

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA



**DISEÑO DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA PERFORADORA
DE POZOS PARA LA OBTENCIÓN DE AGUA DESDE NAPAS
SUBTERRÁNEAS**

Informe de Habilitación Profesional presentado en
conformidad a los requisitos para optar al título de
Ingeniero Civil Mecánico.

Profesor Guía:
Sr. Daniel Alejandro Pradenas Villalobos

SEBASTIÁN IGNACIO BERMEDO FERNÁNDEZ

CONCEPCION – CHILE
2017

TABLA DE CONTENIDO

Capítulo 1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general	2
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Alcances	2
Capítulo 2 ANTECEDENTES GENERALES	3
2.1 Introducción	3
2.2 Acuíferos	4
2.2.1 Distribución del agua en los acuíferos	4
2.2.1.1 Zona no saturada	4
2.2.1.2 Zona saturada	5
2.2.2 Tipos de acuíferos	6
2.2.3 Propiedades físicas de los acuíferos	6
2.2.3.1 Permeabilidad	6
2.2.3.2 Espesor de acuífero (H)	7
2.2.3.3 Transmisividad (T)	8
2.3 Porosidad de las Rocas	8
2.4.1 Pozo profundo	9
2.4.2 Pozo Noria	9

2.4.3	Punteras	9
2.4.4	Vertientes	9
2.5	Perforación de pozos de agua	9
2.5.1	Métodos de perforación.....	10
2.5.1.1	Pozo de excavación	10
2.5.1.2	Pozo hincado.....	11
2.5.1.3	Pozos taladrados	12
2.5.2	Profundidad del pozo	12
2.5.3	Diámetro del pozo	13
Capítulo 3 GENERALIDADES DE LA PERFORACION ROTATIVA		14
3.1	Introducción para el diseño.....	14
3.2	Componentes de la perforadora	15
3.2.1	Trepano.....	15
3.2.1.1	Trépanos de conos giratorios.....	15
3.2.1.2	Trépanos compactos	16
3.2.2	Tuberías de perforación.....	17
3.2.3	Bastidor o torre de perforación.....	17
3.2.4	Lodos de perforación.....	17
3.2.4.1	Densidad	18
3.2.4.2	Viscosidad	18

3.2.5	Bomba de lodos.....	19
3.2.6	Cabrestante	19
3.2.7	Motorreductor.....	20
3.2.8	Water Swivel.....	20
3.3	Variables de perforación	21
3.3.1	Dureza de las rocas.....	21
3.3.2	Velocidad de rotación de la herramienta.....	22
3.3.3	Diámetro de la perforación.....	22
3.3.4	Fuerza de empuje	22
3.3.5	Potencia de rotación	23
3.3.6	Perforación para tierra.....	27
3.3.7	Tuberías de perforación.....	28
3.3.8	Herramientas de perforación	29
3.3.9	Características del Moto-reductor	29
3.3.10	Lodos de perforación.....	29
3.3.11	Peso componentes.....	30
Capítulo 4 DISEÑO.....		32
4.1	Introducción al diseño.....	32
4.2	Diseño de la estructura de la perforadora	32
4.2.1	Materiales seleccionados para la construcción de la estructura	33

4.2.2	Análisis de esfuerzos	35
4.2.2.1	Esfuerzos resultantes en la estructura cuando se realiza la perforación	37
4.2.2.2	Esfuerzos resultantes en la estructura cuando se levanta la sarta de perforación	44
4.3	Rediseño de la estructura propuesta.....	49
4.3.1	Material seleccionad para la construcción de la estructura	49
4.3.2	Análisis de esfuerzos	50
4.3.2.1	Esfuerzos resultantes en la estructura cuando se realiza la perforación	50
4.3.2.2	Esfuerzos resultantes en la estructura cuando se levanta la sarta de perforación	54
4.4	Water Swivel o Giratorio de perforación	58
4.4.1	Análisis de esfuerzos	58
4.5	Barras de perforación	62
4.5.1	Análisis de esfuerzos	62
4.5.1.1	Primer tercio	63
4.5.1.2	Tercer tercio.....	66
Capítulo 5 ANALISIS DE COSTOS		69
5.1	Introducción al análisis de costos	69
5.1.1	Selección de tecnología hidráulica.....	69
5.1.1.1	Selección de actuadores.....	69
5.1.1.2	Selección bomba hidráulica.....	71

5.1.1.3	Motor	72
5.1.1.4	Válvula direccional.....	73
5.1.1.5	Válvula de alivio.....	73
5.1.2	Selección de tecnología mecánica.....	74
5.1.3	Tecnología a utilizar	75
5.1.4	Análisis de inversión	75
5.1.4.1	CAE máquina a construir	78
5.1.4.2	CAE máquina en mercado.....	80
Capítulo 6 CONCLUSIONES.....		82
BIBLIOGRAFIA		84

TABLA DE IMAGENES

Fig. 2.1 Distribución del agua en los acuíferos.	5
Fig. 2.2 Tipos de acuíferos.	6
Fig. 2.3 Representación permeabilidad entre las rocas	7
Fig. 2.5 Pozo excavado.....	10
Fig. 2.6 Pozo hincado	11
Fig. 2.7 Pozo taladrado.	12
Fig. 3.1 Perforación tipo taladrado	14
Fig. 3.2 Triconos.....	16
Fig. 3.3 Trépano compacto.....	16
Fig. 4.1 Estructura	32
Fig. 4.2 Distribución perfiles.....	33
Fig. 4.3 Dimensiones perfil en C.....	34
Fig. 4.4 Dimensiones tubería.....	34
Fig. 4.5 Dimensiones perfil cuadrado.....	35
Fig. 4.6 Condiciones de frontera sit1 y un par de 531 [Nm]	37
Fig. 4.7 Distribución máximos desplazamientos sit1 y un par de 531[Nm]	38
Fig. 4.8 Distribución máximos esfuerzos sit1 y un par de 531 [Nm].....	38
Fig. 4.9 Condiciones de frontera sit2 y un par de 531 [Nm]	39
Fig. 4.10 Distribución máximos desplazamientos sit2 y un par de 531 [Nm]	40
Fig. 4.11 Distribución máximos esfuerzos sit2 y un par de 531 [Nm].....	40
Fig. 4.12 Condiciones de frontera para sit3 y un par de 531 [Nm]	41
Fig. 4.13 Distribución máximos desplazamientos sit3 y un par de 531 [Nm]	42

