac{689 MPa}{85,71 MPa}$$

$$F.S = 8$$

Como se puede observar el diámetro propuesto para el diseño de nuestro pasador es aceptable, ya que no sobrepasa el esfuerzo último del acero AISI - 4340 detallado por el fabricante.

4.8 Diseño de plataforma de perforación

Para el diseño de la plataforma de elevación utilizaremos planchas de acero Perform 700 MC, debido a su alta resistencia, reducción de peso sin comprometer la resistencia estructural, resistencia al desgaste. Las propiedades mecánicas se adjuntan en el nexa 10.

Para realizar el diseño se realizó la propuesta con un calibre de 9,5 mm, esto porque es el calibre más utilizado en la construcción de estructuras pesadas. Para que la plataforma se pueda desplazar por la torre de perforación, se utilizará el desplazamiento por fricción y desplazamiento por rodamientos. Para el desplazamiento se debe tener en cuenta una tolerancia entre los componentes; según el departamento de Ingeniería Mecánica de España la tolerancia entre componentes debe ser de 1 mm. Con esa consideración seleccionamos las distancias para el diseño de la plataforma de perforación.

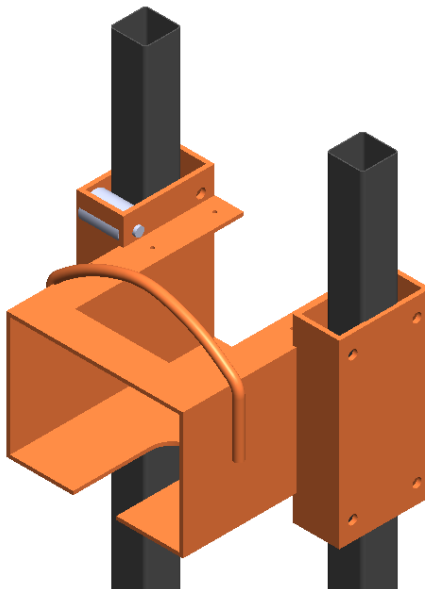


Figura 36 Plataforma de perforación. Propio.

Los datos de construcción de la plataforma se adjuntan en l sección de planos.

4.8.1 Diseño del sistema de empuje (cabrestante – malacate)

Para empujar y levantar la sarta de perforación utilizaremos un sistema muy utilizado en la industria minera, nos referimos al malacate o también conocido como cabrestante; este es un sistema mecánico que mediante un cable suspendido por poleas mantiene en suspensión los componentes de perforación, y permite su traslado vertical desde el punto inferior al superior o viceversa.

Montserrat Aguilar [45] indica que los componentes principales de un malacate para perforación son: tambor principal, cabrestante, frenos y embrague. Para diseñar este equipo se calcula la potencia para poner en funcionamiento el sistema, el diámetro del tambor de perforación, el material de construcción, el sistema de freno y embrague. A continuación, se detalla los datos conocidos para el diseño del malacate.

- a) Nivel de desplazamiento: 3 metros de altura
- b) Carga máxima: se considera el peso de todos los componentes calculado en el apartado 4.5.2 que es $F_{tc} = 25,78 \text{ kN} = 2628 \text{ kg}$. Sin embargo, consideraremos una carga máxima de 3 toneladas, esto por sobrecargas que se pueden presentar.
- c) Velocidad de desplazamiento: Tomando como referencia el Manual de perforación y voladura de rocas [41, p. 94], nos indica que la velocidad de elevación y empuje se debe manejar entre $18 - 21 \frac{\text{m}}{\text{min}}$, esto para evitar

vibraciones al momento de utilizar el sistema. Entonces con esta consideración tomamos una velocidad promedio de $19,5 \frac{m}{min} = 0,33 \frac{m}{s}$.

d) Horas de trabajo: 8 horas

Con los requerimientos establecidos se calcula en primer lugar la potencia de cálculo, la potencia de entrada y la relación de velocidad.

4.8.1.1. Potencia de cálculo (N_a)

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F * d}{t}$$

$$P = \frac{3\,000\,kg * 9,81 \frac{m}{s^2} * d}{t}$$

$$P = \frac{29\,430\,N * d}{t}$$

$$P = 29\,430\,N * 0,33 \frac{m}{s}$$

$$P = 9,712\,kW \approx \mathbf{13\,Hp}$$

Se puede observar que la potencia necesaria para mover la carga requerida por el malacate es de 13 hp, entonces con el motor estacionario de 16 hp seleccionado el sistema de circulación de lodos se prevé un trabajo seguro y confiable.

4.8.1.2. Potencia de entrada (N_e)

$$N_e = \frac{N_a}{r}$$

Donde:

r : Eficiencia del reductor

Seleccionamos el valor 0,9 porque es el rendimiento de los reductores de velocidad de engranajes helicoidales de la marca Universal.

$$N_e = \frac{13\,hp}{0,98}$$

$$N_e = 14,4\,hp$$

4.8.1.3. Diámetro del tambor

Para calcular el radio del tambor primero debemos establecer el tipo de cable que se utilizará. Monserrat Aguilar [45, p. 95] indica que el diámetro del tambor debe ser cómo

mínimo 24 veces mayor que el diámetro del cable. Para determinar el diámetro del tambor entonces debemos seleccionar en primer lugar el cable a utilizar.

Para escoger el cable que se manejará en el sistema, utilizamos el catálogo del fabricante TRUPER. Las características que debe cumplir el cable seleccionado es que tenga una capacidad de trabajo superior las 3 toneladas.

Tabla 23 Especificaciones técnicas de cable de acero. [46].

Especificaciones	
Carga de trabajo	Diámetro del cable
3 556 kg	5/16" (8 mm)
5 226 kg	3/8" (9,5 mm)
6 962 kg	7/16" (11 mm)
9 098 kg	1/2" (13 mm)

Cómo se observa en la tabla (31) los cables de acero disponibles por este fabricante van desde 3 a 9 toneladas, entonces el cable seleccionado para nuestra perforadora será el de diámetro 5/16'' puesto que su carga de trabajo es superior. Con el cable seleccionado calculamos el diámetro del tambor.

$$D_t = 8 \text{ mm} * 24$$

$$D_t = 228 \text{ mm} = 0,192 \text{ m}$$

Entonces tenemos que el diámetro necesario para nuestro tambor es de 0.192 metros. Ahora con el dato del diámetro encontrado, seleccionaremos la tubería a utilizar para la construcción.

Para la construcción del tambor utilizaremos tubería ASTM A-53 SCH – 80 y planchas de acero ASTM A36, los diámetros y espesor de la tubería lo obtendremos del catálogo del fabricante Aceros Arequipa, los diámetros y componentes son los siguientes:

Tabla 24

Materiales para construcción de tambor

Tambor malacate - cabrestante		
Material	Diámetro nominal	Espesor
Tubería 1	8"	8,18 mm
Eje principal	2 3/4"	-
Plancha	-	9 mm

Nota: Las dimensiones descritas son previas al cálculo realizado con las dimensiones generales de construcción del tambor del malacate. Propio.

La tubería 1 seleccionada es de un diámetro nominal de 8 pulgadas que es aproximadamente 0.2191 m, escogemos esta tubería porque su diámetro es superior al diámetro mínimo aceptable para su construcción; para el eje del tambor utilizaremos tubería de 2 1/2", y para los extremos del tambor utilizaremos planchas de acero maquinadas.

4.8.1.4. Velocidad de funcionamiento del tambor de elevación (ω)

Para calcular la velocidad de rotación del tambor utilizamos la siguiente fórmula:

$$\omega = \frac{Vt}{r}$$

Donde:

Vt = Velocidad en el punto tangente del radio del tambor

r = Radio del tambor

$$\omega = \frac{0,33 \frac{m}{s}}{0,096 m}$$

$$\omega = 3,43 \frac{1}{s}$$

$$\omega = 3,43 \frac{rev}{s} * \frac{60 \frac{s}{min}}{2\pi}$$

$$\omega = 32.7 \frac{rev}{min} \approx \mathbf{33 rpm}$$

Entonces, nuestro tambor de perforación debe girar a una velocidad de 33 rpm para su correcto funcionamiento. Como paso siguiente debemos diseñar el sistema de transmisión desde el motor hacia el tambor para la reducción de velocidad.

4.8.1.5. Sistema de transmisión motor - malacate

Cómo se indicó anteriormente se utilizará un mismo motor para impulsar la bomba centrífuga para la circulación de lodos y el sistema de empuje y elevación. Para el sistema de embrague y frenado e inversión de giro utilizaremos una toma de fuerza EMHEI TIPO TF - 4 WP de la empresa TEKMATIK (anexo 2); utilizamos esta toma de fuerza por ser utilizada para trabajos pesados agrícolas, industriales y marinos. La toma de fuerza irá

acoplada al reductor de velocidad directamente y por el otro extremo la polea conducida desde el motor.

Los datos para la reducción de velocidad son los siguientes:

$$d_1 = 4 \text{ pulg} = 101,6 \text{ mm}$$

$$|d_2 = ?$$

$$n_1 = 2200 \text{ rpm}$$

$$n_2 = 1100 \text{ rpm}$$

$$n_1 * d_1 = n_2 * d_2$$

$$\text{Potencia nominal} = 16 \text{ hp}$$

$$2200 \text{ rpm} * 101,6 \text{ mm} = d_2 * 1100$$

$$n_2 = \frac{2200 \text{ rpm} * 101,6 \text{ mm}}{1100 \text{ rpm}} = 203,2 \text{ mm} = 8''$$

Utilizaremos el procedimiento del apartado 4.4.2 para calcular el tipo de banda a utilizar, la distancia entre centros y la longitud de la correa.

Tabla 25 Características de transmisión de potencia motor – malacate. Propio.

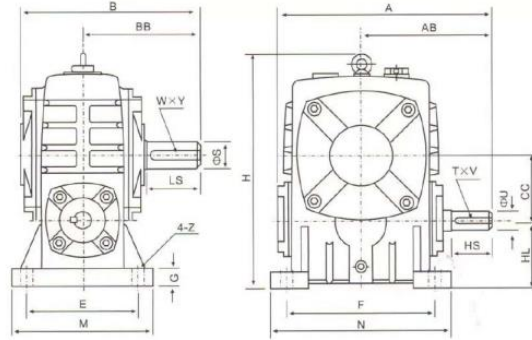
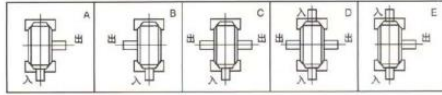
Procedimiento	Resultado	
Potencia de diseño	24	hp
Relación de velocidad	2	
Tipo de banda	3V	
Potencia nominal real	4,06	hp
Distancia entre centros	20	in
Longitud de la banda	59	in
Ángulos de contacto	169	°
	192	°
Número de bandas	2	

Entonces, tenemos una reducción de velocidad de 1100 rpm a la entrada del eje de la toma de fuerza; por dato del fabricante, la toma de fuerza tiene una relación de velocidad de 2:1, por lo tanto, a la entrada del reductor de velocidad tenemos 550 rpm. El reductor utilizado es el siguiente:

WPA



轴指向表示
SHAFT DIRECTION



型号 size	传动比 ratio	A	AB	B	BB	CC	H	HL	M	N	E	F	G	Z	输入轴input shaft			输出轴output shaft			重量 (kg)	油量 (L)
															HS	U	T×V	LS	S	W×Y		
40	5	143	87	114	74	40	138	40	90	100	70	80	13	10	25	12	4×2.5	28	14	5×3	4	0.13
50	10	175	107	150	97	50	173	50	120	140	95	110	15	12	30	12	4×2.5	40	17	5×3	7	0.17
60	15	198	122	168	112	60	204	60	130	150	105	120	20	12	40	15	5×3	50	22	6×3.5	10	0.22
70	20	231	140	194	131	70	236	70	150	190	115	150	20	15	40	18	6×3.5	60	28	8×4	15	0.60
80	25	261	160	214	142	80	268	80	170	220	135	180	20	15	50	22	6×3.5	65	32	10×5	20	0.85
100	30	322	190	254	169	100	329	100	190	270	155	220	25	15	50	25	8×4	75	38	10×5	35	1.50
120	30	381	229	282	190	120	430	120	230	320	180	260	30	18	65	30	8×4	85	45	14×5.5	60	3.20
135	40	433	260	317	210	135	480	135	250	350	200	290	30	18	75	35	10×5	95	55	16×6	80	3.60
147	50	439	264	324	212	147	501	123	250	350	200	280	32	18	80	35	10×5	95	55	16×6	90	3.70
155	60	504	302	382	252	155	531	135	275	390	220	320	35	21	85	40	12×5	110	60	18×7	110	3.80
175	70	545	325	402	262	175	600	160	310	430	250	350	40	21	85	45	14×5.5	110	65	18×7	150	4.60
200	80	587	350	467	305	200	667	175	360	480	290	390	40	24	95	50	14×5.5	125	70	20×7.5	215	6.50
250	100	705	420	552	360	250	800	200	460	560	360	480	45	28	110	60	18×7	155	90	25×9	360	9.00

Figura 37 Características técnicas de reductor - serie WPA. Jiangsu Devo.

Observando las características de reductores, escogemos el que tiene un radio de salida de 15, porque nos entrega una velocidad final de 36,7 la cual es muy cercana a 33,3 rpm. El reductor irá acoplado directamente al eje del malacate, con la ayuda de la toma de fuerza se podrá frenar y embragar el malacate según el operario crea correspondiente.

4.9 Verificación de diseño

Para verificar el diseño de la perforadora mecánica planteada, realizaremos un análisis estático estructural de los componentes más importantes de la perforadora, como la torre de perforación, el soporte, el pin (pasador), la tubería de perforación y el bastidor de perforación. Para realizar el análisis de perforación utilizaremos el software SolidWorks que utiliza el método de los elementos finitos (FEM) para realizar el estudio.

4.9.1 Análisis estático torre de perforación

Para realizar el análisis a la torre de perforación empezamos por introducir las propiedades mecánicas del acero ASTM A500 en el software SolidWorks; para ello utilizamos la base de datos del software CES-Edupack. Las propiedades mecánicas del acero son las siguiente:

Tabla 26

Propiedades mecánicas de acero ASTM A500

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	221 000	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0,32	N/D
Módulo cortante	83 500	N/mm ²
Densidad de masa	7 800	kg/m ³
Límite de tracción	700	N/mm ²
Límite elástico	590	N/mm ²
Conductividad térmica	50	W/(m.K)
Coefficiente de amortiguamiento del material	500	J/(kg.K)

Nota: El acero ASTM – A500 es un acero estructural utilizado para la construcción de estructuras pesadas debido a su alta resistencia, excelente soldabilidad y confiabilidad en aplicaciones estructurales. Extraído de CES-Edupack.

a) Asignación de cargas y sujeciones

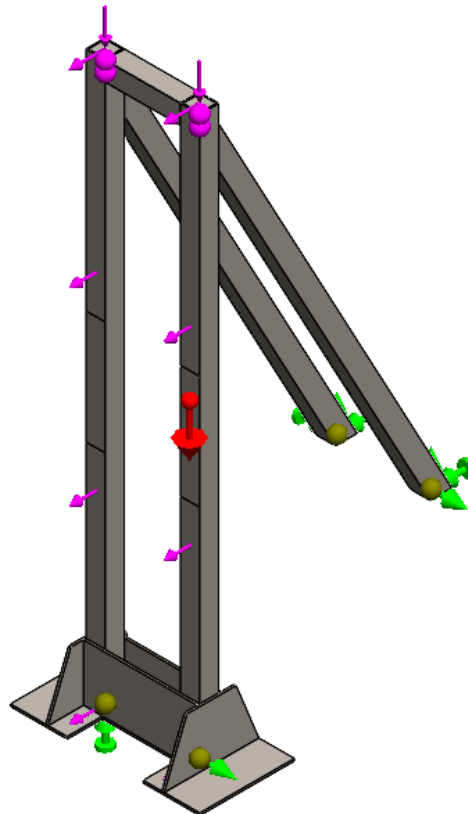


Figura 38 Asignación de cargas y sujeciones de torre de perforación. Propio.

Se asignan las sujeciones fijas en la parte inferior de la torre de perforación y en las barras de apoyo que estarán apoyadas en la base de la torre. Además, se asigna una fuerza de 25,78 kN que es equivalente al peso de los componentes en el trayecto medio, se considera esta posición porque es donde el carro asciende con el peso a una profundidad de 70 metros.

b) Esfuerzos

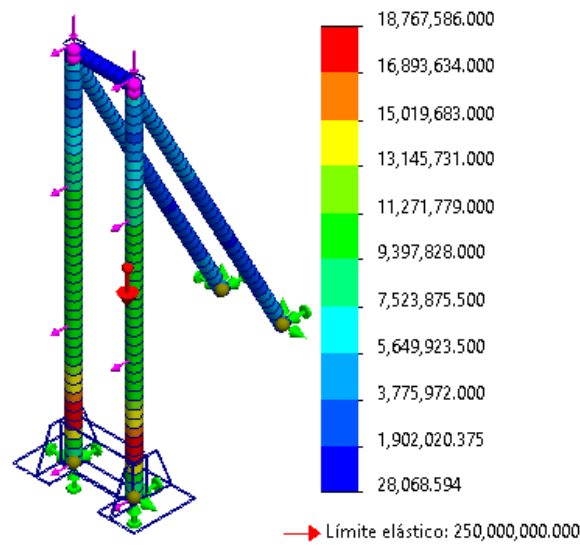


Figura 39 Esfuerzos resultantes en torre de perforación. Propio.

La torre de perforación con los componentes a una profundidad de 70 metros estará sometida a un esfuerzo máximo 18,76 MPa según el criterio de *Von Mises*. Como se aprecia en la imagen anterior, la parte más crítica sometida al esfuerzo máximo se encuentra en la parte inferior de la torre, las cartelas y rigidizadores en la estructura ayudan a suplir la carga alojada en esa área. Se observa además que el esfuerzo máximo se encuentra por debajo del límite elástico del material, por lo tanto, ante el escenario presentado la estructura soporta la carga de trabajo propuesta.

c) Desplazamientos

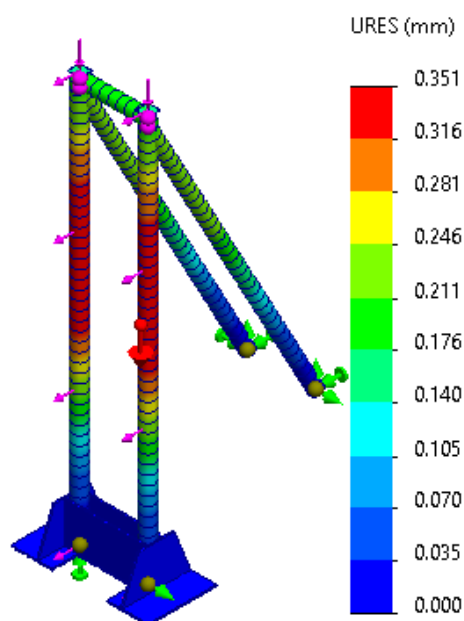


Figura 40 Desplazamientos obtenidos en torre de perforación. Propio.