Fig. 4.14 Distribución máximos esfuerzos sit3 y un par de 531 [Nm].....	42
Fig. 4.15 Condiciones de frontera sit1 y una fuerza de 10 [KN].....	44
Fig. 4.16 Distribución máximos desplazamientos sit1 y una fuerza de 10[KN]	45
Fig. 4.17 Distribución máximos desplazamientos sit2 y una fuerza de 10[KN]	45
Fig. 4.18 Distribución máximos desplazamientos sit3 y una fuerza de 10[KN]	46
Fig. 4.19 Distribución máximos esfuerzos sit1 y una fuerza de 10[KN]	46
Fig. 4.20 Distribución máximos esfuerzos sit2 y una fuerza de 10[KN]	47
Fig. 4.21 Distribución máximos esfuerzos sit3 y una fuerza de 10[KN]	47
Fig. 4.22 Condiciones de frontera en la nueva estructura	49
Fig. 4.23 Dimensiones perfil cuadrado.....	50
Fig. 4.24 Distribución máximos desplazamientos sit1 y un par de 531 [Nm]	51
Fig. 4.25 Distribución máximos desplazamientos sit2 y un par de 531 [Nm]	51
Fig. 4.26 Distribución máximos desplazamientos sit3 y un par de 531 [Nm]	52
Fig. 4.27 Distribución máximos esfuerzos sit1 y un par de 531 [Nm].....	52
Fig. 4.28 Distribución máximos esfuerzos sit2 y un par de 531 [Nm].....	53
Fig. 4.29 Distribución máximos esfuerzos sit3 y un par de 531 [Nm].....	53
Fig. 4.30 Distribución máximos desplazamientos sit1 y una fuerza de 10 [KN].....	54
Fig. 4.31 Distribución máximos desplazamientos sit2 y una fuerza de 10 [KN]	55
Fig. 4.32 Distribución máximos desplazamientos sit3 y una fuerza de 10 [KN]	55
Fig. 4.33 Distribución máximos esfuerzos sit1 y una fuerza de 10 [KN]	56
Fig. 4.34 Distribución máximos esfuerzos sit2 y una fuerza de 10 [KN]	56
Fig. 4.35 Distribución máximos esfuerzos sit3 y una fuerza de 10 [KN]	57
Fig. 4.36 Condiciones de frontera para una fuerza aplicada de 10 [KN]	59
Fig. 4.37 Distribución máximos desplazamientos para una fuerza de 10 [KN].....	59

Fig. 4.38 Distribución máximos esfuerzos para una fuerza de 10 [KN]	60
Fig. 4.39 Condiciones de frontera para un par de 531 [Nm]	60
Fig. 4.40 Distribución máximos desplazamientos para un par de 531 [Nm]	61
Fig. 4.41 Distribución máximos esfuerzos para un par de 531 [Nm].....	61
Fig. 4.42 Condiciones de frontera soportando el peso de 2/3 de las barras.....	63
Fig. 4.43 Distribución máximos desplazamientos frontera soportando el peso de 2/3 de las barras	63
Fig. 4.44 Distribución máximos esfuerzos frontera soportando el peso de 2/3 de las barras ...	64
Fig. 4.45 Condiciones de frontera para un par de 531 [Nm]	64
Fig. 4.46 Distribución máximos desplazamientos para un par de 531 [Nm]	65
Fig. 4.47 Distribución máximos esfuerzos para un par de 531 [Nm].....	65
Fig. 4.48 Condiciones de frontera soportando el peso de 2/3 de las barras.....	66
Fig. 4.49 Distribución máximos desplazamientos soportando el peso de 2/3 de las barras	66
Fig. 4.50 Distribución máximos esfuerzos soportando el peso de 2/3 de las barras	67
Fig. 4.51 Condiciones de frontera para un par de 531 [Nm]	67
Fig. 4.52 Distribución máximos desplazamientos para un par de 531 [Nm]	68
Fig. 4.53 Distribución máximos esfuerzos para un par de 531 [Nm].....	68

TABLAS

Tabla 3.1 Resistencia a la compresión (R_c) para cada tipo de roca	21
Tabla 3.2 Velocidad de rotación (N) para cada tipo de roca	22
Tabla 3.3 Empuje mínimo (E_{min}) para cada tipo de roca y diámetro seleccionado	23
Tabla 3.4 Constante de la formación (K) para cada tipo de roca	26
Tabla 3.5 Potencia requerida para cada tipo de roca y un diámetro de perforación de 4,5''	26
Tabla 3.6 Potencia requerida para cada tipo de roca y un diámetro de perforación de 6''	26
Tabla 3.7 Par resistente resultante para un diámetro de 4,5''	27
Tabla 3.8 Par resistente resultante para un diámetro de 6''	27
Tabla 3.9 Resistencia a la compresión tipos de rocas.....	27
Tabla 3.10 Variables de perforación de la tierra para diámetro de 4 ½ [in].....	28
Tabla 3.11 Variables de perforación de la tierra para diámetro de 6 [in].....	28
Tabla 3.12 Características de las tuberías de perforación	28
Tabla 3.13 Característica Trépanos compactos fabricante Burovik.....	29
Tabla 3.14 Área resultante entre el diámetro exterior de la herramienta y la tubería	30
Tabla 3.15 Peso del lodo sobre el área resultante entre la herramienta y la tubería de perforación	30
Tabla 3.16 Peso total de los componentes.....	31
Tabla 4.1 Propiedades Acero ASTM-A36	36
Tabla 4.2 Criterio de diseño, Esfuerzo máximo y Desplazamiento máximo para perfiles en C para un par de 531 [Nm]	43
Tabla 4.3 Criterio de diseño, Esfuerzo máximo y Desplazamiento máximo para perfiles en C para una fuerza de 10 [KN]	48

Tabla 4.4 Criterio de diseño, Esfuerzo máximo y Desplazamiento máximo para perfil cuadrado con un par de 531 [Nm].....	54
Tabla 4.5 Criterio de diseño, Esfuerzo máximo y Desplazamiento máximo para perfil cuadrado.	57
Tabla 4.6 Propiedades Acero AISI 4130.....	58
Tabla 4.7. Propiedades barras grado E-75.....	62
Tabla 5.1 Cotización tecnología hidráulica.....	75
Tabla 5.2 Cotización tecnología mecánica.....	75
Tabla 5.3 Cotizaciones para maquina a construir.....	77
Tabla 5.4 Cotizaciones para máquina de mercado.....	78
Tabla 5.5 Valores para CAE proyecto.....	78
Tabla 5.6 Valores para CAE máquina de mercado.....	80

SUMARIO

En la presente habilitación profesional se realizó el diseño y la simulación de una máquina perforadora de pozos hidráulica con el objetivo de mejorar las condiciones de abastecimiento de agua potable en los sectores rurales de las regiones del país de Chile.