A máxima carga la torre de perforación presentará desplazamientos de hasta 0,3 mm, siendo la parte central donde se da el desplazamiento del sistema la parte con más desplazamientos.

d) Factor de seguridad

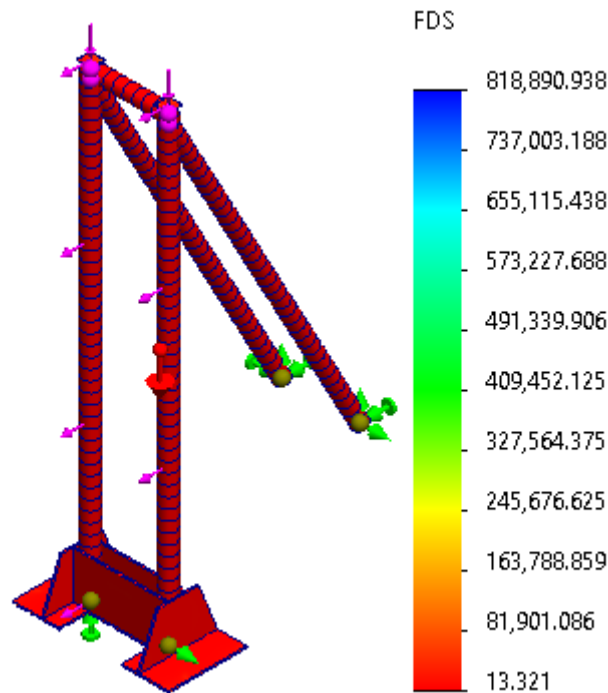


Figura 41 Factor de seguridad obtenido en torre de perforación. Propio.

Después de realizar el análisis estático en la torre de perforación se puede evidenciar que el factor de seguridad mínimo es de 13,32, tomamos valores de factor de seguridad altos según la guía de Robert L. Mott donde indica que, para estructuras o elementos de máquinas sometidas a cargas dinámicas, estáticas y cargas combinadas el factor debe ser superior a 2,5. (*mientras más lejos se encuentre de este valor justifica su seguridad*).

4.9.2 Análisis estático pin pasador

Según el estudio realizado en el apartado de diseño del pin pasador, se determinó que el esfuerzo promedio al que estará expuesto nuestro pasador es 85,71 MPa y se calculó un factor de seguridad teórico de 8. Para comprobar la resistencia del componente realizaremos un análisis estático estructural. Las propiedades mecánicas del acero AISI – 4340 son las siguientes:

Tabla 27

Propiedades mecánicas de acero AISI - 4340

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	205 000	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0,32	N/D
Módulo cortante	80 000	N/mm ²
Densidad de masa	7 850	kg/m ³
Límite de tracción	1 110	N/mm ²
Límite elástico	470	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica	1,23*10e-5	
Conductividad térmica	45	W/(m.k)
Coefficiente de amortiguamiento del material	475	J//kg.K)

Nota: El acero AISI - 4340 es un acero aleado de alta resistencia, se utiliza en aplicaciones de cargas críticas por su buena resistencia a la fatiga, alta dureza y excelente tenacidad. Extraído de SolidWorks.

e) Asignación de cargas y sujeciones

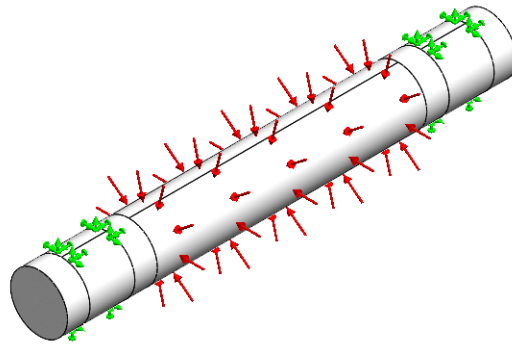


Figura 42 Asignación de cargas y sujeciones al pin pasador. Propio.

Las sujeciones establecidas en el pasador se realizarán en los extremos con una condición fija, y una presión distribuida en la geometría en la parte media del pasador.

f) Esfuerzos

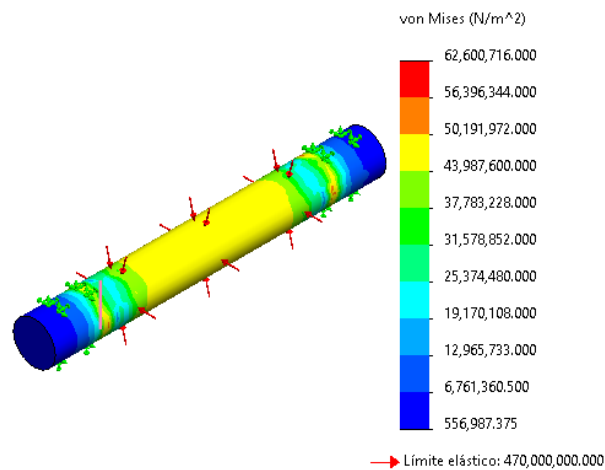


Figura 43 Esfuerzos resultantes en el pin pasador. Propio.

Cómo se puede apreciar en el gráfico el esfuerzo máximo según el criterio de *Von Mises* en el pin pasador es de 62,6 MPa, el cual está por debajo del límite elástico del material que es 470 MPa; se aprecia que las ranuras del pasador entre la sujeción y la carga es más susceptible a fallar, sin embargo, el material en la mayoría de su geometría posee un esfuerzo mediano, entonces el diseño se considera el aceptable y por ende la pieza es viable.

g) Desplazamientos

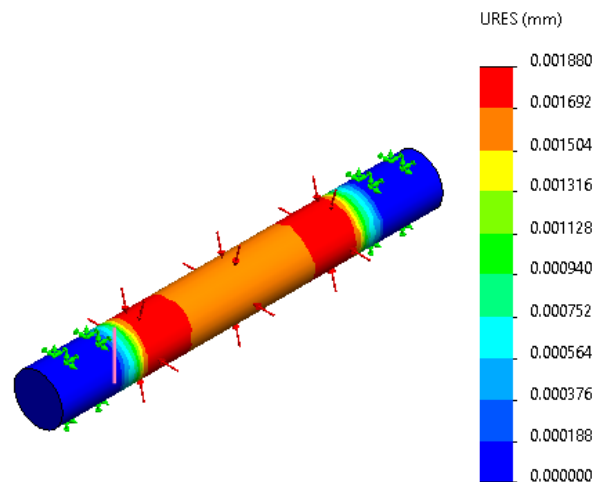


Figura 44 Desplazamientos obtenidos en el pin pasador. Propio.

Se observa que los desplazamientos en el pasador se presentan en la parte central, donde estará en contacto con la caja reductora y el Swivel; se observa que el máximo desplazamiento es de 0,002 mm.

h) Factor de seguridad

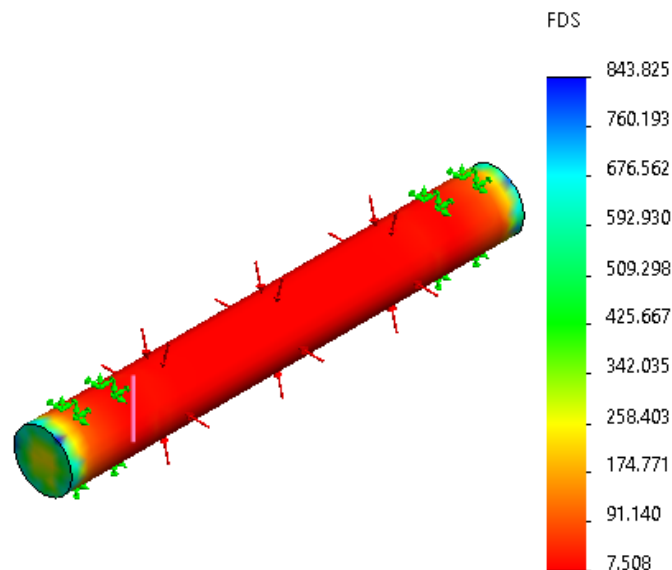


Figura 45 Factor de seguridad obtenido en el pin pasador. Propio.

El factor de seguridad está en un rango mínimo de 8, esto evidencia que la selección de material y el área del pin es óptima. Se deja como recomendación otros aceros que pueden ser utilizados para la fabricación de este pin: AISI 4140, AISI 1045, AISI 8620 Y AISI 5160. Son alternativas más económicas, fiables y de fácil maquinado.

4.9.3 Análisis estático en tuberías de perforación

Cómo se indicó anteriormente en los enunciados del diseño de la tubería de perforación, esta tiene una longitud de 75 metros. Para realizar el análisis se considera el último trayecto de la roca de perforación, donde está sometido a mayores cargas, además de tener la broca de perforación. Para la tubería de perforación se consideró utilizar un acero ASTM A-53 normado y aprobado por el Instituto Americano del Petróleo, las características mecánicas de este material se extrajeron del software CES-Edupack y son las siguientes:

Tabla 28

Propiedades mecánicas de acero ASTM - A53

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	210 000	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0,3	N/D
Módulo cortante	80 000	N/mm ²
Densidad de masa	8 000	kg/m ³
Límite de tracción	330	N/mm ²
Límite elástico	205	N/mm ²
Conductividad térmica	0,2256	W/(m.k)
Calor específico	475	J/kg.K)

Nota: El acero ASTM – A53 es un acero al carbono utilizado en aplicaciones de perforación sometidas a alta presión. Es un acero con buena soldabilidad, resistencia y durabilidad apto para trabajos de perforación. Extraído de CES-Edupack.

a) Asignación de cargas

Para analizar la tubería de perforación se consideró una sujeción a lo largo de trayecto de la tubería, se agregó la fuerza ejercida por el rozamiento de las brocas en el terreno que tiene un valor de 36,2 Nm, también se agregó la fuerza de los componentes de perforación que recaen sobre la tubería, la cual tiene un valor de 25,78 kN y por último la fuerza de compresión para vencer los sedimentos del terreno que tiene un valor de 38 kN. La siguiente imagen describe la asignación de las cargas y las sujeciones del componente.

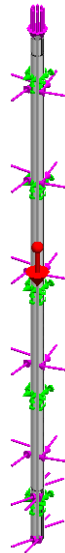


Figura 46 Asignación de cargas y sujeciones en tubería de perforación. Propio.

b) Esfuerzos

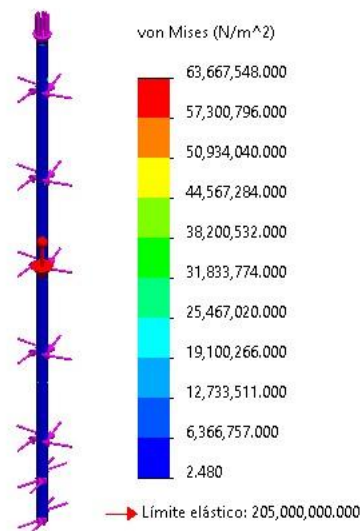


Figura 47 Esfuerzos resultantes en tubería de perforación. Propio.

Cómo se puede apreciar, en la tubería de perforación el esfuerzo máximo según el criterio de *Von Mises* es de 63,67 MPa. El esfuerzo máximo se encuentra por debajo del límite elástico del material, por lo tanto, se puede indicar que la tubería soportaría el trabajo al que se encuentre sometido. Se puede evidenciar que en la mayor parte de la geometría de la sarta de perforación los esfuerzos son relativamente bajos, por lo tanto, el material seleccionado se considera aceptable.

c) Desplazamientos

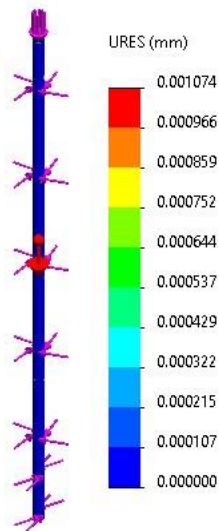


Figura 48 Desplazamientos en tubería de perforación. Propio.

Los desplazamientos son menores a 1 mm, esto quiere decir que la tubería de presenta indicadores de integridad estructural y correcta selección de diseño y material.

d) Factor de seguridad

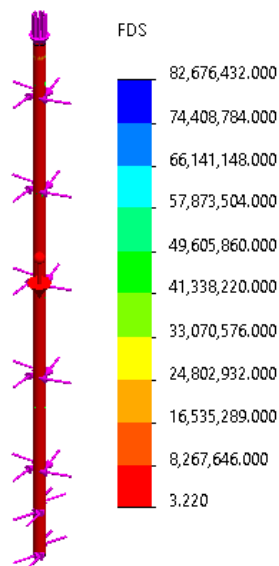


Figura 49 Factor de seguridad obtenido en tubería de perforación. Propio.

Después de realizar el análisis en la tubería de perforación observamos que el factor de seguridad mínimo es de 3,2. Por lo tanto, se considera aceptable la selección del material y la geometría de la tubería. La estructura es capaz de soportar las cargas internas y externas sometidas en el trabajo de perforación, esto nos indica que su probabilidad de falla es baja y asegura el buen desempeño en el trabajo.

4.9.4 Análisis de plataforma de perforación

El material utilizado para la fabricación de la plataforma de perforación es acero perform 700 MC.

a) Asignación de cargas y sujeciones

Se asignó como sujeción fija los lados que rozarán con la tubería de perforación, además, se estableció una fuerza que generan los componentes de perforación que estarán suspendidos y acoplados en la plataforma.

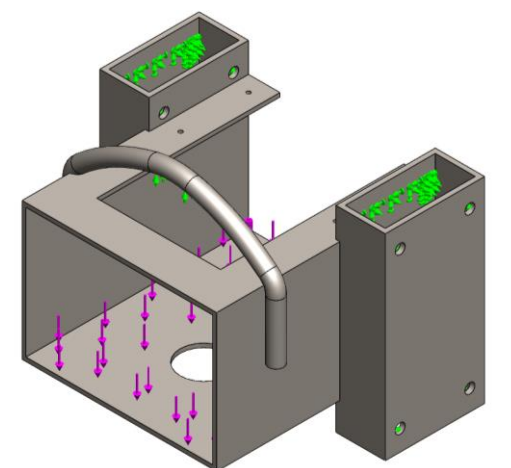


Figura 50 Asignación de cargas y sujeciones en la plataforma de perforación. Propio.

b) Esfuerzos

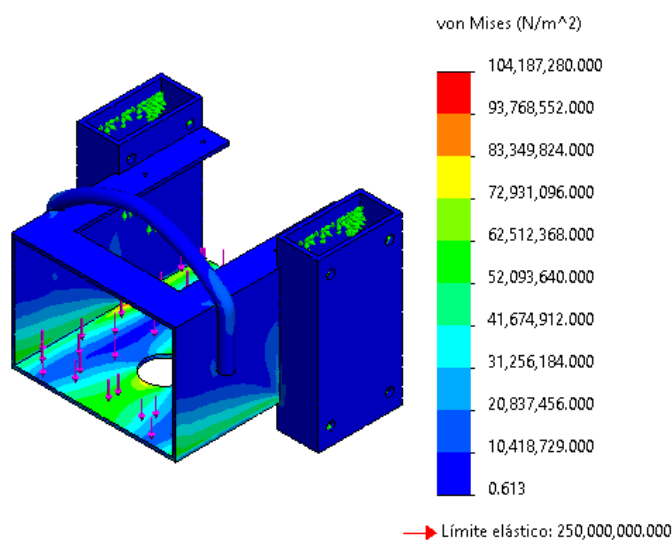


Figura 51 Esfuerzos resultantes en la plataforma de perforación. Propio.

Cómo se observa en el gráfico, el esfuerzo máximo presentado en la plataforma de perforación es de 104,19 MPa. En la mayoría de su geometría los esfuerzos son mínimos, a excepción de la parte inferior donde se acopla la caja reductora. El material utilizado es aceptable, porque el esfuerzo máximo está por debajo del límite elástico del material.

c) Desplazamientos

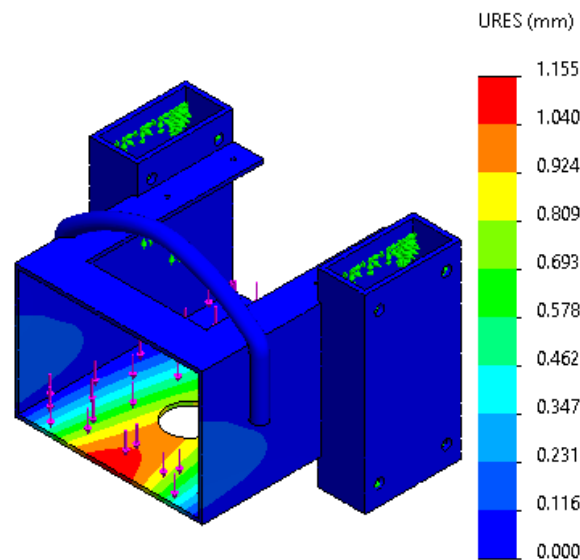


Figura 52 Desplazamientos obtenidos en la plataforma de perforación. Propio.

Los desplazamientos máximos presentados en la estructura son de 1,155 mm. La parte que más se desplaza es la parte inferior de la estructura.

d) Factor de seguridad

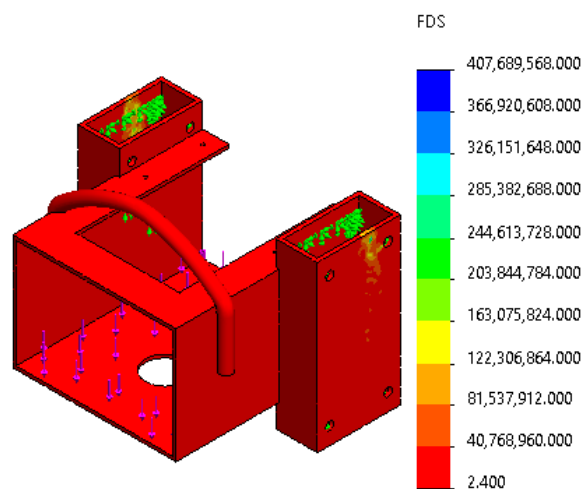


Figura 53 Factor de seguridad obtenidos en la plataforma de perforación. Propio.

El factor de seguridad mínimo obtenido es de 2,4. Este valor es mayor a uno, por lo tanto, el diseño es aceptable.

4.9.5 Análisis estático de bastidor de perforación

Para la fabricación de la base de la torre de perforación se utilizó vigas con perfil C de acero ASTM A500.

a) Asignación de cargas y sujeciones

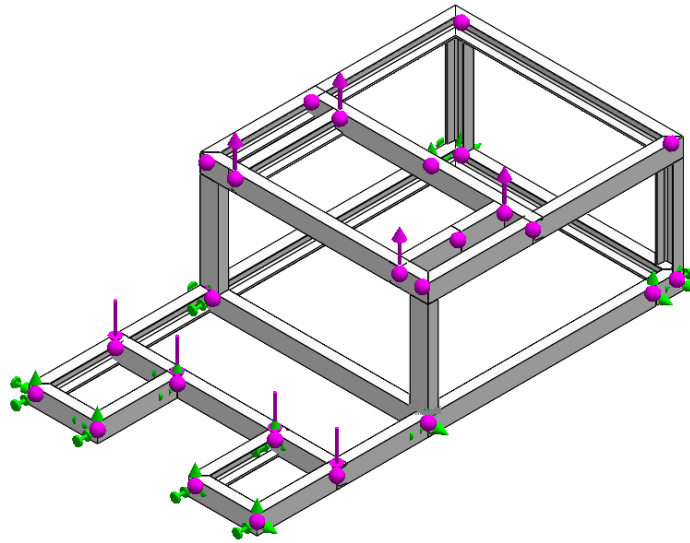


Figura 54 Asignación de cargas y sujeciones en base de perforación. Propio.

Se aplica sujeción fija en la parte inferior de la base de perforación. Se aplicó una fuerza vertical descendente con el valor de todos los componentes de perforación y la torre de perforación, además, se aplicó una fuerza vertical ascendente que equivale a la fuerza ejercida por el cabrestante.

b) Esfuerzos

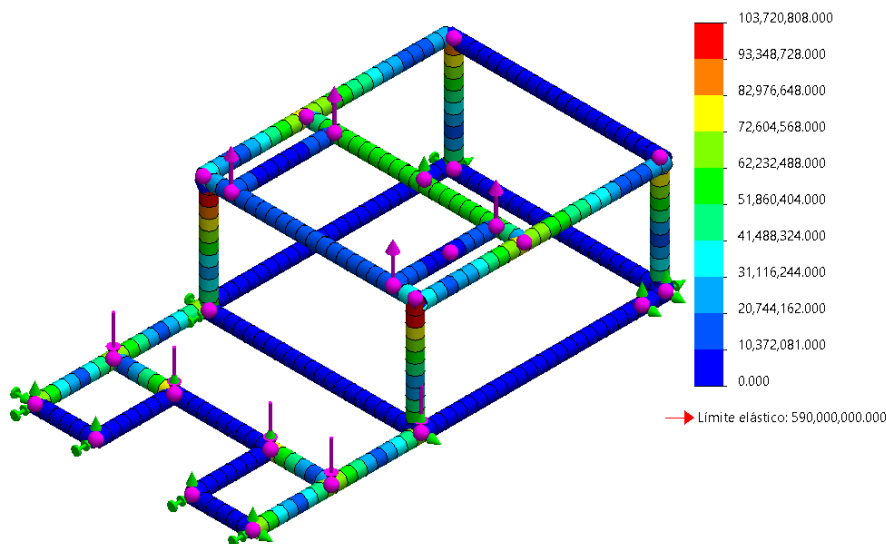


Figura 55 Esfuerzos resultantes en torre de perforación. Propio.

Se puede observar que el esfuerzo máximo presentado en la base de perforación es de 103,72 MPa. En las partes donde se acopla el cabrestante y la torre de perforación se presentan esfuerzos máximos que en la mayor parte de la geometría. El material y el diseño utilizado es aceptable, porque el esfuerzo máximo está por debajo del límite elástico del material.

c) Desplazamientos

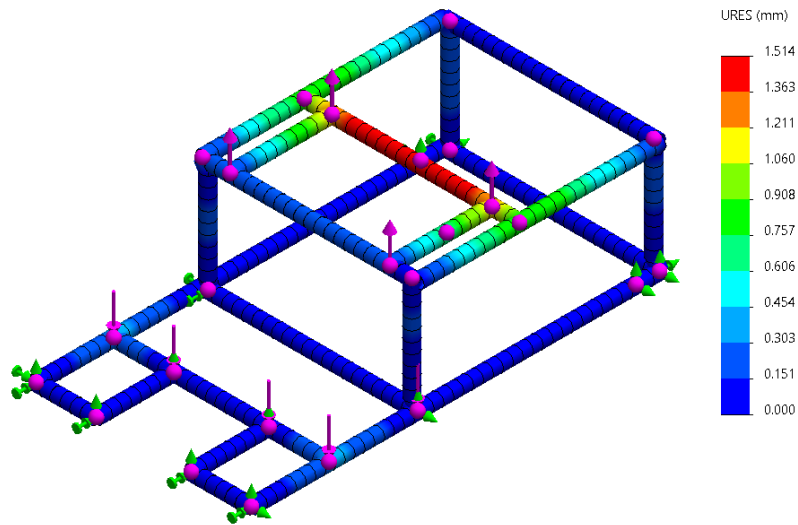


Figura 56 Desplazamientos obtenidos en torre de perforación. Propio.

Se presenta un desplazamiento máximo en la base donde se acopla en cabrestante. La parte que más se desplaza tiene un valor de 1,514 mm.

d) Factor de seguridad

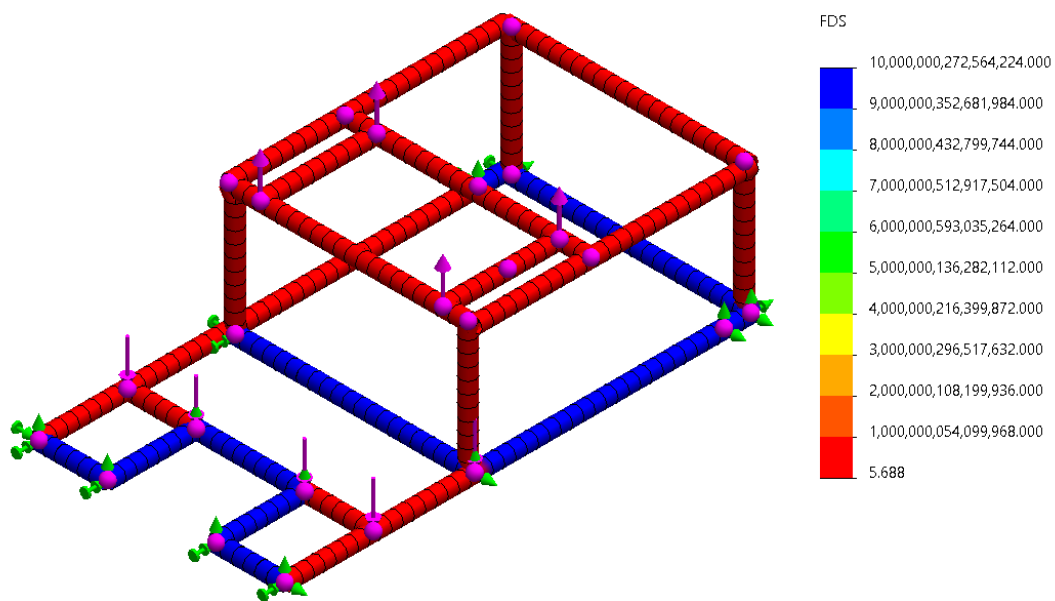


Figura 57 Factor de seguridad obtenido en base de perforación. Propio.

El factor de seguridad obtenido después de realizado el análisis estático en la base de perforación tiene un valor mínimo de 5,688; por lo tanto, el diseño es aceptable.

4.9.6 Análisis estático de tambor malacate

Para la fabricación de la base de la torre de perforación se utilizó tubería SCH-80 ASTM A53 y plancha ASTM A36.

e) Asignación de cargas y sujeciones

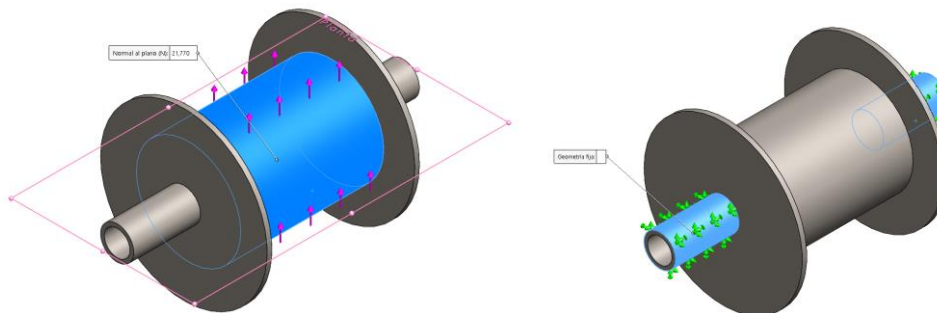


Figura 58 Cargas y sujeciones de tambor. Propio

Se aplica sujeción móvil en los extremos donde el elemento estará montado con las chumaceras. Se asignó la fuerza en orientación vertical hacia el extremo del bastidor y la torre de perforación.

f) Esfuerzos

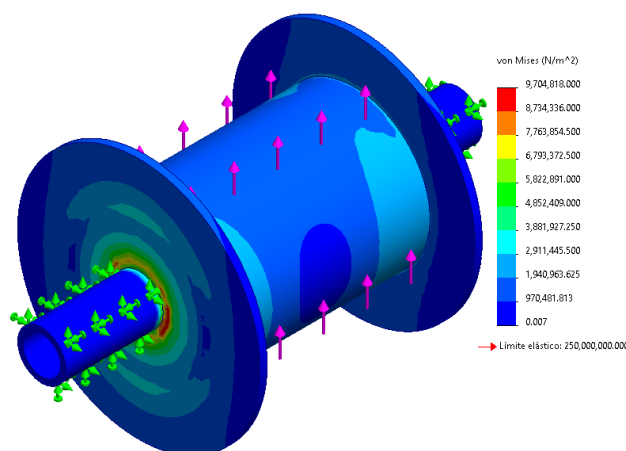


Figura 59 Esfuerzos resultantes en tambor. Propio

Se puede observar que el esfuerzo máximo presentado en el tambor del malacate es de 9,7 MPa. Las zonas donde presenta el esfuerzo máximo son en las uniones soldadas en el eje donde se montan las chumaceras. Se observa que el esfuerzo presentado en la estructura es mínima debido que no excede el 10% del límite elástico del material. Se debe tomar en cuenta que con la distribución de la puela y cabrestante fuerza se descompone y alivia la carga en el componente.

g) Desplazamientos

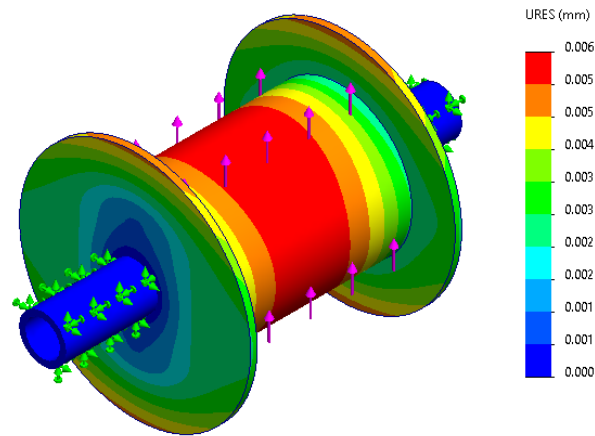


Figura 60 Desplazamientos obtenidos en tambor. Propio.

Se presenta un desplazamiento máximo en la sección central del tambor. Sin embargo, debido a las propiedades del acero ASTM A53 esta tiene la propiedad de desplazarse y volver a su forma original. Porque los desplazamientos no exceden a 1 mm.

h) Factor de seguridad

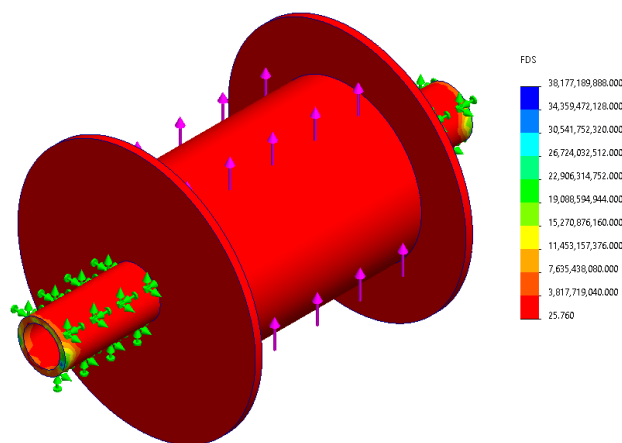


Figura 61 Factor de seguridad obtenido en tambor. Propio.

El factor de seguridad obtenido después de realizado el análisis estático en la base de perforación tiene un valor mínimo de 25. Si bien es un valor de sobredimensionamiento en el sistema, son los parámetros de diseño según manuales de perforación.

4.10 Análisis de costos de producción

Con el diseño y análisis CAE de los componentes diseñados, desarrollamos el listado de costos unitarios de cada componente, además del costo de fabricación de las estructuras metálicas que requieren un trabajo de soldeo y armado.

Tabla 29

Costos unitarios de componentes

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Motor estacionario 20 hp - Bonelly	Unidad	1	S/ 3 200,00	S/ 3 200,00
Motor estacionario 16 hp - Jiang Dong	Unidad	1	S/ 2 500,00	S/ 2 500,00
Reductor de velocidad KTP	Unidad	1	S/ 4 000,00	S/ 6 000,00
Reductor de velocidad universal - Jiangsu Devo	Unidad	1	S/ 540,00	S/ 2 000,00
Caja inversora reductora - Tekmatik	Unidad	1	S/ 1 000,00	S/ 1 500,00
Toma de fuerza - Tekmatik	Unidad	1	S/ 1 300,00	S/ 1 600,00
Tubos Schedule con costura 6m - Aceros Arequipa	Unidad	12	S/ 600,00	S/ 7 200,00
Fabricación estructuras perforadora	Unidad	1	S/ 8 800,00	S/ 8 800,00
Swivel - Burovil LLC	Unidad	1	S/ 1 500,00	S/ 1 500,00
Broca de perforación - Yikuang Drilling	Unidad	1	S/ 1 900,00	S/ 1 900,00
Cable de acero galvanizado 7 hilos 3/8"	Metro	10	S/ 21,00	S/ 210,00
Bomba centrífuga 2"	Unidad	1	S/ 1 700,00	S/ 1 700,00
Rosca soldable 5DP API 2 3/8	Unidad	20	S/ 50,00	S/ 1 000,00
Chumacera 2-3/4	Unidad	2	S/ 250,00	S/ 500,00
Polea 4" de 3 ranuras	Unidad	1	S/ 200,00	S/ 200,00
Polea 5" de 2 ranuras	Unidad	1	S/ 100,00	S/ 100,00
Polea de 8" de 2 ranuras	Unidad	1	S/ 400,00	S/ 400,00
Manguera de succión corrugado 2"	Metro	4	S/ 27,00	S/ 108,00
Banda de transmisión en V 37,5"	Unidad	2	S/ 35,00	S/ 70,00
Banda de transmisión en V 53"	Unidad	1	S/ 40,00	S/ 40,00
Banda de transmisión en V 60"	Unidad	2	S/ 40,00	S/ 80,00
Escalera tubo de fierro galvanizado 40x60x1,5	Unidad	1	S/ 400,00	S/ 400,00
Filtro para manguera de succión	Unidad	1	S/ 81,00	S/ 81,00
Total				S/ 41 089,00

Nota: Los precios unitarios de cada componente fueron extraídos previa cotización con los proveedores y búsqueda en la web. Propio.

4.10.1 Fabricación de estructuras

Para obtener el costo de fabricación de las estructuras como el bastidor, torre y plataforma de perforación se realizó la cotización de fabricación en un taller especializado. Se emitió una proforma y el costo aproximado es S/ 8 000,00. El documento se encuentra en el anexo 11.

4.10.2 Comparación de precios de perforadoras

Para realizar un análisis de costos en referencia al costo por capacidad de perforación de máquinas perforadoras utilizamos modelos de perforadoras existentes en el mercado, para este análisis se han incluido 4 perforadoras del mercado, 2 perforadoras de la investigación y la perforadora propuesta.

Tabla 30

Costo de perforadoras

Descripción	Capacidad de perforación máx. (m)	Marca	Modelo	Precio Unitario
Máquina perforadora de pozos de agua, piso roca y piso duro 150 m	150	MACMAX	BW - 150	S/ 77 000,00
Perforadora de pozos de agua 80 m	80	RDL	RDL - 80	S/ 44 300,00
Perforadora de pozos de agua 50 m	50	Master Drill	2023	S/ 33 323,00
Perforadora de pozos de agua 120 m	120	Yugong	Y - 120	S/ 65 000,00
Perforadora de pozos A	50	-	-	S/ 30 000,00
Perforadora de pozos B	25	-	-	S/ 18 000,00
Propia	70	-	-	S/ 41 089,00

Nota: Las perforadoras expuestas son de fabricación China y Mexicana. Propio.

Con los datos de la tabla anterior se observa la tendencia que el costo de una perforadora está en relación a su capacidad de perforación. En el gráfico siguiente se detalla esta tendencia.