Para cumplir este objetivo, en primera instancia se realizaron estudios para conocer el comportamiento y la estructura de los yacimientos de agua que están presentes en los subsuelos. Se definieron las condiciones de los pozos para establecer los requerimientos necesarios para poder realizar dichas perforaciones.

Conocidos los requerimientos se simuló mediante la utilización del software Simulation Mechanical de Autodesk, el comportamiento de la estructura que brinda soporte al sistema. En una primera instancia se propuso un modelo de estructura siendo rechazada debido a que no soportaba las cargas que se estaban aplicando. Luego, se propuso otro modelo de estructura con una conformación diferente de sus elementos, resultando favorable el análisis de esfuerzos. Se procedió a analizar el comportamiento de los demás componentes de la perforadora, siendo favorable el resultado de los análisis de esfuerzos para todos ellos.

Además, se evaluaron las opciones presentes en el mercado, con la finalidad de diseñar una máquina de menor costo. La primera propuesta de tecnología consistía en la utilización de un sistema oleohidráulico. La segunda alternativa presente en el mercado es la que presenta un sistema con accionamiento a través de un motoreductor.

Finalmente se realiza una evaluación económica del proyecto mediante un análisis financiero de inversión CAE, comparando los costos totales de la máquina diseñada con los costos totales de una máquina de similares características presente en el mercado. Este análisis, resultó favorable para la construcción de la máquina, con lo cual, se concluye que el proyecto en su totalidad es viable técnica y económicamente.

Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

Actualmente, Chile como en el resto del mundo, se encuentra atravesando uno de los peores eventos meteorológicos que puede afectar al planeta, la sequía. Este suceso ha tenido un profundo impacto sobre los sistemas de vida y sustento de la población, aquejando el desarrollo de las actividades económicas y sociales del país. Si bien la disminución de la disponibilidad del suministro, la reducción de la pluviometría y el aumento de la temperatura son los principales motivos por los cuales se ha reducido el recurso hídrico, el sobreconsumo proveniente del sector industrial de las últimas décadas y la introducción de flora no nativa como las extensas plantaciones forestales en gran parte del territorio nacional, han contribuido a la disminución progresiva del recurso hídrico tanto superficial como subterráneo.

Cabe mencionar que nuestro país posee una fuerte dependencia del recurso hídrico, albergando un gran número de actividades económicas que requieren de este recurso. Del total del agua disponible en el territorio nacional, se estima que el 82% es utilizado por el sector Agropecuario, un 7% por el área Industrial, un 3% en Minería y un 8% es utilizado para los servicios de Agua Potable y Saneamiento.¹

Si bien Chile ostenta un alto nivel de desarrollo en sus inversiones, estándares de servicio en agua potable, saneamiento en zonas urbanas y programas de agua potable rural que ha podido abastecer con éxito a más de 1.700.000 chilenos, cerca de 500.000 personas que viven en zonas rurales, aun no cuentan con un sistema de agua potable en sus hogares, obteniendo el recurso a través de camiones aljibes u otros sistemas más precarios de abastecimiento.

Ante esta situación y las condiciones futuras de cambio climático, en este proyecto surge la necesidad de crear una máquina perforadora de pozos que sea capaz de acceder a yacimientos hídricos subterráneos y que significan la adquisición de un recurso limpio, seguro y abundante.

¹ Atlas del Agua, DGA, Chile 2016

1.1 Objetivo general

- Diseñar una máquina hidráulica perforadora de pozos para la obtención de agua subterránea en sectores rurales afectados por la sequía en las regiones del país.

1.2 Objetivos específicos

- Estudiar características y configuraciones de suelo.
- Realizar simulaciones de diseño mediante la utilización de Software de diseño Ingenieril.
- Realizar un diseño capaz de acoplarse a un vehículo menor.
- Realizar factibilidad técnica y económica de diseño.

1.3 Alcances

Este proyecto se orienta al diseño de una máquina perforadora de pozos profundos, aplicando conocimientos propios del área de mecánica, para la obtención de agua limpia y segura en sectores afectados por la sequía producida por el cambio climático.

Capítulo 2 ANTECEDENTES GENERALES

2.1 Introducción

El ciclo del agua es aquel mecanismo por el cual el agua está presente en todos los espacios de este planeta. El ciclo comienza cuando el sol calienta el agua de los océanos la cual se evapora y se transfiere como vapor de agua hacia la atmósfera, luego la temperatura menor presente en el aire hace que el vapor se condense y forme las nubes. Las nubes formadas en los océanos viajan a través de las corrientes de aire y llegan a los continentes en donde cae el agua en forma de precipitación y dependiendo el lugar, puede ser en forma de nieve o lluvia. Cuando cae en forma de nieve esta se acumula como hielo en las montañas o en los glaciales, donde puede permanecer por muchos años antes de retornar al océano. Si las condiciones de temperatura son favorables, esta nieve o hielo se derrite y escurre a través de las laderas en forma de agua líquida hasta llegar a los ríos y retornar al océano. En el caso de caer en forma de lluvia esta corre por la superficie en forma de escorrentía superficial hasta llegar a los ríos y retornar nuevamente hacia el mar. Cabe mencionar que parte del agua que cae como precipitación es absorbida por las plantas presente en el planeta y retorna a la atmósfera como vapor de agua.

No toda el agua que cae como precipitación fluye hacia los ríos, una gran cantidad de agua es absorbida por la tierra como infiltración. Parte de esta agua permanece en las capas del suelo y escurre de manera lenta hacia los cuerpos de agua y se descarga hacia los océanos como agua subterránea, parte de esta agua escurre hacia lugares donde encuentra aberturas hacia la superficie y forma manantiales y vertientes. Otra parte de esta agua escurre hacia las capas más profundas del suelo y llega hasta los acuíferos, en los cuales se encuentra gran cantidad de agua la que escurre muy lentamente y retorna hacia los mares para cerrar el ciclo.

2.2 Acuíferos

Como se mencionó anteriormente no toda el agua que cae como precipitación en la tierra escurre hacia los ríos o cuerpos de agua superficiales, una gran cantidad de esta se infiltra en el suelo superficial y hacia las rocas. Parte del agua que se infiltra en el suelo, permanece en las capas superficiales y puede volver hacia los cursos de agua. En tanto otra parte del agua que se infiltra en la tierra, desciende hacia las capas inferiores del suelo hasta llegar a los acuíferos subterráneos. Si estos acuíferos son porosos y además están al alcance para ser explotados, se pueden hacer perforaciones en el suelo y utilizar aquella agua para satisfacer necesidades.

Los acuíferos son cuerpos rocosos permeables que se encuentran bajo la superficie a través del cual se acumula y circula el agua subterránea. Cada acuífero posee una permeabilidad y una porosidad distinta, lo que significa que el agua no se mueve de igual manera en todas partes.

2.2.1 Distribución del agua en los acuíferos

Los acuíferos aparecen en la medida que el agua se infiltra por el suelo generando zonas de saturación. Cerca de la superficie se encuentra la zona no saturada, después la zona del borde capilar y finalmente se encuentra la zona saturada. En la zona no saturada el agua se encuentra ocupando en un cierto porcentaje del espacio que hay entre las rocas. La parte superior de la zona no saturada se denomina zona de suelo y más abajo en la zona saturada, el agua ocupa por completo los espacios presentes entre las partículas de esa zona.

2.2.1.1 Zona no saturada

La zona saturada corresponde a la ubicada entre la superficie del terreno y la superficie freática del acuífero. En esta zona los espacios o poros presentes en el suelo están ocupados por agua y aire. Esta zona se divide en:

- Zona de evapotranspiración o zona edáfica:

Esta zona se extiende hasta la profundidad donde llegan las raíces de la vegetación, por lo que esta zona tiene un espesor variable. Esta zona se caracteriza por ser la sección donde ocurren los procesos físicos, químicos y biológicos. La abundante materia orgánica y la fuerte actividad biológica vegetal, hace que esta zona se comporte como un importante filtro frente a numerosos contaminantes presentes en la superficie.

- Zona intermedia:

Esta zona está comprendida entre el límite de alcance de la vida vegetal y el límite de la zona capilar del agua.

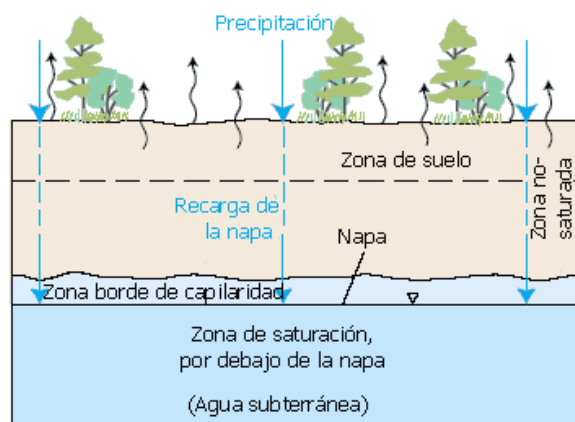
- Zona capilar:

Esta zona se encuentra entre la superficie del acuífero hasta el límite inferior de la zona no saturada. Su espesor depende principalmente del tamaño y la distribución de los poros y la homogeneidad del terreno.

2.2.1.2 Zona saturada

Esta zona está ubicada entre la capa impermeable del acuífero y el nivel freático de este (nivel del acuífero). En esa zona los poros presentes en el suelo se encuentran en su totalidad ocupados por el agua.

Fig. 2.1 Distribución del agua en los acuíferos.



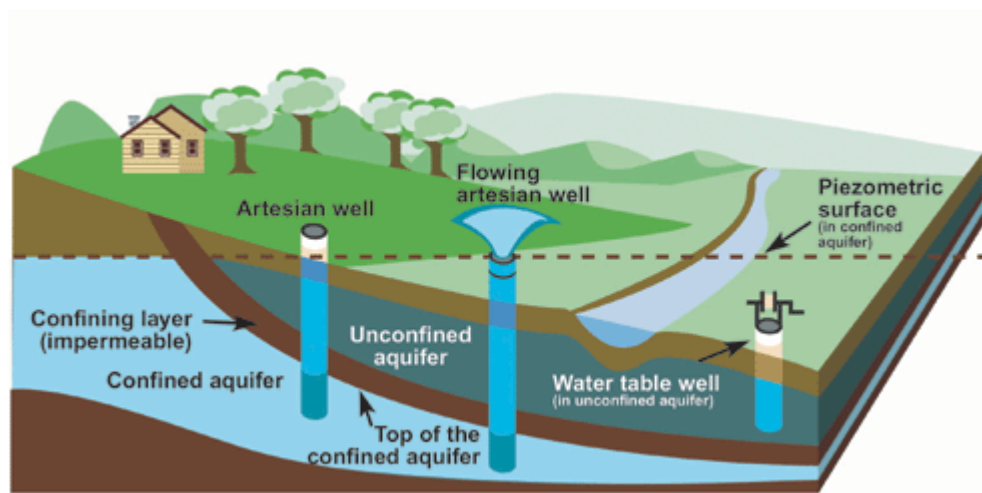
Fuente: USGS

2.2.2 Tipos de acuíferos

Dependiendo de la composición de las formaciones geológicas del suelo pueden existir capas de rocas menos porosas arriba de un acuífero. A este tipo de conformación se denomina acuífero confinado, artésiano o brotante, lo que determina que la capa intermedia porosa acumule agua presurizada. Si se perfora este tipo de acuífero, la presión interna dentro de esta zona puede hacer que el agua salga expulsada hacia la parte superior del pozo sin la necesidad de utilizar una bomba. A este tipo de pozo se le denomina "pozo artésiano".

Al contrario, si un acuífero no se encuentra confinado entre dos capas de rocas menos porosas se le denomina acuífero no confinado, libre o freático, lo que determina que la capa porosa de agua acumule agua no presurizada o a presión atmosférica. Esto significa que se requiera una bomba para extraer agua hacia la superficie.

Fig. 2.2 Tipos de acuíferos.