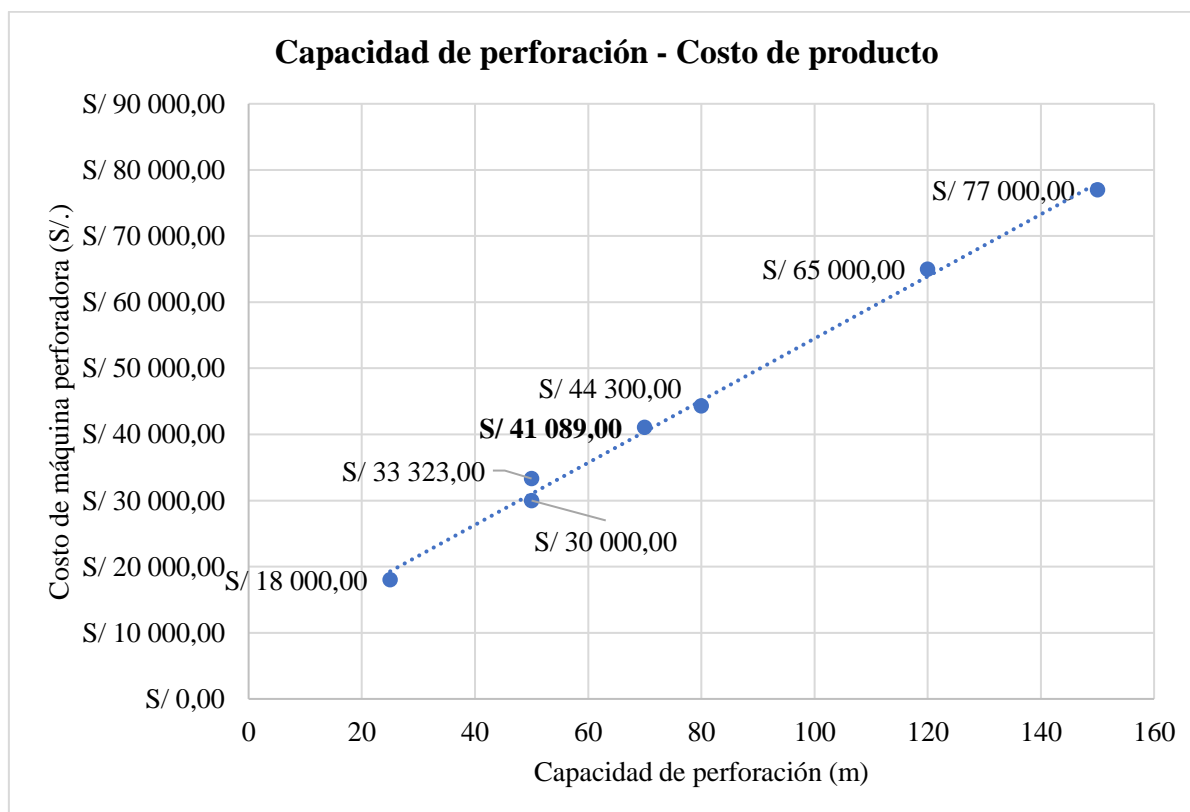


Figura 62 Capacidad de perforación - costo de máquina. Propio

En el gráfico mostrado en la figura 51 se observa que con el monto aproximado de fabricación de nuestra perforadora se encuentra en un rango económico viable en relación a sus competidoras en el mercado. Si bien el diseño actual refiere una perforación de 70 metros se prevé que esta tenga un rango de perforación más favorable.

5. Conclusiones

De la presente investigación se puede concluir lo siguiente:

- Las guías de entrevista y observación permitieron diagnosticar las carencias de diseño de las perforadoras mecánicas en la región Lambayeque, donde los dueños y operarios de estas señalaron capacidad limitada al momento de operar estas máquinas. Se lograron identificar zonas de mejora en los sistemas de transmisión y dirección que ayudarán a los operarios tener un mejor interfaz humano máquina al momento de trabajar. Las mejoras identificadas son la implementación de sistemas de embrague, inversión de giro y sistema de levante las cuales son fundamentales en el funcionamiento de una perforadora. Con la visita técnica realizada también se identificaron datos de construcción, tecnología de materiales y sistemas de mecanismos.
- El diseño conceptual de la perforadora mecánica se desarrolló utilizando la matriz morfológica de Zwicky y el enfoque de diseño sistemático de Phal et al. Con esta metodología se exploraron y evaluaron 5 conceptos de solución donde se construyeron para suplir las necesidades de perforación manifestadas en las visitas técnicas. Para la selección del diseño correcto se utilizó la metodología VDI 2225 donde se abordaron propiedades funcionales, costo del producto y viabilidad para la mejor selección. El concepto seleccionado fue el número 5 y este incluyó un sistema de embrague e inversión de giro mediante cajas inversoras reductoras y tomas de fuerza conectadas a la salida del motor Diésel, que es el responsable de la fuerza motriz del sistema. El sistema de empuje y levante incluyó el uso de cabrestante mecánico para izar el sistema de varillaje en el proceso de perforación. La inclusión de estos componentes buscó asegurar un diseño funcional con la capacidad de poner el sistema en punto neutro, invertir el giro y elevar el sistema en cualquier situación de perforación.
- La fase de diseño de la máquina perforadora se llevó a cabo utilizando datos de estudios edafológicos e hidrogeológicos de la región Lambayeque, donde se estableció un valor promedio de resistencia a la compresión del terreno de 50

MPa. Con el dato de la dureza se empezó el dimensionamiento de la fuerza motriz donde se utilizaron ecuaciones de gobierno y mecánica estructural, específicamente la metodología de diseño de Robert L. Mott y Shigley, para los sistemas de transmisión, reductor y pin pasador. El diseño constituyó 5 fases importantes, el primero fue el cálculo de la potencia de rotación y el dimensionamiento del sistema de transmisión desde la toma de fuerza hasta el varillaje, el segundo fue realizar el cálculo de los esfuerzos sometidos sobre la torre de perforación y el bastidor para la selección del material y geometría adecuada, el tercero fue la selección del material para el sistema de varillaje y el cálculo de fuerzas sometidas cuando se realice el trabajo de perforación, el cuarto punto fue el dimensionamiento de la bomba centrífuga para la circulación de lodos y la quinta fase fue el diseño del cabrestante mecánico para el izaje del sistema.

- EL diseño de los componentes críticos fue modelado y simulado en el software comercial SolidWorks, el esfuerzo máximo según criterio Von Mises se encontró por debajo del límite elástico en todos los elementos simulados, el desplazamiento de los materiales está por debajo de 1 mm y los factores de seguridad son mayores a 2,5. Se comprobó de esta manera que los elementos diseñados cumplen con las exigencias de diseño y los parámetros de funcionamiento según normativa internacional y pueden ser fabricados para un escenario real.
- El análisis de costos mostró una tendencia que a mayor capacidad de perforación mayor es el costo de producción de la máquina. Nuestro diseño propuesto para una capacidad de perforación de 70 metros tuvo un costo de S/ 41,089.00 el cual se alinea con el precio de las perforadoras del mercado y las de fabricación local. Esto evidencia que el diseño planteado es económicamente viable y ejecutable a nivel local, porque cuenta con elementos accesibles y tecnologías de manufactura sencillas de realizar. Con esto se ofrece una solución accesible para los pobladores de zonas donde no existe servicio de agua potable optar por la fabricación de esta máquina funcional que sirve para la extracción de agua desde napas subterráneas.

6. Recomendaciones

Después de haberse concluido el presente trabajo de investigación, las recomendaciones para mantener una larga vida útil de la máquina y realizar un correcto trabajo de perforación son las siguientes:

- Realizar un estudio de suelos de la zona donde se propone hacer la perforación para rediseñar las características de la máquina. Cabe indicar que el diseño propuesto en este proyecto fue para terrenos con dureza de 50 MPa, si se obtiene valores de dureza menores o mayores al actual ponerse en contacto con el autor para proporcionar la hoja de cálculo automatizada con los parámetros de diseño según el tipo de terreno.
- Implementar el diseño propuesto a fin de ponerlo en práctica y para determinar el grado de profundidad, tanto en terrenos arenosos como arcillosos, en futuras investigaciones.
- Implementar, a través de la universidad un laboratorio para pruebas y resistencia mecánica a fin de cuantificar y validar con los análisis teóricos y computacionales.
- Establecer vínculos con la empresa privada, desde la universidad, para promover su construcción y/o fabricación con propósito de emprendimiento.

7. Referencias

- [1] Ministerio Nacional del Ambiente, «Ley de Recursos Hídricos,» Lima, 2019.
- [2] OXFAM, «Oxfam Afiliados,» 20 Febrero 2021. [En línea]. Available: <https://peru.oxfam.org/qu%C3%A9-hacemos-ayuda-humanitaria/entre-7-y-8-millones-de-peruanos-no-tienen-acceso-agua-potable>.
- [3] Autoridad Nacional del Agua, «Monitoreo de las Aguas Subterráneas en el Acuífero Chancay Lambayeque,» Lambayeque, 2010.
- [4] Direct Industry, «Direct Industry,» 14 Marzo 2019. [En línea]. Available: <https://guide.directindustry.com/es/que-perforadora-elegir/>.
- [5] Asociación Nacional de Pozos de agua, Manual de entrenamiento principiante del perforador de pozos de agua, Columbus, 1979.
- [6] P. A. Farelo Romero, F. E. Pérez Várela y I. R. Tovar Espino, Artists, *Diseño y construcción de una máquina perforadora de pozos de agua*. [Art]. Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar, 2000.
- [7] G. P. Castellanos Mosquera, Artist, *Diseño de una torre de perforación de agua*. [Art]. Escuela Politécnica Nacional, 2008.

- [8] C. G. Pariente Málaga, Artist, *Diseño y simulación de perforadora hidráulica para pozos de agua*. [Art]. Universidad de Piura, 2013.
- [9] H. F. Luque Suaña, Artist, *Estudio y análisis de una perforadora hidráulica para pozos de agua en la región Puno*. [Art]. Universidad Nacional del Atiplano Puno, 2016.
- [10] E. R. Mori Navarro, Artist, *Rediseño de una perforadora hidráulica para mayor profundidad de pozos de agua en Jayanca*. [Art]. Universidad César Vallejo, 2016.
- [11] S. I. Bermedo Fernández, Artist, *Diseño de una máquina perforadora de pozos para la obtención de agua desde napas subterráneas*. [Art]. Universidad del Bio - Bio, 2017.
- [12] A. I. Atamanenko, Artist, *Soluciones tecnológicas pra la construcción de pozo de producción direccional con una profundidad de 3086 metros en el campo de petróleo de Maysky (REgión de Tomsk)*. [Art]. Universidad Politécnica de Tomsk, 2017.
- [13] W. Wang, L. Fan, C. Zha, J. Li y G. Liu, «Investigaciones experimentales y numéricas sobre el mecanismo de rotura de rocas de la perforación de percusión rotatoria con un solo cortador PDC,» *Revista de ciencia e ingeniería del petróleo*, 2017.
- [14] E. L. Samaniego Saucedo, Artist, *Fabricación de un perforador semi industrial de excavación para pozos tubulares en la ciudad de Piura*. [Art]. 2017.
- [15] A. A. Babalola, U. D. Olawale y E. Ajisegirl, «Diseño de un prototipo montado en un tractor agrícola de una plataforma de perforación de agua,» *Revista nigeriana de ingeniería*, 2018.
- [16] R. J. Rodríguez Calderón, Z. H. R. Martín y R. M. Rayos Vallencio, Artists, *Diseño general de perforadora rotativa*. [Art]. 2020.
- [17] J. J. Ordoñez Gálvez, *Aguas Subterráneas - Acuíferos*, Lima, 2011.
- [18] M. V. Vélez Otálvaro, *Hidráulica de aguas subterráneas*, Medellín, 1999.
- [19] J. L. Fuentes Yagüe, *Aguas subterráneas*, Madrid, 1993.
- [20] G. R. d. Lambayeque, «Estudio de suelos con fines de zooficación ecológica económica.,» 2012.

- [21] A. N. d. Agua, «Estudio edafológico,» Lima, 1965.
- [22] G. R. d. Lambayeque, «Estudio geológico del departamento de Lambayeque,» Lambayeque, 2013.
- [23] J. A. Chico Romero, Manual de pozos rasos, Washington, 1977.
- [24] A. Bellido, *Manual de perforación manual de pozos y equipamiento con bombas manuales*, Lima, 2004.
- [25] Seguridad Minera, «Seguridad Minera,» 19 Octubre 2017. [En línea]. Available: <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/perforacion-minera-tipos-clases-de-maquinaria-y-ubicacion-de-taladros/#:~:text=Perforaci%C3%B3n%20manual,con%20el%20proceso%20de%20perforaci%C3%B3n..>
- [26] V. Yepes Piqueras, «Universidad Politécnica de Valencia,» 29 enero 2019. [En línea]. Available: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/01/29/principios-de-las-perforaciones-a-rotacion/>.
- [27] S. G. Quilca Gualsaquí, Artist, *Elección de brocas de perforación en pozos petroleros de acuerdo a las características de las formaciones y al perfil del pozo*. [Art]. Universidad Tecnológica Equinoccial, 2012.
- [28] J. L. Ramos Ramos, «Estado del arte de las brocas de perforación,» *Ingeniería de Petróleos*, 2011.
- [29] K. J. Salas Quinta, Artist, *Optimización en el proceso de perforación aplicando la percusión asistida en el sistema rotativo (PARD) para aumentar la productividad en operaciones a tajo abierto*. [Art]. 2019.
- [30] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 2008.
- [31] R. L. Mott, Diseño de elementos de máquinas, 2006.
- [32] G. Pahl, W. Beitz, J. Feldhusen y K. Grote, Engineering Design, Berlín, 1997.
- [33] A. P. Institute, «OCTAL,» [En línea]. Available: <https://www.octalacero.com/octg-tuberia-de-revestimiento-y-produccion-y-perforacion>. [Último acceso: Abril 2022].
- [34] D. Gonzáles Cabrero, Artist, *Evaluación de los parámetros de perforación en barrenos y correlación con la geología del terreno*. [Art]. 2016.

- [35] M. A. De Gracia Peñaloza, Artist, *Influencia de las Trayectorias Hidráulicas y de Tensión sobre la degradación de la argilita de Lilla. Efecto sobre la estabilidad de taludes*. [Art]. 2010.
- [36] E. P. Feijoo Calle y J. C. Padrón Suarez, «La resistividad de rocas y su relación con la resistencia a compresión simple en mina,» p. 7, 2020.
- [37] Á. Aparicio Morales, Artist, *Análisis de correlación entre parámetros de control en máquinas pilotadoras y las propiedades residentes del terreno*. [Art]. 2009.
- [38] LENTAX, *Reductores y engranajes*, 2022.
- [39] A. Arequipa, *Catálogo de producto y servicios*, Lima.
- [40] R. J. Rodríguez Castellón, R. M. Zeas Herrera y R. M. Rayos Vallecillo, Artists, *Diseño general de una perforadora rotativa*. [Art]. Universidad Nacional de Ingeniería, 2020.
- [41] J. M. De Salas, *Manual de perforación y voltadura de rocas*, Madrid.
- [42] J. Bernalúa Alonso, J. Castilla Gómez y J. Herrera Herbert, *Perforación y voladura de rocas en minería*, Madrid, 2013.
- [43] B. LLC, «Burovik LLC,» [En línea]. Available: <https://burovik.biz/>.
- [44] A. Dimesa, «Aceros Dimesa,» 2021. [En línea]. Available: <https://acerosdimesa.com/product-detail/redondo-carretero/>. [Último acceso: Octubre 2022].
- [45] M. Aguilar Sosa, «SlidePlayer,» 2016. [En línea]. Available: <https://slideplayer.es/slide/10367899/>.
- [46] Truper, «Truper,» [En línea]. Available: <https://www.truper.com/cables-de-acero-7-x-19-hilos-carrete-de-madera-75-m.html>. [Último acceso: Octubre 2022].
- [47] A. t. d. d. r. C. Lambayeque, «Inventario de fuentes de agua subterráneas en el valle Chancay - Lambayeque,» 2004.
- [48] EMHEI, *Cajas y tomas de fuerza TEKMATIK*.
- [49] MXR, «AliExpress,» 2022. [En línea]. Available: <https://es.aliexpress.com/item/1005001896128872.html>.
- [50] Intermecc, *Poleas en V*.

- [51] O. Production, «Diseño de la perforación de pozos,» 07 Marzo 2016. [En línea]. Available: <http://oilproduction.net/perforacion/item/369-conceptos-de-diseno-para-la-perforacion-de-un-pozo>.
- [52] Hidrostal, «Hidrostal,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.hidrostal.com.pe/pdf/catalogos/L1/CATALOGO%20LINEA-1%20EjeLibre2858.pdf>.
- [53] F. J. J. E. R. P. Beer y J. T. M. D. F. Dewolf, Mecánica de materiales 5ta edición, México, 2009.
- [54] P. S. Rodriguez Palomino y A. R. Malca Quicio, Artists, *Diseño de una máquina perforadora de bajo costo para excavación de pozos de agua en la provincia San Marcos*. [Art]. 2022.

8. Anexos*Anexo 1 Guía de entrevista para diagnóstico actual de perforadoras*

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

ENTREVISTA N°

GUÍA DE ENTREVISTA**OBJETIVO:**

Diagnosticar el estado de producción y las características de diseño de las perforadoras mecánicas para la construcción de pozos tubulares en la región Lambayeque.

INSTRUCCIONES:

Complete los espacios en blanco y/o marque según corresponda:

1) DATOS GENERALES

a) Ubicación: _____ Provincia: _____

Distrito: _____

b) Nombre y apellido: _____

c) Cargo: _____ Tiempo: _____

d) Sexo: Masculino () Femenino () Edad: _____

e) Procedencia de máquina: _____ Años de la máquina: _____

2) ESPECIFICACIONES DE LA PERFORADORA

a) Tipo de motor que se utiliza como fuerza motriz: _____

b) Potencia de fuerza motriz: _____

c) Material de construcción: _____

d) Tipo de broca: _____ Diámetro de perforación: _____

e) Precio de fabricación o adquisición: _____

f) Manipulación de máquina:

Manual () Mecánica () Automatizada ()

g) Funciones:

Retroceso: Si () No ()

Embrague: Si () No ()

h) Componentes de transmisión

Caja reductora () Diferencial vehicular () Reducción por
 cadenas () Otros ()

Poleas – Bandas () Piñones – Cadenas ()

3) CUESTIONARIO

3.1 ¿Qué problemas presenta actualmente su máquina perforadora?

3.2 ¿Cuál es la máxima profundidad lograda con su perforadora y en qué lugar de Lambayeque?

3.3 ¿Cuánto es el tiempo promedio que demora para llegar a perforaciones de 20, 30 y 50 metros; o la máxima profundidad lograda por su máquina?

3.4 ¿Cuáles son los problemas más frecuentes que presenta al momento de realizar una perforación?

3.5 ¿Necesidades primordiales que necesita implementar su perforadora?



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

GUÍA N°

GUÍA DE OBSERVACIÓN

Tipo de perforadora: _____

1) Características generales de máquina observada

2) Tipo de torre de perforación

3) Condiciones de trabajo sometida

4) Sistema de empuje y elevación

5) Identificación de pros y contras

6) Observaciones adicionales

CIR /L CIR /V	CAJAS INVERSORA REDUCTORA	
--------------------------	----------------------------------	---



Las cajas inversoras-reductoras de velocidad EMHEI tipo CIR-650 y CIR-950 están proyectadas y construidas para trabajar tanto en tierra (para usos agrícolas e industriales) o uso marino (embarcaciones).

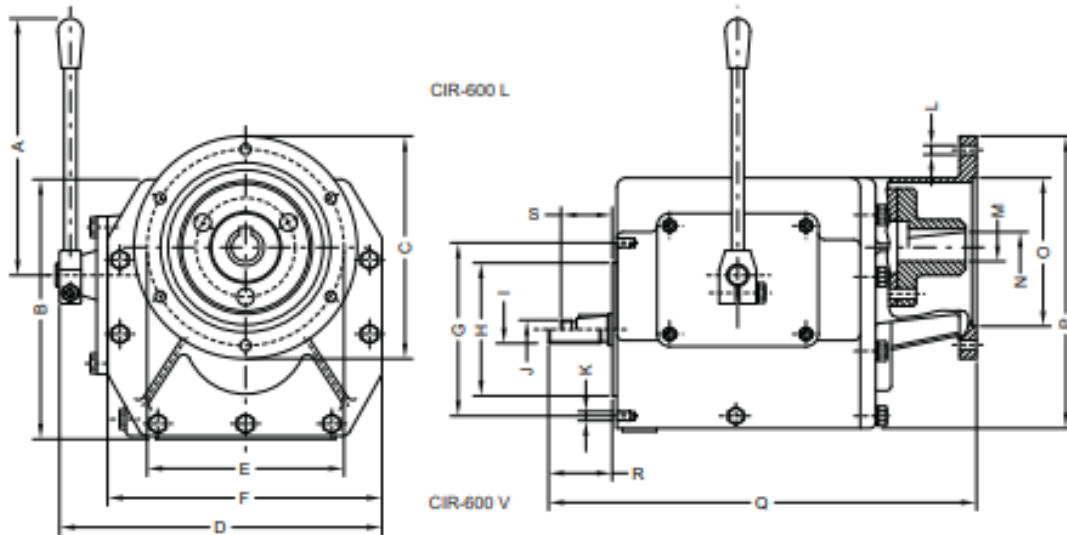
La caja está construida en aleación de aluminio. Los engranajes de acero aleado son templados para su mayor resistencia al desgaste, garantizando larga vida útil. Engranajes, campanas y ejes están montados totalmente sobre rodamientos. El eje de salida está sustentado en ambos extremos por rodamientos cónicos dimensionados para soportar los empujes axiales en ambos sentidos.

La inversión del movimiento se obtiene a través de una palanca exterior que acciona en forma suave hacia uno u otro lado al embrague multidisco y por lo tanto a los engranajes. La relación de reducción es aproximadamente 1/2 (adelante 1/1.95 y atrás 1/2.02).

Un tapón de carga de aceite con varilla permite controlar el nivel máximo y mínimo del mismo. Puede utilizarse el mismo aceite del motor, SAE 30 ó 40.

Para la caja CIR-600 con brida de acople se construyen las versiones L y V aptas para su acople a diferentes motores.

DATOS TECNICOS



TIPO	Torque entrada Nm	Torque salida Nm	A	B	C	D	E	F	G	H h6	I / J h6	K cant 6	L H7	M / N	O H7	P	Q	R / S
CIR-600 L	32	65	283.5	210	155	236	135	198	135	105	M16 x 1.5	M8	9 cant 6	23.8	105	229.5	344	37
CIR-600 V	35	65	283.5	210	165	236	142	198	135	105	M16 x 1.5	M8	11 cant 5	30	116	234.5	413	64

La información puede variar sin previo aviso.

Consultar a nuestro departamento técnico.

Anexo 4 Especificaciones técnicas toma de fuerza

TF

TOMAS DE FUERZA

TEKMATIC



Las tomas de fuerza con embrague y freno EMHEI TIPO TF-4 y TF-6 están proyectadas y construidas para trabajar tanto en tierra (para usos agrícolas e industriales) o uso marino (embarcaciones).

La caja está construida en aleación de aluminio. El eje de salida está sustentado en ambos extremos por rodamientos para soportar los empujes radiales y axiales en ambos sentidos.

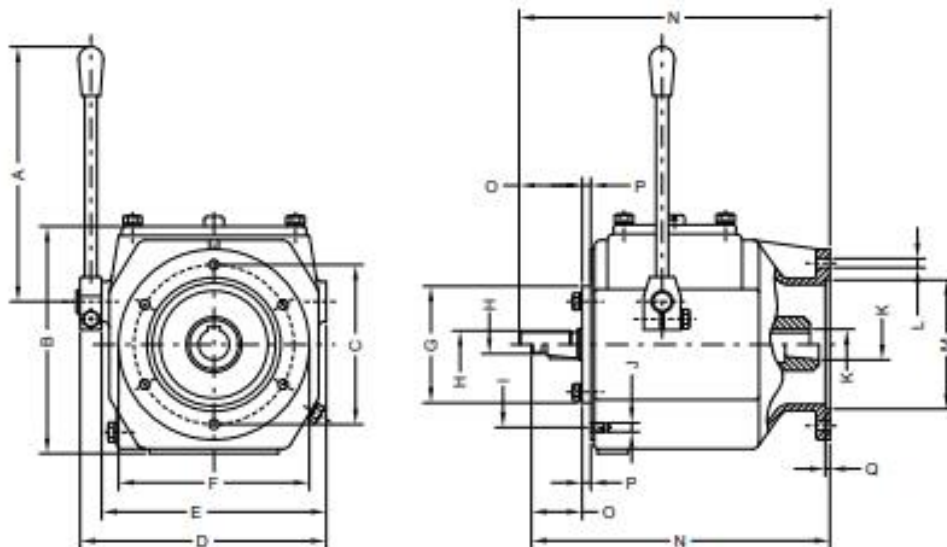
La conexión del movimiento se obtiene a través de una palanca exterior que acciona el embrague multidisco o el frenado.

Se construyen las versiones L y V aptas para su acople a diferentes motores.

Puede utilizarse el mismo aceite del motor, SAE 30 ó 40.

Un tapón lateral indica el nivel de aceite que se carga por la tapa superior.

DATOS TECNICOS



TIPO	Torque Nm	A	B	C	D	E	F	G h6	H h6 std.	H h6 optat.	I	J cant 8	K	L	M H7	N	O	P	Q
TF-4L	37	284	170	135	185	160	155	105	M16 x15	25 25.4 28	135	M8	23.8	9 cant 6	105	242	37	6	7
TF-4V	37	284	170	142	185	160	165	105	28	25 25.4	135	M8	30	11 cant 5	116	310	60	6	6
TF-6L	65	284	198	135	215	188	155	105	M16 x15	25 25.4 30	135	M8	23.8	9 cant 6	105	243	37	6	7
TF-6V	65	284	198	142	215	188	165	105	30	25 25.4	135	M8	30	11 cant 5	116	266	60	6	6

La información puede variar sin previo aviso.

- 110 -

Consultar a nuestro departamento técnico.

Anexo 5 Metodología diseño sistema de transmisión

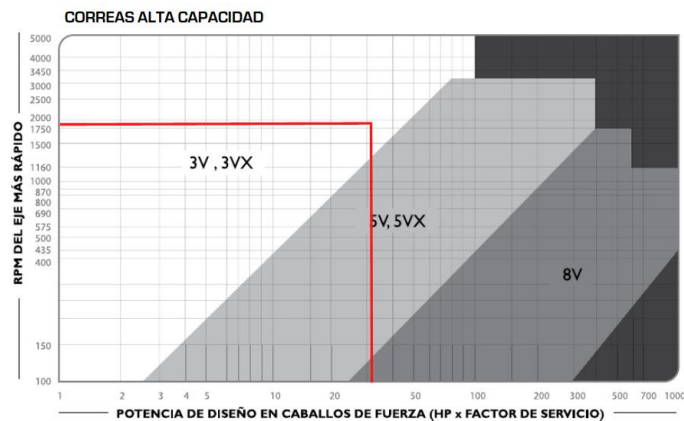
1.

TABLE 7-1 V-belt service factors

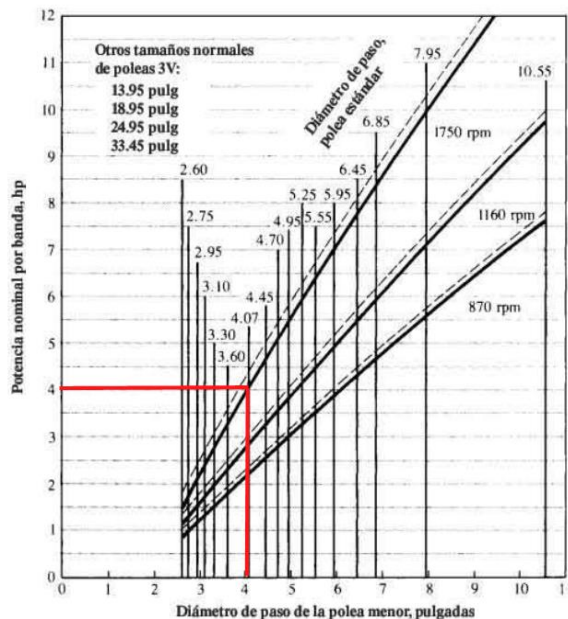
Driven machine type	Driver type					
	AC motors: Normal torque ^a DC motors: Shunt-wound Engines: Multiple-cylinder			AC motors: High torque ^b DC motors: Series-wound, compound-wound Engines: 4-cylinder or less		
	<6 h per day	6-15 h per day	>15 h per day	<6 h per day	6-15 h per day	>15 h per day
Agitators, blowers, fans, centrifugal pumps, light conveyors	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Generators, machine tools, mixers, gravel conveyors	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Bucket elevators, textile machines, hammer mills, heavy conveyors	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Crushers, ball mills, hoists, rubber extruders	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8
Any machine that can choke	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

^aSynchronous, split-phase, three-phase with starting torque or breakdown torque less than 175% of full-load torque.
^bSingle-phase, three-phase with starting torque or breakdown torque greater than 175% of full-load torque.

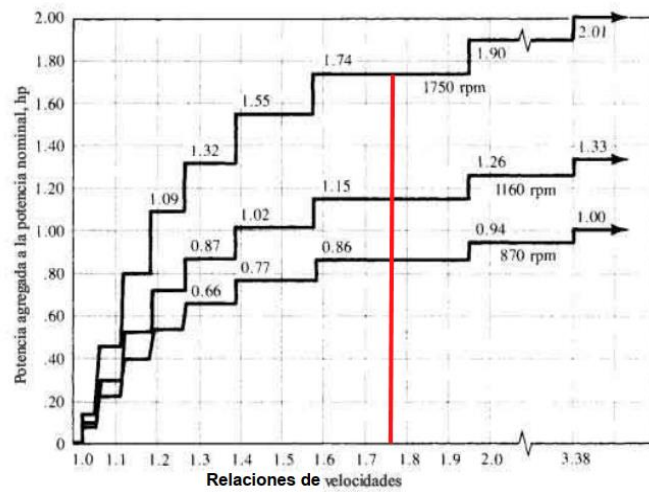
2.



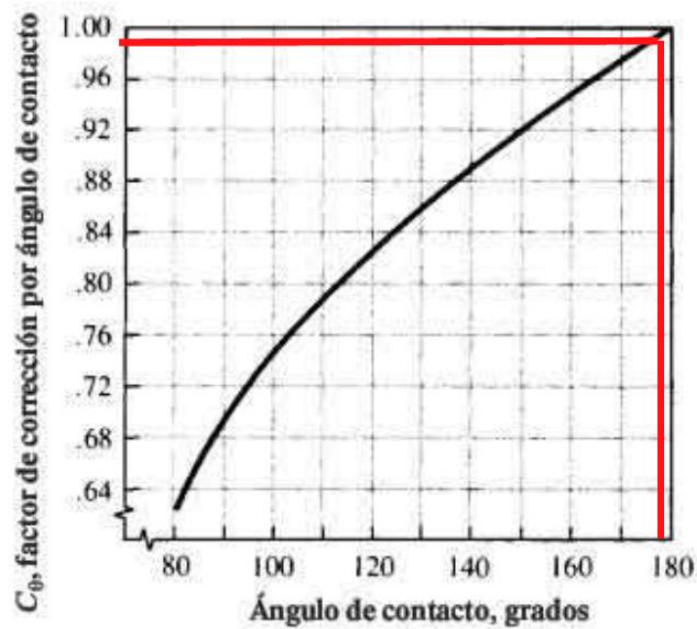
3.



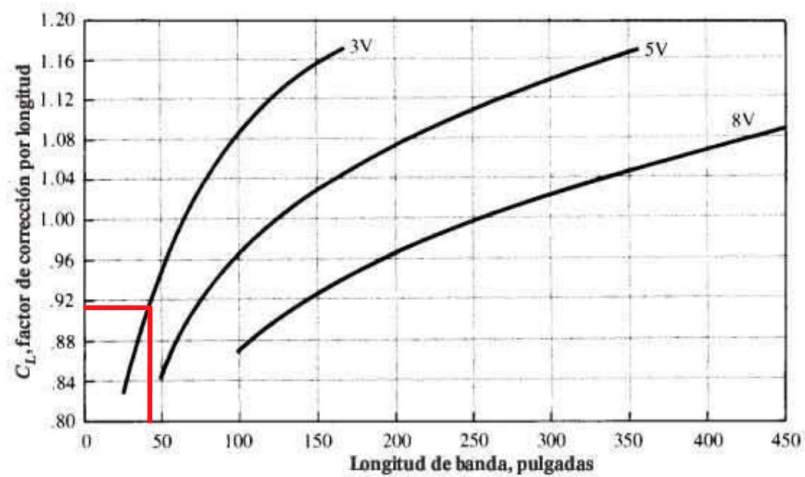
4.



5.



6.



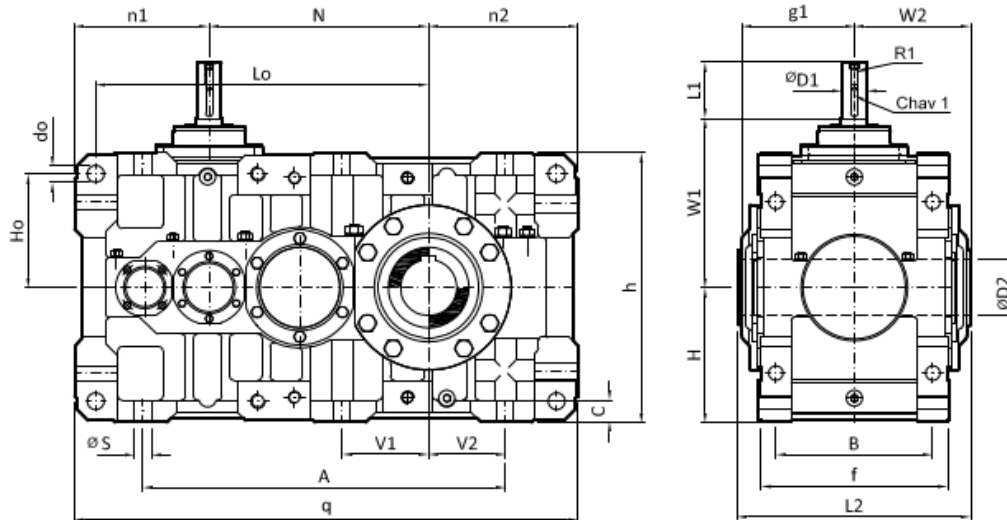
Anexo 6 Selección de reductores - Lentax

FACTORES DE SERVICIO
SERVICE FACTORS
TABLA N° 1
TABLE N° 1

MAQUINA ACCIONADA	FACTOR f1			APPLICATIONS AND INDUSTRY
TIPO DE MAQUINA	f1 FACTOR			DRIVEN MACHINE
	hs. de Servicio			
	8	16	24	
EXCAVADORAS Y DRAGAS				DREDGERS
Excavadoras de cangilones (cadena fija)	1,65	1,8	2	Bucket excavator
Excavadoras de cangilones (cadena suelta)	1,5	1,6	1,8	Trench machine
Traslación por orugas	1,65	1,8	2	Travelling gear (caterpillar)
Traslación por rieles	1,5	1,6	1,8	Travelling gear (rails)
Bombas de aspiración	1,4	1,5	1,8	Suction pumps
Apiladoras de cangilones	1,4	1,5	1,8	Bucket loader
Ruedas de cangilones	1,65	1,8	2	Bucket wheels
Cabezales de corte	1,65	1,8	2	Cutter heads
Dispositivo de viraje	1,65	1,8	2	Manoeuvring winches
TRITURACION Y MOLIENDA (cemento-cal-yeso)				STONE AND CLAY WORKING MACHINES
Trituradoras de mandíbulas	1,65	1,8	2	Jaw crushers
Trituradoras de cono	1,65	1,8	2	Cone crushers
Trituradoras rotativas	1,65	1,8	2	Gyratory crushers
Quebrantadoras rotativas	1,65	1,8	2	Rotary breakers
Hornos rotativos	1,8	2	2,5	Rotary ovens
Sopladores	1,4	1,5	1,8	Blowers
Zarandas vibratorias	1,5	1,8	2	Vibrating screens
Molinos de martillos	1,8	2	2,5	Hammer mills
Molinos de bolas	1,8	2	2,5	Ball mills
Molinos de percusión	1,9	2,2	2,5	Beater mills
Molinos tubulares	1,8	2	2,5	Tube mills
Machacadoras	1,8	2	2,5	Breakers
MAQUINAS PARA EL CAUCHO				RUBBER MACHINERY
Calandras	1,5	1,6	1,8	Calenders
Amasadoras	1,65	1,8	2	Pugmills
Extrusoras	1,65	1,8	2	Extruders
Laminadoras	1,65	1,8	2	Rolling mills
Mezcladoras	1,5	1,6	1,8	Mixers
TRANSPORTE Y ALMACENAJE				CONVEYORS
Montacargas	1,6	1,8	2	Hoists
Elevadores de personas	2	2,5	3	Passenger lifts
Elevadores inclinados	1,65	1,8	2	Inclined hoists
Elevadores de cangilones (rocas)	1,65	1,8	2	Bucket elevators (piece goods)
Elevadores de cangilones (granos)	1,5	1,6	1,8	Bucket elevators (bulk material)
Transportadores a cadena (redlers)	1,5	1,6	1,8	Chain conveyors
Transportadores de cangilones	1,5	1,6	1,8	Bucket conveyors
Transportadores circulares	1,5	1,6	1,8	Circular conveyors
Roscas transportadoras	1,25	1,4	1,6	Screw conveyors
Bandas transportadoras (granel)	1,25	1,4	1,6	Belt conveyors (bulk material)
Transportadores de banda (articulados)	1,3	1,5	1,7	Apron conveyors
Transportadores de cinta de acero	1,5	1,6	1,6	Steel belt conveyors
Bandas transportadoras (bultos grandes)	1,4	1,6	1,8	Belt conveyors (piece goods)
Transportadores de placas	1,5	1,6	1,8	Band pocket conveyors
Tornos de elevación	1,6	1,8	2	Ballast elevators

NOTA : Valores orientativos para una pre-selección debiéndose ajustar a las condiciones particulares.
 NOTE : These are indicative values for a pre-selection and must be adjusted to the particular conditions.