Fuente: www.ec.gc.ca

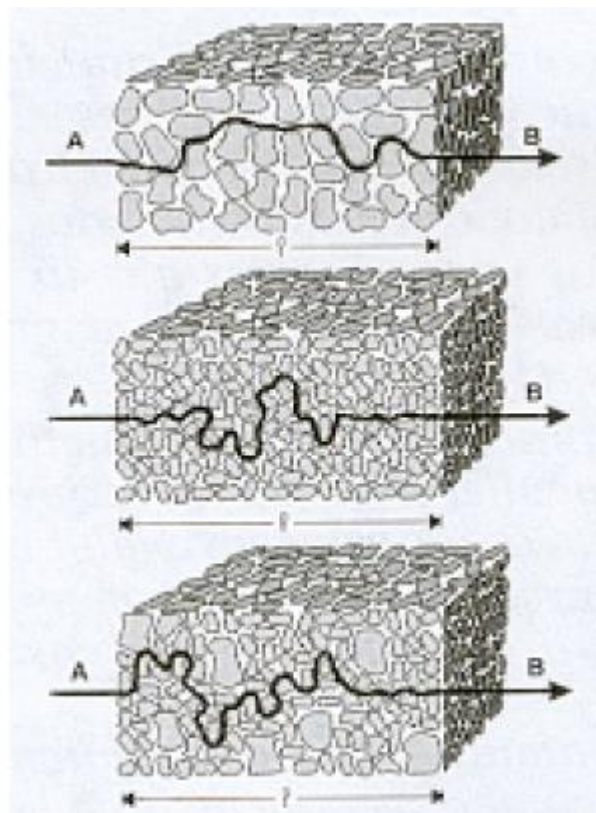
2.2.3 Propiedades físicas de los acuíferos

2.2.3.1 Permeabilidad

La permeabilidad o también denominada Conductividad Hidráulica (K). Se define como el volumen de agua que circula a través de una sección unitaria de suelo, en un tiempo unitario, bajo

un gradiente hidráulico también unitario. La permeabilidad se mide en unidades longitudinales por tiempo (m/día, cm/h). Este parámetro está directamente relacionado con la textura del suelo, la viscosidad y la densidad del agua. El tipo de partículas, su arreglo y la porosidad que generan, influyen directamente en el movimiento del agua en el suelo, es decir, en los valores de K .

Fig. 2.3 Representación permeabilidad entre las rocas



Fuente: Pozos profundos, Gobierno de Chile

2.2.3.2 Espesor de acuífero (H)

Corresponde a la distancia que existe entre el estrato inferior y el nivel freático de acuíferos libres. En acuíferos confinados corresponde a la distancia entre las capas impermeables que encierran al acuífero. Este valor puede variar desde unos pocos metros, hasta cientos o miles de metros.

2.2.3.3 Transmisividad (T)

Corresponde al producto entre la conductividad hidráulica promedio (K) y el espesor de un acuífero (H). La Transmisividad corresponde al caudal que circula por una sección de área unitaria, bajo un gradiente hidráulico unitario y un espesor de acuífero unitario.

2.3 Porosidad de las Rocas

Las rocas son cuerpos porosos, es decir, están conformadas por minerales sólidos los cuales contienen espacios vacíos que pueden ser ocupados por fluidos. La porosidad de las rocas es un parámetro muy importante al tener en cuenta cuando se requiera perforar un pozo, esta nos determina la cantidad de agua que estará presente en un acuífero. La porosidad está definida como la cantidad o el volumen que ocupan los espacios vacíos en un volumen unitario de roca.

Si bien la porosidad nos indica la cantidad de espacio que hay entre las rocas en un acuífero, esto queda sujeto a la continuidad de los espacios vacíos dentro de las rocas.

- Porosidad muy baja: menor 4%
- Porosidad baja: de 4 a 8%
- Porosidad media: 8 a 16%
- Porosidad alta: 16 a 32%
- Porosidad muy alta: mayor a 32%²

2.4 Estructuras para captación de aguas

Históricamente en Chile la mayoría de las captaciones de agua en los sectores rurales se realiza mediante el aprovechamiento de vertientes y pozos comunes. Sin embargo, bajo las actuales condiciones de cambio climático y la predominante sequía que afecta a nuestro país desde hace unos años se han realizado captaciones del tipo puntera.

² La porosidad de las rocas carbonatadas, Javier Alonso Rodríguez, Universidad de Oviedo 2006

2.4.1 Pozo profundo

Corresponde a una estructura hidráulica que permite captar y extraer aguas que escurren por los acuíferos subterráneos, ubicados a una mayor profundidad que en el caso de las norias. El agua se extrae de los pozos mediante bombeo u otro sistema de elevación.

2.4.2 Pozo Noria

Estas obras se construyen generalmente excavadas a mano. Los caudales obtenidos en estas perforaciones son generalmente inferiores a los que se obtienen en los pozos profundos.

2.4.3 Punteras

Corresponde a tubería metálica o de PVC de diámetros entre 30 y 50 milímetros que se introducen en el terreno y que se interconectan en la superficie con un equipo de bombeo. Este tipo de obras se realizan mediante una máquina que taladra el suelo con la ayuda de agua que se inyecta a través de las tuberías de perforación.

2.4.4 Vertientes

Son obras de captación naturales, donde normalmente aflora el agua debido a que la superficie del acuífero que se encuentra a nivel de suelo. También puede ocurrir en zonas donde existen rocas fracturadas. En general y debido a que son descargas naturales de los acuíferas, su productividad persiste durante todo el año o puede variar hasta agotarse, y su rendimiento será un índice de la calidad del acuífero que la alimenta.

2.5 Perforación de pozos de agua

Para la construcción de pozos y en general cualquier captación, se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

2.5.1 Métodos de perforación

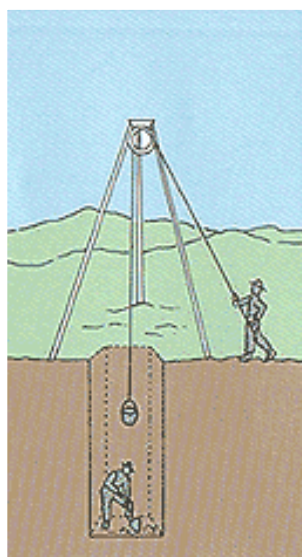
Existe una gran cantidad de métodos y herramientas que permiten la excavación de pozos en los distintos tipos de suelos existentes en el planeta. Los principales métodos de excavación son los siguientes:

2.5.1.1 Pozo de excavación

Este tipo de pozos se trata de obras realizadas mediante la excavación manual del suelo. Por lo general son pozos pocos profundos de entre 8 a 15 metros y de sección circular que varía entre 1 a 2 metros de diámetro.

Este método de excavación resulta bastante económico, puesto que solo se requiere de la destreza humana y herramientas básicas. Estas características lo hacen ser el método de perforación más utilizado en el mundo y el más común de encontrar en zonas donde no existen aguas superficiales.