TABLA DE MEDIDAS - SERIE KVP-HU OVERALL DIMENSIONS - TYPE KVP-HU



Modelo <i>Model</i>	øD1	L1	chav1	R1	øD2 min	øD2 max	L2	Lo	Ho	ødo	A	B	øS	H
KVP 200	38	80	10x8	M12	70	90	330	521	190	28	545	245	28	225
KVP 225	48	110	14x9	M16	80	100	355	589	190	28	615	245	28	225
KVP 250	48	110	14x9	M16	90	110	400	655	222.5	35	710	290	35	265
KVP 280	60	140	18x11	M20	100	120	460	744.5	262.5	42	805	340	42	315
KVP 320	60	140	18x11	M20	110	140	580	827	282.5	42	900	390	42	335

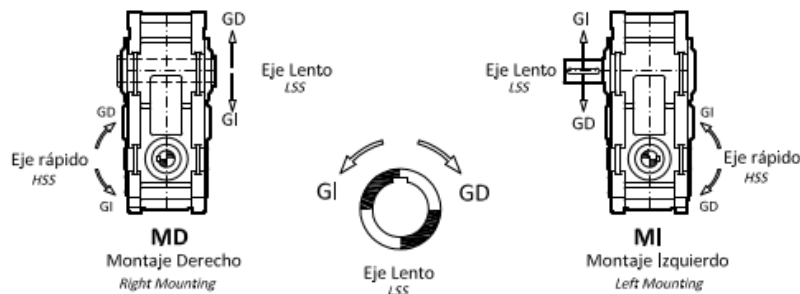
NOTA 1: El dibujo es de carácter informativo y la apariencia y/o forma pueden variar de un modelo a otro dependiendo de la versión de fabricación.
NOTE 1: The picture is informative and appearance and / or shape may vary from one model to another depending on the production version.

NOTA 2: Tamaño 320 montaje solamente con disco de contracción, consultenos.

NOTE 2: Size 320 available only with shrink disk connection for shaft mounted, please check with factory.

Modelo <i>Model</i>	N	V1	V2	W1	W2	g1	n1	n2	f	c	h	q	Peso <i>Weight</i> Kg	Aceite <i>Oil</i> lts
KVP 200	340	----	105	280	165	160	212	215	294	33	450	767	370	12.5
KVP 225	385	----	140	350	177.5	175	235	250	294	33	450	870	440	16
KVP 250	430	----	155	350	200	200	265	295	352	42	530	990	600	19
KVP 280	480	----	185	420	230	225	318	355	415	50	630	1153	1010	40
KVP 320	545	215	190	420	290	275	334	370	465	55	670	1249	1505	52

NOTA 3: Montaje con eje hueco puede hacerse con disco de contracción, ver información adicional en el presente catálogo.
NOTE 3: Shrink disk connection available for shaft mounted, please check further information in this catalogue.



Configuración Setting

MD : Montaje Derecho

MD : Right Mounting

MI: Montaje Izquierdo

MI: Left Mounting

GD : Giro Horario

GD : Clockwise Rotation

GI : Giro Antihorario

GI : Counterclockwise Rotation

Anexo 7 Características técnicas tubería ASTM A500

TUBO CUADRADO DE ACERO ASTM A500



El tubo cuadrado de acero estructural laminado al caliente (LAC), presenta una soldadura interna con el sistema ERW. Son ampliamente utilizados en el mantenimiento industrial, implementos agrícolas, equipos de transporte, etc.

Especificaciones: ASTM A500, AISI A500

Fácil de soldar, cortar, dar forma y maquinar.
Longitud 6 metros.

Propiedades Mecánicas	Limite de Fluencia (Mpa) mín.	269
	Resistencia a la Tracción (Mpa) mín.	310
	Elongación Probeta 8"	25.0% mínimo

Tolerancias	
Espesor	+/- 10%
Longitud	+127 / -64

Dimensiones		Espesor		Peso Teórico	
mm	pulg	mm	Kg/m	Kg	
20 x 20	3/4" x 3/4"	0.9	0.49	2.96	
		1.5	0.86	5.14	
		2	1.04	6.24	
25 x 25	1" x 1"	1.5	1.06	6.37	
		2	1.46	8.76	
		2.5	1.67	10.02	
		3.0	1.93	11.58	
		1.2	1.04	6.24	
30 x 30	1 1/4" x 1 1/4"	1.5	1.30	7.80	
		1.8	1.68	10.08	
		2	1.86	11.16	
		2.5	2.17	13.02	
		1.5	1.77	10.62	
40 x 40	1 1/2" x 1 1/2"	1.8	2.03	12.18	
		2	2.24	13.46	
		2.5	2.99	17.94	
		3	3.54	21.24	
		4.5	4.52	27.12	
50 x 50	2" x 2"	1.2	1.87	11.24	
		1.5	2.25	13.50	
		1.8	2.70	16.20	
		2	3.12	18.73	
		2.5	3.87	23.23	
		3	4.49	26.94	
		4	6.57	39.41	
		4.5	6.02	36.12	
		6	8.54	51.21	
		2	3.56	21.36	
60 x 60	2 1/2" x 2 1/2"	2.5	4.39	26.34	
		3	5.19	31.14	
		4	7.14	42.86	
		4.5	7.43	44.58	
		1.5	3.41	20.43	
75 x 75	3" x 3"	2	4.50	27.00	
		2.5	5.56	33.36	
		3	6.81	40.86	
		4	8.59	51.54	
		4.5	9.55	57.30	
		6	13.11	78.66	
		2	6.17	36.99	
100 x 100	4" x 4"	2.5	7.68	46.05	
		3	9.20	55.21	
		4	12.17	73.03	
		4.5	13.59	81.56	
		6	16.98	101.88	
		9.5	25.70	154.20	
		3	11.31	67.86	
125 x 125	5" x 5"	4	14.87	89.22	
		4.5	17.17	103.02	
		4.7 (3/16")	17.81	106.86	
		6	21.69	130.14	
		6.35 (1/4")	23.24	139.44	
150 x 150	6" x 6"	3	13.67	82.02	
		4	18.01	108.06	
		4.5	20.80	124.80	
		6	27.39	164.32	
200 x 200	8" x 8"	3	18.63	111.76	
		4	24.29	145.74	
		4.5	27.77	166.64	
		4.7	29.21	175.26	
		6.0	35.82	214.92	
		8	48.68	292.10	
		9	52.34	314.04	
250 x 250	10" x 10"	9.5	56.08	336.48	
		4.7 (3/16")	36.86	221.14	
		6	45.24	271.44	
300 x 300	12" x 12"	6	54.66	327.96	
		8	73.82	442.90	

Tubos Schedule (SCH)

SIN COSTURA

DENOMINACIÓN:

TRED SMLSS SCH 40, TRED SMLSS SCH 80.

DESCRIPCIÓN:

Tubo para alta presión (SCH) fabricado sin costura (SEAMLESS) con acero al carbono de calidad estructural, utilizando la técnica de extrusión en caliente.

USOS:

Conducción de fluidos a alta temperatura y/o presión en minería, pesca, petróleo, construcción y servicio en general.

NORMAS TÉCNICAS DE FABRICACIÓN:

- Propiedades Mecánicas: Tubos de calidad trinorma: ASTM A53/A53M, ASTM A106/A106M y API 5L PSL 1.
- Tolerancia Dimensional: ASTM A 53 /A 53M.

PRESENTACIÓN:

- Longitud: SRL de 4.8 y 6.7m, DRL de 10.7m mínimo.
- Extremos: Planos para diámetros menores de 2" y biselados para diámetros $\geq 2"$.

DIMENSIONES Y PESOS NOMINALES:

DIÁMETRO NOMINAL	DIÁMETRO EXTERIOR		DIÁMETRO DE PARED		PESO kg/m	PESO tipo	SCH N.º	PRESIÓN DE PRUEBA GRADO B psi
	pulgada	mm	pulgada	mm				
1/2"	0.84	21.3	0.11	2.77	1.27	STD	40	700
1/2"	0.84	21.3	0.15	3.73	1.62	XS	80	850
3/4"	1.05	26.7	0.11	2.87	1.69	STD	40	700
3/4"	1.05	26.7	0.15	3.91	2.20	XS	80	850
1"	1.32	33.4	0.13	3.38	2.50	STD	40	700
1"	1.32	33.4	0.18	4.55	3.24	XS	80	850
1 1/4"	1.66	42.2	0.14	3.56	3.39	STD	40	1,300
1 1/4"	1.66	42.2	0.19	4.85	4.47	XS	80	1,900
1 1/2"	1.90	48.3	0.15	3.68	4.05	STD	40	1,300
1 1/2"	1.90	48.3	0.2	5.08	5.41	XS	80	1,900
2"	2.38	60.3	0.15	3.91	5.44	STD	40	2,500
2"	2.38	60.3	0.22	5.54	7.48	XS	80	2,500
2 1/2"	2.88	73.0	0.20	5.16	8.63	STD	40	2,500
2 1/2"	2.88	73.0	0.28	7.01	11.41	XS	80	2,500

DIÁMETRO NOMINAL	DIÁMETRO EXTERIOR		ESPESOR DE PARED		PESO kg/m	PESO tipo	SCH N.º	PRESIÓN DE PRUEBA GRADO B psi
	pulgada	mm	pulgada	mm				
3"	3.50	88.9	0.22	5.49	11.29	STD	40	2,500
3"	3.50	88.9	0.3	7.62	15.27	XS	80	2,500
4"	4.50	114.3	0.24	6.02	16.07	STD	40	2,210
4"	4.50	114.3	0.34	8.56	22.32	XS	80	2,800
5"	5.56	141.3	0.26	6.55	21.77	STD	40	1,950
5"	5.56	141.3	0.38	9.52	30.94	XS	80	2,800
6"	6.63	168.3	0.28	7.11	28.26	STD	40	1,780
6"	6.63	168.3	0.43	10.97	42.56	XS	80	2,740
8"	8.63	219.1	0.32	8.18	42.55	STD	40	1,570
8"	8.63	219.1	0.50	12.7	64.64	XS	80	2,430
10"	10.75	273.0	0.37	9.27	60.29	STD	40	1,430
10"	10.75	273.0	0.59	15.09	95.97	XS	80	2,320
12"	12.75	323.8	0.41	10.31	79.7	STD	40	1,340
12"	12.75	323.8	0.69	17.48	132.04	XS	80	2,270
14"	14.00	355.6	0.44	11.13	94.55	STD	40	1,310
14"	14.00	355.6	0.75	19.05	158.1	XS	80	2,250

PROPIEDADES MECÁNICAS:

NORMA TÉCNICA	GRADO	LÍMITE DE FLUENCIA (mínimo)		RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (mínimo)	
		ksi	MPa	ksi	MPa
ASTM A 53/A 53M	B	35	240	60	415
ASTM A 106/A 106M	B	35	240	60	415
API 5L PSL 1	B	35	241	60	413

TOLERANCIAS:

De acuerdo al ASTM A 53/A 53M.

LONGITUD:

SRL de 4.8 a 6.7 metros, DRL de 10.7 metros mínimo.

EXTREMOS:

Planos para diámetros menores de 2", biselados $\geq 2"$.

QCQA01-F244/02/SET 23

Previo acuerdo se comercializa en otras medidas.



ISO 9001 CERTIFICATE N° 57219
ISO 14001 CERTIFICATE N° 57220
ISO 45001 CERTIFICATE N° 57221

PERÚ

LIMA: Av. Antonio Miró Quesada N.º 425, piso 17, Magdalena del Mar. Tel. (51-01) 517 1800.

PISCO: Panamericana Sur, Km. 241, Ica. Tel. (51-056) 58 0830.

AREQUIPA: Variante de Uchumayo Km 5.5, Cerro Colorado, Arequipa. Tel. (51-01) 517 1800.

BOLIVIA

LA PAZ: Calle E - Lote 14, manzano A-08, Urbanización Cervecería Boliviana Nacional - Bellavista Viacha. Tel. (591) 75555819/77641658.

SANTA CRUZ: Urb. Parque Industrial Latinoamericano, Unidad Industrial U1 06, Mz. 1, lote 4 - Warnes. Tel. (591) 75555819/77641656.

COCHABAMBA: Calle Tte. Monasterios S/N Zona la Maica - Cochabamba. Tel. (591) 75555819/69417963. E-mail: contactobolivia@caa.com.bo

COLOMBIA

CALI: Cra. 25, N.º 13-117, Yumbo, Parcelación Industrial la Y, Valle del Cauca-Colombia.

Tel. (57) 324 4214893.

E-mail: contactocolombia@acerosamerica.com

CHILE

ANTOFAGASTA: Ruta A-26 KM 2.4, El Salar. Tel.: (56) 939249279. E-mail: contacto@acerosamerica.com

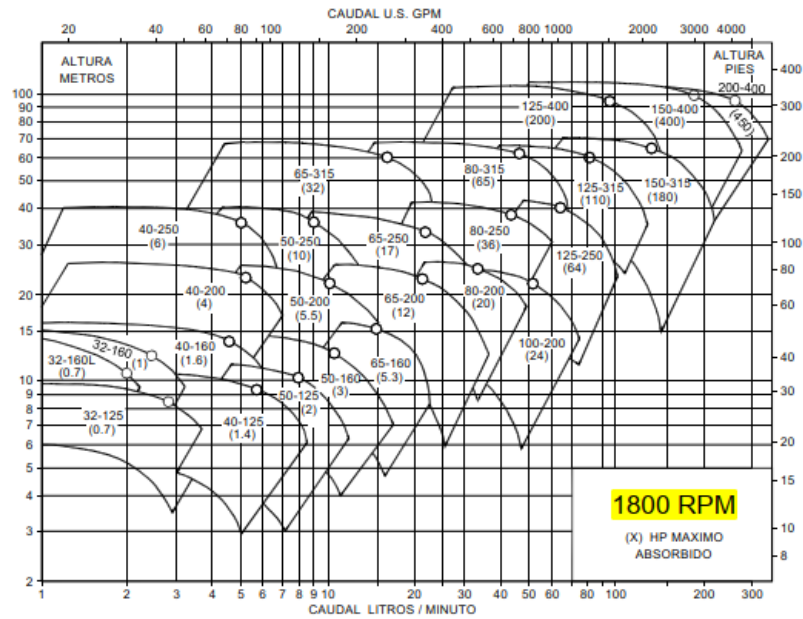
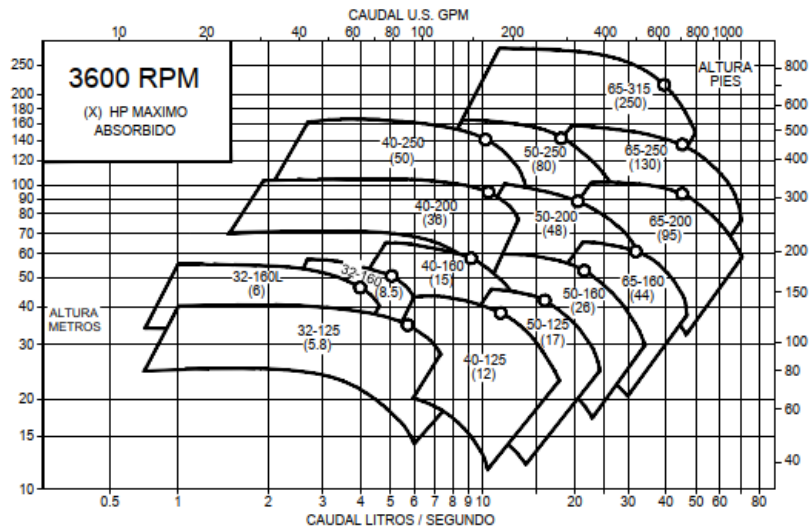
Encuétranos en:



www.acerosarequipa.com

**ACEROS
AREQUIPA**

Anexo 9 Característica bombas Hidrostat



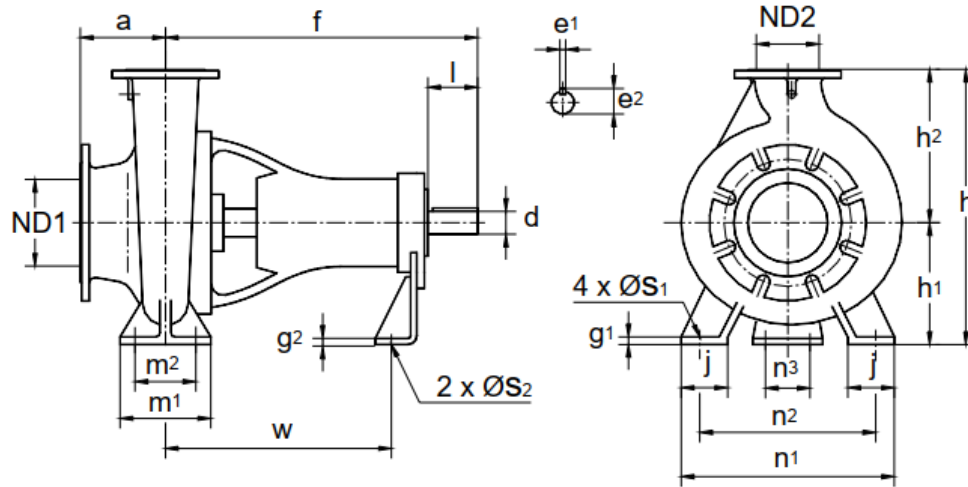
NOTA: PARA UNA CORRECTA SELECCION DIRIJASE A LAS CURVAS INDIVIDUALES DE LAS BOMBAS DE ACUERDO A SU EJECUCION METALURGICA:
SECCION 10 A: BOMBAS CON CAJA EN FIERRO FUNDIDO GRIS O NODULAR CON RECUBRIMIENTO CERAMICO
SECCION 10 B: BOMBAS CON CAJA EN ACERO INOXIDABLE O EN BRONCE SIN RECUBRIMIENTO CERAMICO

BOMBA CENTRIFUGA ISO 2858
 CATALOGO I VERSIÓN: F REV.14 12/2015 **3**





TABLA DE MEDIDAS



MODELO	ND1	ND2	a	f	g1	g2	h	h1	h2	j	m1	m2	n1	n2	n3	es1	es2	w	EJE				PESO (kg)	
																			d	e1	e2	l		
32-125						13	252	112	140				190	140									33	
32-160	50	32				10	292	132	160				240	190									31	
32-160L			80			385				50	100	70							285	24	8	27	50	36
40-125						13	252	112	140				210	160									29	
40-160	65	40				10	292	132	160				240	190									33	
40-200							340	160	180				265	212									41	
40-250						500	405	180	225	65	125	95	320	250		15			370	32	10	35	80	75
50-125						14	292	132	160				240	190									34	
50-160	80	50				385	340	160	180	50	100	70	265	212					285	24	8	27	50	35
50-200						10	360	160	200				265	212									42	
50-250						12	405	180	225				320	250									76	
65-160						10	360	160	200	65	125	95	280	212	110		14		370	32	10	35	80	61
65-200	100	65				13	405	180	225				320	250									69	
65-250							450	200	250				360	280									93	
65-315						530	505	225	280	80	160	120	400	315		18			368	42	12	45	110	106
80-200						12	430	180	250	65	125	95	345	280		15							72	
80-250						500	505	225	280				400	315					370	32	10	35	80	62
80-315	125	80				15	565	250	315				400	315					368	42	12	45	110	118
100-200						530	480	200	280	80	160	120	360	280		18							79	
125-250						15	605	250	355				400	315					370	32	10	35	80	108
125-315							635	280					400	315					368	42	12	45		157
125-400 (63)	150	125	140			712	715	315	400	100	200	150	500	400					533	60	18	64	110	225
150-315													550	450		22			500	48	14	52		197
150-400	200	150	160			670	765	315	450				550	450	140				542	60	18	64	140	276
200-400	250	200	225	750	22		875	375	500	130	250	200	630	510					545	60	18	64	140	339

BRIDAS SEGUN NORMA ISO 2858

MEDIDAS EN MM.