Fig. 2.4 Pozo excavado



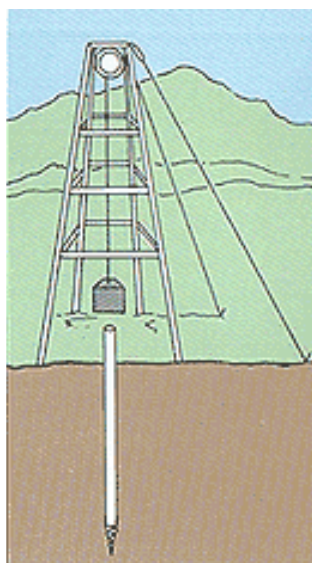
Fuente: USGS

2.5.1.2 Pozo hincado

Los pozos hincados consisten en el clavado en el suelo de un entubado que llega hasta una capa inferior del nivel freático. Esta técnica se logra mediante un tubo que cuenta con una rejilla y una punta metálica en su extremo y que a medida que se clava en el terreno se van agregando secciones de tubo para alcanzar el nivel del agua.

Este método de perforación se realiza mediante un movimiento recíproco de una masa, generalmente de un peso amarrado a un cable de acero sujetado a un trípode o simplemente de una herramienta manual que efectúa la percusión.

Fig. 2.5 Pozo hincado

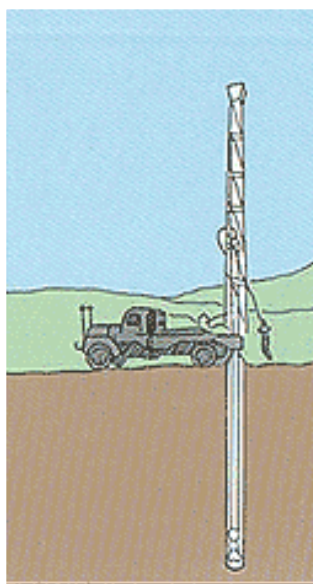


Fuente: USGS

2.5.1.3 Pozos taladrados

Este método consiste en el taladrado del suelo mediante una herramienta o trepano accionado por un sistema manual o mecánico que al avanzar se hunde y muele la roca. Si bien este método es complicado y caro, en la actualidad la mayor parte de los pozos modernos utilizan este sistema. Los pozos realizados con este método pueden tener una profundidad que varía de unos cuantos metros hasta más de 300 metros. Usualmente en este tipo de perforaciones se utiliza una bomba sumergible para impulsar el agua hacia la superficie.

Fig. 2.6 Pozo taladrado.



Fuente: USGS

2.5.2 Profundidad del pozo

Es un parámetro de diseño muy importante y generalmente es posible determinarlo con antecedentes de pozos en las cercanías del estudio o con estudios hidrogeológicos preliminares.

La profundidad será fijada inicialmente con base en los espesores, profundidades y rendimientos específicos de los acuíferos, tratando de cubrir la demanda o necesidad para el uso que se pretende dar al agua. Es recomendable que, si se trata de un acuífero libre, la perforación llegue hasta el piso del mismo, para evitar efectos de penetración parcial. Por la misma razón, en acuíferos confinados se recomienda captar todo el espesor del acuífero, salvo que los espesores

sean muy grandes o los caudales de extracción demandados sean pequeños para aceptar una solución de penetración parcial.³

Para estimaciones de cálculo la profundidad máxima a perforar en pozos será de 40 metros. Profundidad suficiente para encontrar agua en las zonas donde se desea perforar dentro de la región.

2.5.3 Diámetro del pozo

El diámetro del pozo debe tener dimensiones suficientes como para permitir la instalación de una tubería de captación y un empaque de grava alrededor de la rejilla del pozo. Además, el diámetro del pozo estará sujeto a la capacidad de la máquina para perforar bajo factores como, la composición del suelo y dureza de las rocas.

Otros aspectos a considerar serán la cantidad de agua o caudal a extraer del acuífero y el diámetro de las brocas o trépanos que se tendrán disponibles para perforar. Los diámetros seleccionados para hacer los estudios de diseño serán de 4 ½ y 6 pulgadas.

³ Pozos profundos, Gobierno de Chile Ministerio de Agricultura, agosto 2000

Capítulo 3 GENERALIDADES DE LA PERFORACION

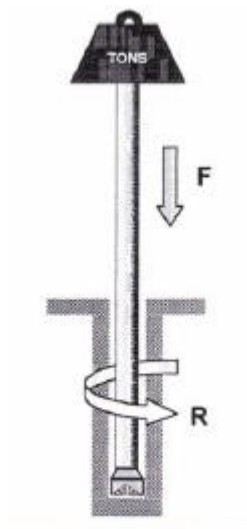
ROTATIVA

3.1 Introducción para el diseño

Para la obtención de agua desde napas subterráneas se consideró el modelo de perforación del tipo taladrado. Este sistema está compuesto principalmente en una serie de barras o tubos unidos a una herramienta de perforación conocida como broca o trepano, el cual mediante una velocidad de avance y una fuerza de empuje perfora el suelo hasta llegar a la napa subterránea.

El principio de este modelo consiste en aplicar energía al suelo haciendo rotar una herramienta (trepano) conjuntamente con la acción de una fuerza de empuje.

Fig. 3.1 Perforación tipo taladrado



3.2 Componentes de la perforadora

En la actualidad existe una gran variedad de equipos diseñados para perforar pozos que van desde simples mecanismos manuales compuestos de barras y trépanos, hasta sofisticados equipos automáticos que emplean complejos sistemas mecánicos, hidráulicos y eléctricos. Todos ellos montados en estructuras capaces de soportar los esfuerzos producidos por el funcionamiento de estos sistemas.

Los componentes principales que interactúan en este tipo de maquina se detallaran a continuación:

3.2.1 Trepano

Son las herramientas que se utilizan para perforar las capas de suelo que contienen los acuíferos. Estas herramientas varían según las condiciones de perforación y el tamaño del pozo a perforar. Los trépanos poseen huecos que le permiten la circulación de lodos entre la base del pozo y la superficie. Estos lodos cumplen la función de lubricar y enfriar el trepano, además de expulsar el material saliente hasta la superficie.

Existe una gran cantidad de trépanos, su geometría varía según las condiciones que se presentan en los suelos. Entre los trépanos más utilizados destacan los siguientes:

3.2.1.1 Trépanos de conos giratorios

Corresponden a los trépanos más utilizados. Estos pueden tener dientes de acero o insertos de carburo de tungsteno que le proporciona una mayor dureza cuando se perforan formaciones rocosas duras. Este tipo de broca posee tres conos giratorios y se denominan brocas triconicas. Existen dos tipos de estas brocas. Unas con dientes fresados y otras con insertos de carburo de tungsteno.

Fig. 3.2 Triconos



Fuente: triconosmineros

3.2.1.2 Trépanos compactos

Estos tipos de trépanos no tienen partes móviles y funcionan por cizallamiento y raspado de la roca.

Fig. 3.3 Trépano compacto



Fuente: Burovik

3.2.2 Tuberías de perforación

Son un conjunto de barras interconectadas entre si mediante uniones roscadas que permiten la transmisión de los movimientos de perforación hacia el trepano. Estas barras al ser huecas permiten el tránsito de los fluidos que son inyectados a través de un acople llamado wáter swivel o giratorio de perforación. Las barras de perforación están normadas por el Instituto Americano del Petróleo (API), el cual determina las principales características que se deben conocer sobre las tuberías que se utilizaran en la perforación. Algunas de estas características son:

- Diámetro exterior e interior del tubo.
- Peso nominal.
- Peso ajustado.
- Grado (E, X, G, S).
- Clase (nueva, premium, clase II, clase III).
- Resistencia a la tensión.
- Juntas (clase).
- Espesor de pared.
- Torsión de enrosque.
- Conexión.

3.2.3 Bastidor o torre de perforación

Consiste en una estructura que está fabricada de acero u otro material de alta resistencia la cual brinda soporte y estabilidad al conjunto completo del sistema de perforación.

3.2.4 Lodos de perforación

Al perforar un pozo en la tierra, el trepano desprende pequeños trozos de roca denominados detritus. Para que el trepano pueda continuar con la perforación, esos detritus deben ser extraídos del pozo. En las perforaciones de pozos modernos, los detritus se extraen mediante la circulación del fluido de perforación la cual es una mezcla viscosa de agua, arcilla y otros materiales. Este fluido generalmente se denomina lodo de perforación.

Las principales propiedades y parámetros que definen y deben controlarse en los lodos de perforación son:

3.2.4.1 Densidad

Define la capacidad del lodo de ejercer una contrapresión en las paredes de la perforación, controlando de este modo las presiones litostáticas e hidrostáticas existentes en las formaciones perforadas. La densidad se determina pesando en una balanza un volumen conocido de lodo. La escala de la balanza (Baroid) da directamente el valor de la densidad del lodo. Además, la densidad tiene una influencia directa en la capacidad de extracción del detritus, pues al regirse, de forma aproximada por la ley de Stoke es proporcional a la densidad del flujo considerando.

Ley de Stokes
$$V = \frac{2}{9} r^2 g \frac{(y_s - y_f)}{\mu}$$

Donde

V: Velocidad de caída de partículas (consideradas esféricas) [cm/s]

r: Radio de las partículas [cm]

g: Aceleración de gravedad [cm/s²]

y_s: Peso específico del material de las partículas [gr/cm³]

y_r: Peso específico del material de los fluidos [gr/cm³]

μ: Viscosidad del fluido (en poises) [in]

3.2.4.2 Viscosidad

Es la resistencia interna de un fluido a circular, esto define la capacidad del lodo de lograr una buena limpieza de la herramienta de la perforación, de mantener en suspensión y desalojar los detritus.

En los bombeos, a doble viscosidad será necesaria una doble potencia. Según la fórmula de Stokes, la velocidad de caída de detritus en el fluido es inversamente proporcional a su viscosidad y por tanto la capacidad de arrastre lo es directamente.

La viscosidad del lodo no debe ser muy grande para que el lodo sea fácilmente bombeable, pero no tan pequeña que impida al lodo extraer el detritus producido.

La viscosidad del lodo se determina a pie de sondeo mediante el denominado ‘embudo Marsh’, y según normas API, expresándose por el tiempo [s] que tarda en salir por un orificio calibrado un determinado volumen de lodo.

Para la perforación de pozos, la viscosidad optima suele oscilar entre 40 y 45 segundos, preferentemente alrededor de 38 (la viscosidad de Marsh es aproximadamente de 26 segundos). La medida de la viscosidad debe realizarse con lodo recién agitado.⁴

3.2.5 Bomba de lodos

La función principal de la bomba de lodos es extraer el material particulado resultante de la perforación del pozo. Además, la circulación de los lodos tiene como función la refrigeración de la herramienta de perforación y de la circulación de los aditivos que se emplean para facilitar la perforación. Otra función de la circulación de los lodos consiste en la estabilización de las paredes del pozo.

3.2.6 Cabrestante

Consiste en un elemento de máquina el cual posee un torno de eje vertical, que se usa especialmente para arrastrar grandes pesos. Está provisto de un cordel o cable que se va enrollando a medida que gira el eje. Este elemento se utilizará para levantar el carro de perforación y facilitar el acople de las barras.

⁴ Preparación de equipo de perforación manual, Educar Chile.

3.2.7 Motorreductor

Corresponde a un sistema de engranajes montados en un cuerpo compacto o caja reductora, cuya finalidad es adaptar la velocidad y potencia mecánica producida desde un motor hacia un elemento de salida, como un elemento cortante, de perforación, móvil. Etc.

3.2.8 Water Swivel

El Water Swivel o Giratorio de perforación es un elemento que está diseñado para facilitar la conexión entre el sistema generador 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. A través del eje circulan los lodos de perforación.

Figura 3.4 Giratorio de perforación



Fuente: Burovik

3.3 Variables de perforación

Como se mencionó anterior mente las máquinas perforan pozos mediante una herramienta cortante rotativa. El efecto cortante es determinado por la velocidad de rotación de la herramienta, su poder abrasivo, la presión ejercida por el mecanismo de avance y el peso de las barras y componentes. Todos estos factores sumando a la naturaleza de las rocas nos determinara la velocidad de avance de la perforación.

El estudio de la perforación de los suelos corresponde a una ciencia nacida desde la necesidad de realizar perforaciones eficientes de los yacimientos de petróleo. Las variables que se tienen que tener en cuenta para realizar las perforaciones son:

3.3.1 Dureza de las rocas

La dureza de las rocas se define como la resistencia que ofrece al ser perforada por un elemento más duro. Entre mayor dureza posea la roca, mayor será la dificultad para perforarla. La dureza de las rocas se mide en Mega Pascal [Mpa], la cual se determina sometiendo a una muestra de la roca a una fuerza de compresión ejercida por una prensa hasta alcanzar la ruptura de la muestra. El valor máximo de presión que soporta una roca se denomina resistencia a la compresión (Rc)

Esta propiedad se clasifica según la escala de dureza de Möhs y que se detalla a continuación:

Tabla 3.1 Resistencia a la compresión (Rc) para cada tipo de roca

Tipo de roca	Rc kg/cm²	Rc Mpa
Muy blandas	<400	<40
Blandas	400-800	40-80
Medianas	800-1.200	80-120
Duras	1.200-2000	120-200
Muy duras	>2.000	>200

3.3.2 Velocidad de rotación de la herramienta

La velocidad de rotación de la herramienta (N), expresada en rpm, es inversamente proporcional a la resistencia a la compresión de la roca (Rc).