BOMBA CENTRIFUGA ISO 2858
 CATALOGO I VERSIÓN: F REV.14 12/2015 75



Planchas de Alta Resistencia

PERFORM® 700 MC

DENOMINACIÓN:
PPERFORM® 700 MC.

DESCRIPCIÓN:
Plancha de acero estructural de micro aleación con altas propiedades mecánicas.

USOS:
Grúas telescópicas, plataformas aéreas, bombas de hormigón, volquetes, manipuladores, etc.

NORMAS TÉCNICAS:
UNE-EN 10029:2011
Hot-rolled steel plates 3 mm thick or above - Tolerances on dimensions and shape.

PRESENTACION:
Pueden suministrarse sueltas como enzuchadas con forro.
Peso de Planchas en paquetes de 3.0 t.

DIMENSIONES ESTÁNDAR:

DIMENSIONES (mm)	PESO TEÓRICO EN kg/plancha			CEV máximo
	1,280 x 5,800 (mm)	1,500 x 5,800 (mm)	1,500 x 6,000 (mm)	
3.0	174.835			0.48
4.0			282.600	0.48
5.0		8341.475	353.250	0.48
6.0			423.900	0.49
8.0		546.36019.54	565.200	0.49
9.5			671.175	0.49
12.0			847.800	0.49

COMPOSICIÓN QUÍMICA(%):

FRACCIONES DE MASA EN ANÁLISIS DE CUCHARA	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Al [%]	Nb [%]	V [%]	Ti [%]	Mo [%]	B [%]
STEEL GRADE	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.
perform® 700	0.1	0.3	2	0.025	0.006	0,015	0.08	0.2	0.2	0.5	0.005

- 1) Previa disposición, los grados perform® 300 a 700 pueden suministrarse con propiedades de galvanización de categoría A según DIN EN 10149-2, es decir, contenido de Si reducido.
- 2) Un contenido de azufre de máx. Se puede acordar un 0,006% al realizar el pedido.
- 3) Para perform® 300 a 700: La suma de los componentes de aleación Nb, V y Ti no debe superar el 0,22%.

PROPIEDADES MECÁNICAS:

Dirección de prueba paralela a la dirección de laminación, estado de entrega: laminado termo mecánicamente.

GRADO DE ACERO	RESIST. DE FLUENCIA	RESIST. A LA TRACCIÓN	ALARGAM.		ENERGÍA DE IMPACTO DE MUESCA		[t = ESPESOR DE LA MUESTRA]
	R _m [MPa] min.	R _m [MPa]	< 3.0 (mm)	≥ 3.0 (mm)	de -20° C	de -40° C	
perform® 700 ³⁾	700 ³⁾	750 - 950	10	12	40	27	2.0 t

TOLERANCIAS DIMENSIONALES:

- Anchura y Longitud (mm):

ANCHURA		LONGITUD	
ANCHURA NOMINAL (mm)	TOLERANCIA (mm)	TOLERANCIA NOMINAL (mm)	TOLERANCIA (mm)
De 1,000 a < 2,000		De 4,000 a < 6,000	30
De 2,000 a < 3,000	20	De 6,000 a < 8,000	40
De 3,000 a ≤ 3,300	25	De 8,000 a ≤ 10,300	50
		De 10,000 a ≤ 20,300	75

QCQA01-F247/01/SEP 20



ISO 9001:2015

CERTIFICATE N° 57219



ISO 14001:2015

CERTIFICATE N° 57220



ISO 45001:2018

CERTIFICATE N° 57221

PERÚ

LIMA: Av. Antonio Miró Quesada N.º 425, piso 17, Magdalena del Mar. Tel. (51-01) 517 1800.
PISCO: Panamericana Sur, Km. 240, Ica. Tel. (51-056) 58 0830.

AREQUIPA: Variante de Uchumayo Km 5.5, Cerro Colorado, Arequipa. Tel. (51-01) 517 1800.

BOLIVIA

LA PAZ: Calle E - Lote 14, manzano A-08, Urbanización Cervecería Boliviana Nacional - Bellavista Viacha. Tel. (591) 75555819/77641658.

SANTA CRUZ: Urb. Parque Industrial Latinoamericano, Unidad Industrial UI 06, Mz. 1, lote 4 - Warnes. Tel. (591) 75555819/77641658.

COCHABAMBA: Calle Tte. Monasterios S/N Zona la Maica - Cochabamba. Tel. (591) 75555819/69417963. E-mail: contactobolivia@caa.com.bo

CHILE

ANTOFAGASTA: Ruta A-26 KM 2.4, El Salar. Tel.: (56) 939249279. E-mail: contacto@acerosamerica.com

Encuétranos en:



www.acerosarequipa.com

**ACEROS
AREQUIPA**

COTIZACIÓN



PROFORMA - 0688

Señores: Edie Santiago Regalado Hernandez

Fecha_Cot 15/05/2024

Dirección: Jr. Arica S/N - Rioja - San Martin

R.U.C.: 010773854349

FABRICACIÓN ESTRUCTURAS PERFORADORA.

Condición cotización

Orden de mantenimiento

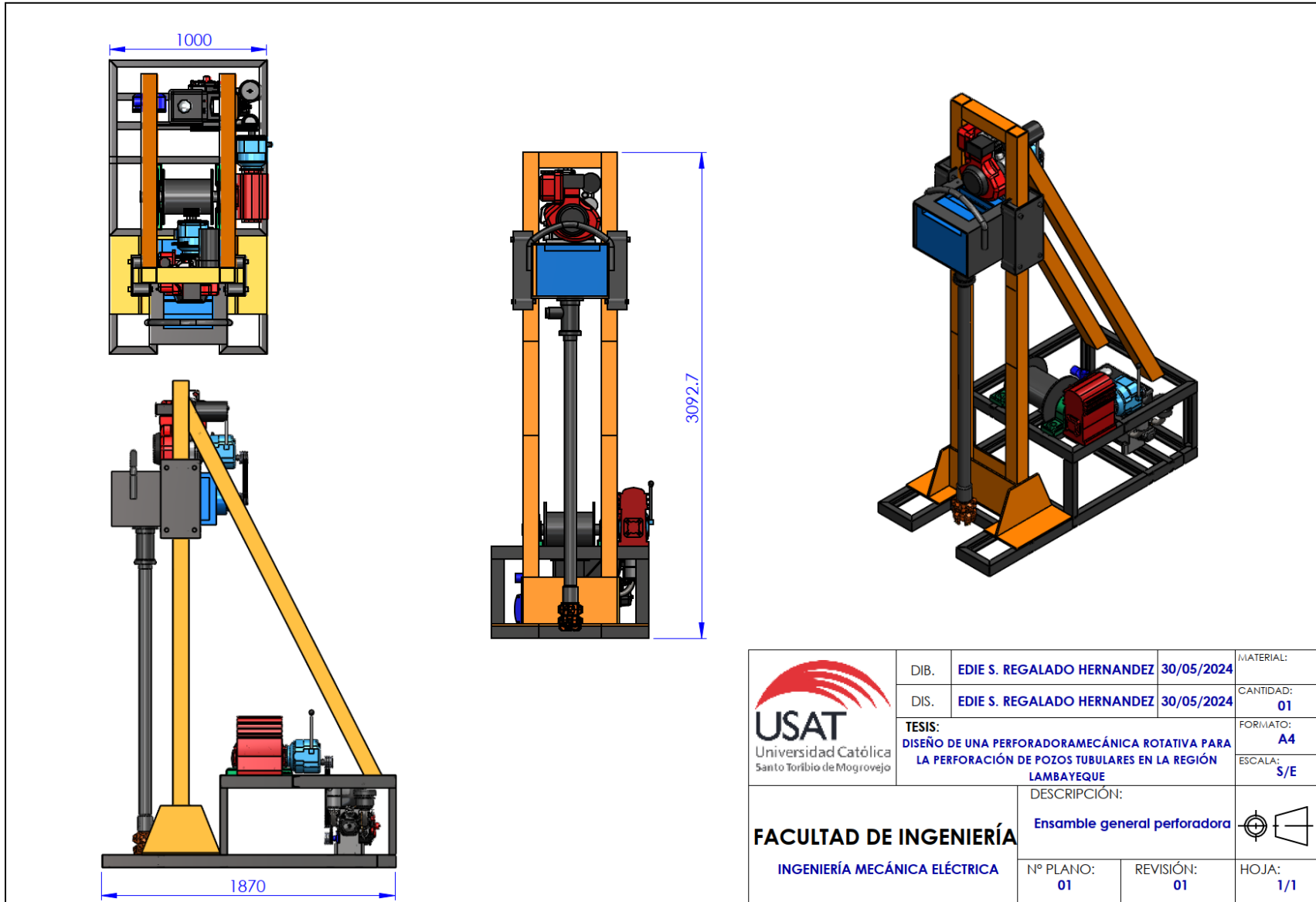
Ítem	DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Importe Total (S/.)	
1.00	SUMINISTRO DE FACTORIA				S/. 4 000.00	
1.01	Perfil estructural ASTM A500, ASTM A36, Perform 700 MC	pza	0.00	S/. 0.00	S/. 4 000.00	
1.02					S/. 0.00	
1.03					S/. 0.00	
1.04					S/. 0.00	
2.00	Fabricación				S/. 4 800.00	
2.01	Fabricación bastidor de perforación.	pza	1.00	S/. 2 500.00	S/. 2 500.00	
2.02	Torre de perforación.	pza	1.00	S/. 1 000.00	S/. 1 000.00	
2.03	Plataforma de perforación.	pza	1.00	S/. 800.00	S/. 800.00	
2.04	Carrete de perforación	pza	1.00	S/. 500.00	S/. 500.00	
					S/. 0.00	
					S/. 0.00	
					S/. 0.00	
3.00	Montaje				S/. 0.00	
3.01	TIEMPO DE ENTREGA: 07 días hábiles.				S/. 0.00	
3.02					S/. 0.00	
3.03					S/. 0.00	
					S/. 0.00	
					S/. 0.00	
Elab_Pres	Aldo S. D.			COSTO PARCIAL	S/. 8 800.00	
Cargo	Tec: Encargado			G.G.U.	0%	S/. 0.00
				COSTO TOTAL	S/. 8 800.00	

Nota:

*Presupuesto , Incluye Suministro de Mano de Obra y Consumibles

*Presupuesto abarca todo lo descrito, cualquier adicional se procederá a la emisión de nuevo presupuesto.

Anexo 12 Plano general de perforadora mecánica




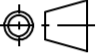
<https://drive.google.com/drive/folders/1FvGLy6Bma0i2il4uHivdQO3W04A0VSL5fusp=sharing>

 <p>USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo</p>	DIB.	EDIE S. REGALADO HERNANDEZ	30/05/2024	MATERIAL:
	DIS.	EDIE S. REGALADO HERNANDEZ	30/05/2024	CANTIDAD: 01
	TESIS: DISEÑO DE UNA PERFORADORA MECÁNICA ROTATIVA PARA LA PERFORACIÓN DE POZOS TUBULARES EN LA REGIÓN LAMBAYEQUE			FORMATO: A4 ESCALA: S/E
FACULTAD DE INGENIERÍA INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA		DESCRIPCIÓN: Ensamble general perforadora		
		Nº PLANO: 01	REVISIÓN: 01	HOJA: 1/1

ADVERTENCIA: Este plano es de autoría de E.S.R.H. Está protegido por derechos de autor y solo puede ser utilizado con fines educativos. Queda prohibida su reproducción, distribución o uso comercial sin el permiso expreso del autor.

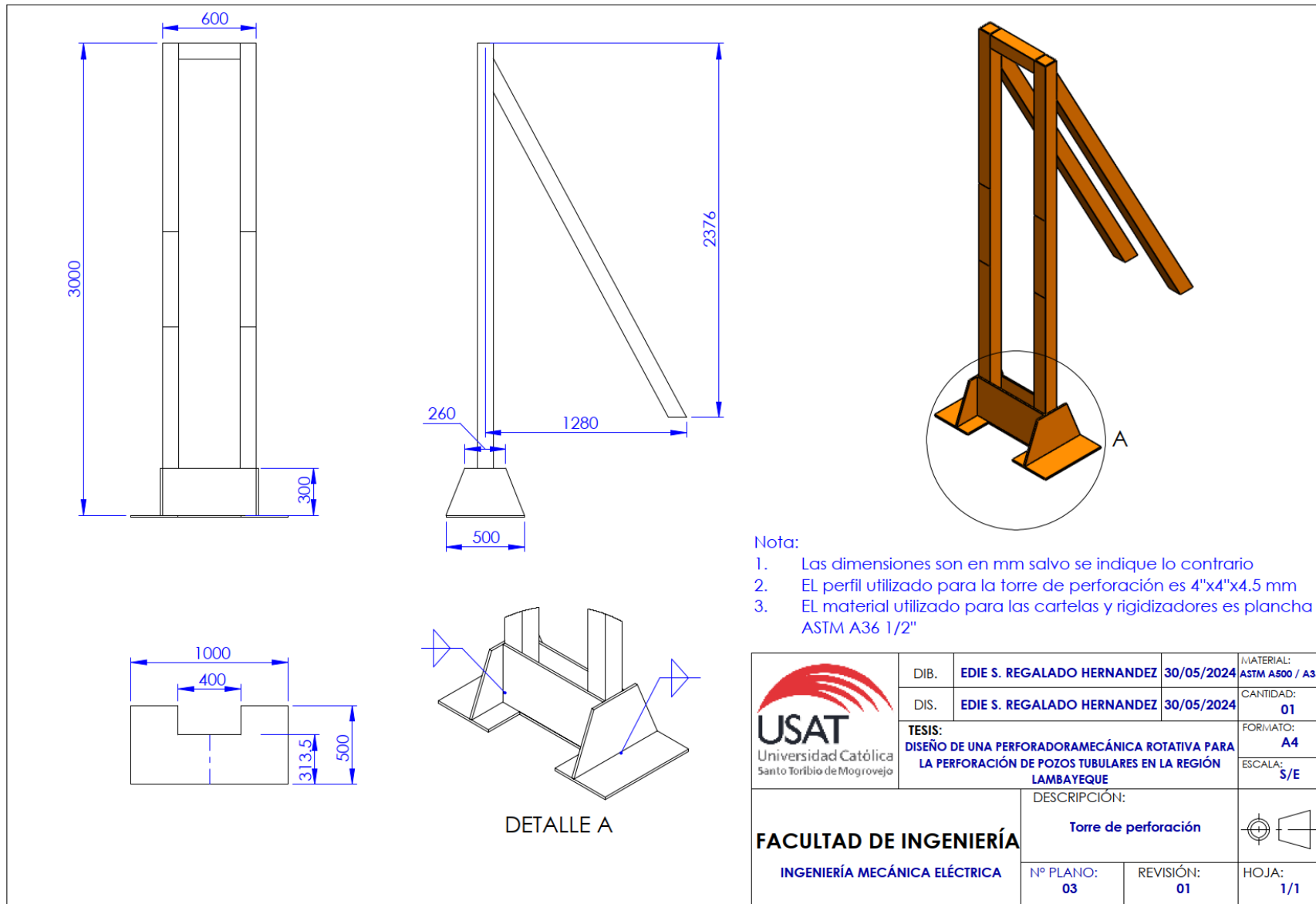
Anexo 13 Plano de detalle de perforadora mecánica

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Torre de perforación	1
2	Plataforma de perforación	1
3	Rodillo deslizante	8
4	Motorreductor de perforación	1
5	Motor estacionario 16 Hp	1
6	Motor estacionario 20 Hp (Fuerza motriz)	1
7	Bomba centrífuga	1
8	Swivel - Kelly de perforación	1
9	Toma de fuerza Tekmatik	2
10	Tambor de cabrestante	1
11	Tubería de perforación	1
12	Broca de perforación con inserto de diamantes	1
13	Polea 4"	1
14	Reductor con tornillo sin fin universal	1
15	Chumacera	2
16	Banda de transmisión V 37.5"	1
17	Banda de transmisión V 59"	1
18	Banda de transmisión V 54"	1
19	Pin pasador	1
20	Torre de perforación	1

 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo	DIB.	EDIE S. REGALADO HERNANDEZ	30/05/2024	MATERIAL:
	DIS.	EDIE S. REGALADO HERNANDEZ	30/05/2024	CANTIDAD: 01
	TESIS: DISÑO DE UNA PERFORADORAMECÁNICA ROTATIVA PARA LA PERFORACIÓN DE POZOS TUBULARES EN LA REGIÓN LAMBAYEQUE			FORMATO: A4
	FACULTAD DE INGENIERÍA INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA			ESCALA: S/E
DESCRIPCIÓN:		Vista explosionada de componentes		
Nº PLANO:	02	REVISIÓN:	01	
HOJA:		1/1		



https://drive.google.com/drive/folders/1FvgLy68m02l14uhvvdQO3W04OVSL5?usp=sharing

Anexo 14 Plano de torre de perforación



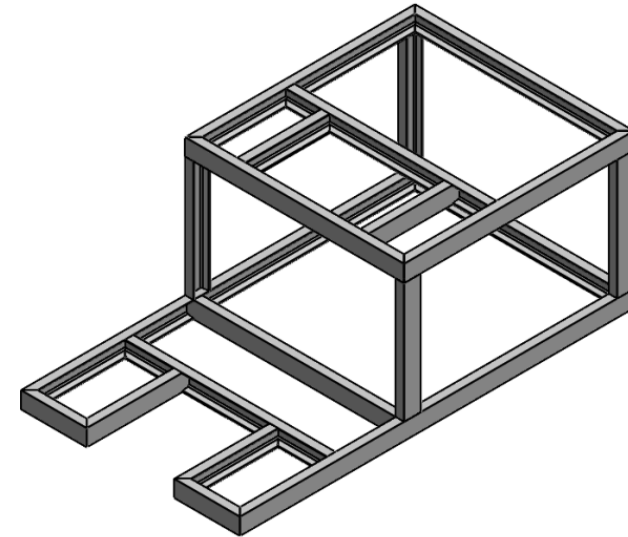
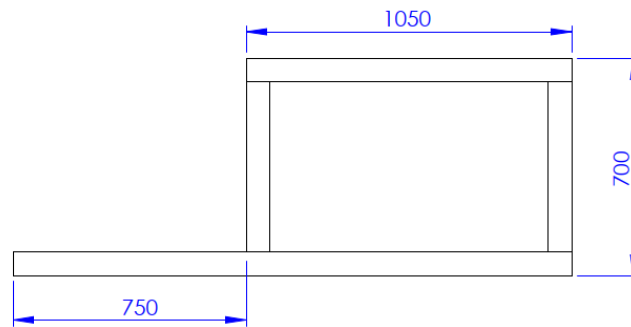
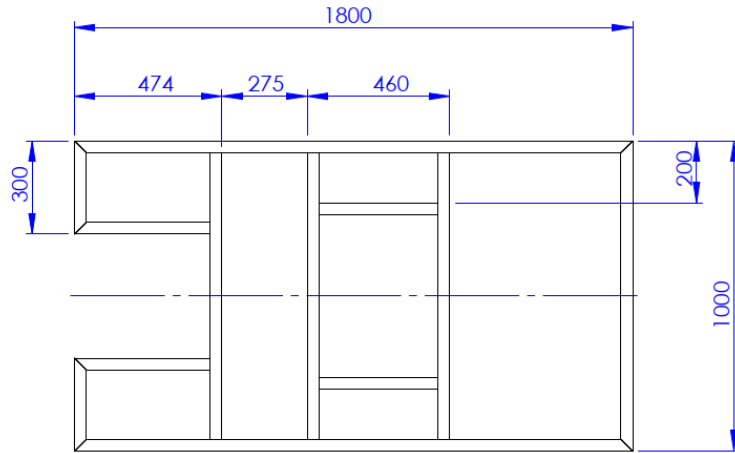
https://drive.google.com/drive/folders/1FvLy68ma02i4uhtvdQ03W04A0VSL5?usp=sharing

- Nota:
1. Las dimensiones son en mm salvo se indique lo contrario
 2. EL perfil utilizado para la torre de perforación es 4"x4"x4.5 mm
 3. EL material utilizado para las cartelas y rigidizadores es plancha ASTM A36 1/2"

 <p>USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo</p>	DIB.	EDIE S. REGALADO HERNANDEZ	30/05/2024	MATERIAL: ASTM A500 / A36
	DIS.	EDIE S. REGALADO HERNANDEZ	30/05/2024	CANTIDAD: 01
TESIS: DISEÑO DE UNA PERFORADORA MECÁNICA ROTATIVA PARA LA PERFORACIÓN DE POZOS TUBULARES EN LA REGIÓN LAMBAYEQUE				FORMATO: A4
				ESCALA: S/E
FACULTAD DE INGENIERÍA INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA		DESCRIPCIÓN:		
		Torre de perforación		
		Nº PLANO: 03	REVISIÓN: 01	HOJA: 1/1



ADVERTENCIA: Este plano es de autoría de E.S.R.H. Está protegido por derechos de autor y solo puede ser utilizado con fines educativos. Queda prohibida su reproducción, distribución o uso comercial sin el permiso expreso del autor.

Anexo 15 Plano de bastidor de perforación



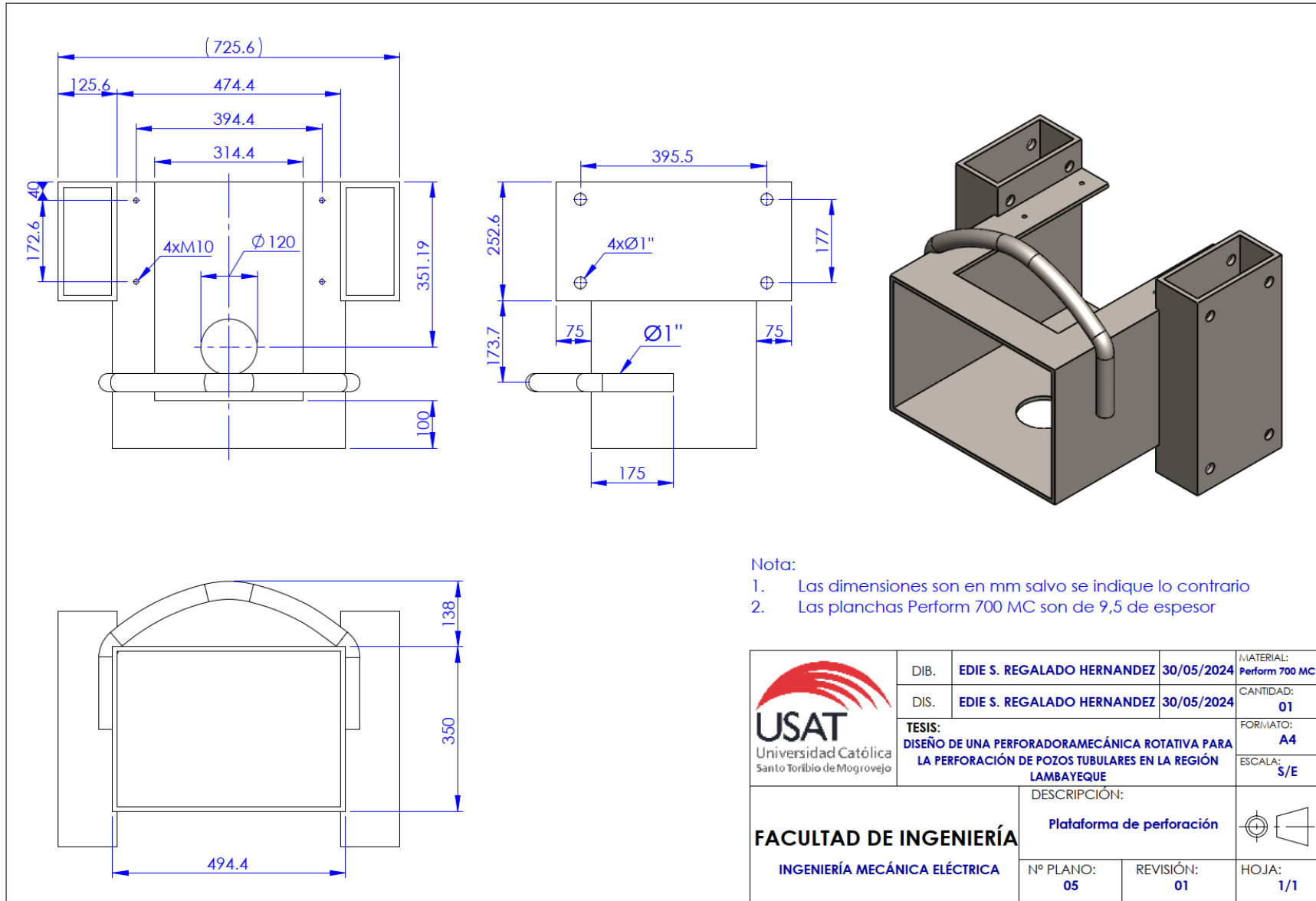
Nota:

1. Las dimensiones son en mm salvo se indique lo contrario
2. EL perfil utilizado para la estructura es Canal C 80x8 mm

 <p>USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo</p>	DIB.	EDIE S. REGALADO HERNANDEZ	30/05/2024	MATERIAL: ASTM A500
	DIS.	EDIE S. REGALADO HERNANDEZ	30/05/2024	CANTIDAD: 01
	TESIS: DISEÑO DE UNA PERFORADORA MECÁNICA ROTATIVA PARA LA PERFORACIÓN DE POZOS TUBULARES EN LA REGIÓN LAMBAYEQUE			FORMATO: A4 ESCALA: S/E
FACULTAD DE INGENIERÍA INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA		DESCRIPCIÓN: Bastidor de perforación		
		Nº PLANO: 04	REVISIÓN: 01	HOJA: 1/1

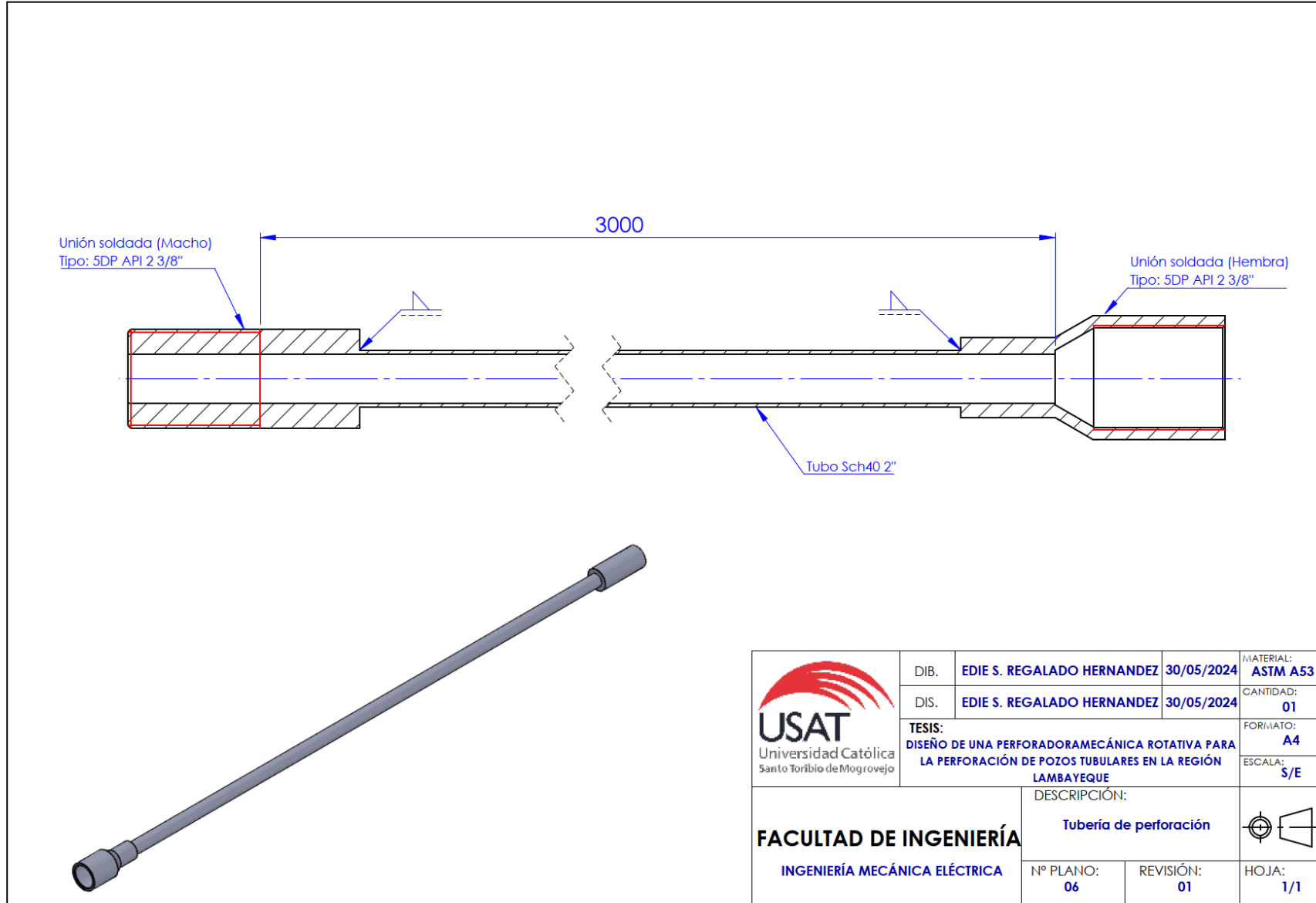
https://drive.google.com/drive/folders/1FvLy6Bma0l2l4uhlvGQ3W04A0VSL5?usp=sharing

Anexo 16 Plano de soporte de torre de perforación



https://drive.google.com/drive/folders/1FvLy68md02i4uhv4Q03W04A0VSL5?usp=sharing

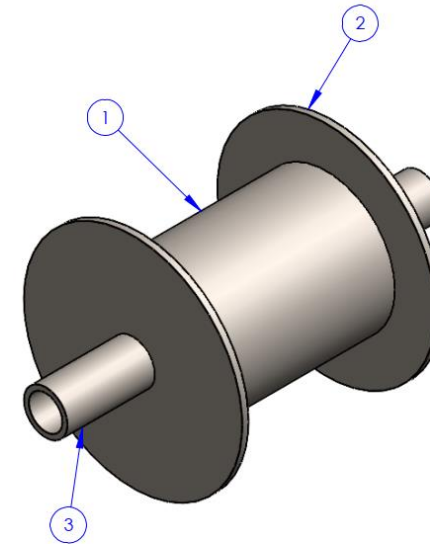
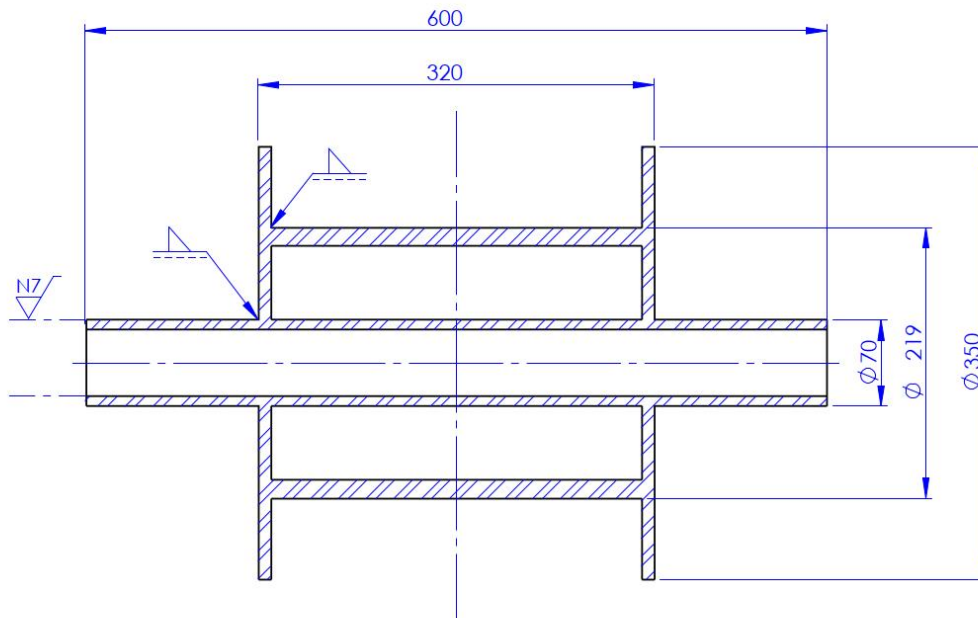
Anexo 17 Plano de tubería de perforación



ADVERTENCIA: Este plano es de autoría de E.S.R.H. Está protegido por derechos de autor y solo puede ser utilizado con fines educativos. Queda prohibida su reproducción, distribución o uso comercial sin el permiso expreso del autor.

Anexo 18 Plano de tambor – malacate

N°	Cantidad	Comentario
1	1	Pieza rolada a $\varnothing 219$ - Plancha ASTM - A36 3/8"
2	2	Soporte lateral maquinado a $\varnothing 350$ - Plancha ASTM - A36
3	1	Tubo ASTM - A53 de 2 1/2"



Nota:

1. Las dimensiones son en mm salvo se indique lo contrario.

2. Los asientos  son para rodamientos de chumacera seleccionada (2 3/4").
3. Considerar chaflán de 5 mm en uniones soldadas en ángulo.

https://drive.google.com/drive/folders/1FvgLy6Bma0l2l4h1vdQC3W04A0VSL5?usp=sharing

 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo	DIB.	EDIE S. REGALADO HERNANDEZ	30/05/2024	MATERIAL: ASTM A36
	DIS.	EDIE S. REGALADO HERNANDEZ	30/05/2024	CANTIDAD: 01
FACULTAD DE INGENIERÍA INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA	TESIS: DISEÑO DE UNA PERFORADORA MECÁNICA ROTATIVA PARA LA PERFORACIÓN DE POZOS TUBULARES EN LA REGIÓN LAMBAYEQUE			FORMATO: A4
	DESCRIPCIÓN: Tambor malacate			ESCALA: S/E
N° PLANO: 07		REVISIÓN: 01		HOJA: 1/1

ADVERTENCIA: Este plano es de autoría de E.S.R.H. Está protegido por derechos de autor y solo puede ser utilizado con fines educativos. Queda prohibida su reproducción, distribución o uso comercial sin el permiso expreso del autor.