Tabla 3.2 Velocidad de rotación (N) para cada tipo de roca

Tipo de Roca	Rc kg/cm²	N rpm
Muy blandas	<400	120-100
Blandas	400-800	100-80
Medianas	800-1.200	80-60
Duras	1.200-2.000	60-40
Muy duras	>2.000	40-30

3.3.3 Diámetro de la perforación

Para el diámetro de perforación se tendrán en consideración dos valores que corresponden a los más utilizados en la zona para perforar pozos de uso cotidiano. Estos valores corresponden a 4 ½ y 6 pulgadas. Valores que son definidos en función de los diámetros de cañerías presentes en el mercado.

3.3.4 Fuerza de empuje

La fuerza de empuje (E) que es necesario aplicar aumenta directamente con la dureza de la roca, y debe alcanzar una magnitud suficiente para superar su resistencia a la compresión. Por otra parte, esta fuerza de compresión no puede exceder un determinado valor límite, para evitar daños prematuros en las herramientas de perforación. En suma, la fuerza de empuje es función de dos variables: la dureza de la roca y el diámetro de la perforación.

Según la dureza de las rocas, la fuerza de empuje mínima necesaria para vencer su resistencia a la compresión, está dada por la siguiente fórmula empírica:

$$E_{min} = 28,5 * Rc * \emptyset \text{ [lb]}$$

$$E_{min} = (28,5 * Rc * \emptyset) * 0,45 \text{ [kg]}$$

Donde:

E_{min} : Fuerza mínima de empuje para sobrepasar la resistencia a la compresión [lb]

Rc: Resistencia a la compresión de la roca [MPa]

\emptyset : Diámetro de perforación [in]⁵

Para los diámetros seleccionados se tiene el siguiente empuje mínimo (E_{min}) para cada tipo de roca:

Tabla 3.3 Empuje mínimo (E_{min}) para cada tipo de roca y diámetro seleccionado

Tipo de Roca	Rc Mpa	E_{min} para 4 1/2" Kg	E_{min} para 6" kg
Muy blandas	<40	2.308	3.078
Blandas	40-80	2.308 – 4.617	3.078 – 6.156
Medianas	80-120	4.617 – 6.925	6.156 – 9.234
Duras	120-200	6.925 – 11.542	9.234 – 15.390
Muy duras	>200	>11.542	>15.390

3.3.5 Potencia de rotación

Cuando la maquina está realizando trabajos de perforación las principales acciones que consumen energía en el trabajo son:

⁵ Manual de Perforación y Voladura de Rocas, Instituto Tecnológico Geominero España, Segunda Edición.

- Mecanismo de rotación
- Fuerza de empuje

Para hacer rotar la columna de barras, es preciso aplicar una fuerza tangencial (F). La fuerza tangencial es la que vence el esfuerzo resistente de la roca frente a la rotación de la broca. El par (T_r), medido en el eje del elemento de perforación, es el producto de la fuerza tangencial por el radio de la broca. El par resistente sobre el área total de corte, suponiendo que sea una corona circular, viene dado por:⁶

$$T_r = \frac{2}{3} \mu * F \frac{r_0^3 - r_1^3}{r_0^2 - r_1^2} \text{ [lb * pie]}$$

Donde:

T_r : Par resistente

μ : Coeficiente de fricción de la roca

F_{\min} : Empuje sobre la roca

r_0 : Radio exterior de la broca

r_1 : Radio interior de la broca

El coeficiente de fricción (μ) no es constante, ya que varía con la composición de los suelos, el espesor de corte, y el empuje de la perforación.

La potencia de rotación requerida es igual al producto del par necesario para hacer girar el trepano por la velocidad de rotación.

⁶ Manual de Perforación y Voladura de Rocas, Instituto Tecnológico Geominero España, Segunda Edición.

$$HP_r = \frac{N * T_r}{5.250}$$

Donde:

HP_r: Potencia de rotación [HP]

N: Velocidad de rotación [rpm]

T_r: Par de rotación [lb-pies]

Cuando no se conoce el par necesario, la potencia de rotación se puede calcular a partir de la siguiente expresión:⁷

$$HP_r = K * N * D^{2,5} * E^{1,5}$$

Donde:

HP_r: Potencia de rotación [HP]

N: Velocidad de rotación [rpm]

D: Diámetro de la perforación [in]

E: Empuje [miles de lb]

K: Constante de la formación (tabla 3.4)

⁷ Manual de Perforación y Voladura de Rocas, Instituto Tecnológico Geominero España, Segunda Edición.

Tabla 3.4 Constante de la formación (K) para cada tipo de roca

Tipo de roca	Resistencia a la compresión	Constante
	MPa	K
Muy blandas	<40	0,00014
Blandas	40-80	0,00012
Mediano	80-120	0,00008
Duras	120-200	0,00006
Muy duras	>200	0,00004

La potencia de rotacion utilizada para cada diametro y tipo de roca sera:

Tabla 3.5 Potencia requerida para cada tipo de roca y un diámetro de perforación de 4,5 [in]

Tipo de roca	Rc Mpa	N rpm	Empuje Klb	HP
Muy blandas	40	110	5	8
Blandas	60	90	8	10
Medianas	100	70	13	11
Duras	160	50	21	12
Muy duras	200	35	26	8

Tabla 3.6 Potencia requerida para cada tipo de roca y un diámetro de perforación de 6 [in]

Tipo de Roca	Rc Mpa	N rpm	Empuje Klb	HP
Muy blandas	40	110	7	24
Blandas	60	90	10	31
Medianas	100	70	17	35
Duras	160	50	27	38
Muy duras	200	35	34	25

Por consiguiente el par resistente resultante de la potencia requerida sera:

Tabla 3.7 Par resistente resultante para un diámetro de 4,5 [in]

Tipo de Roca	Rc Mpa	N rpm	HP	Par resistente lb-pie	Par resistente Nm
Muy blandas	40	110	8	382	518
Blandas	60	90	10	583	791
Medianas	100	70	11	825	1119
Duras	160	50	12	1260	1708
Muy duras	200	35	8	1200	1627

Tabla 3.8 Par resistente resultante para un diámetro de 6 [in]

Tipo de Roca	Rc Mpa	N rpm	HP	Par resistente lb-pie	Par resistente Nm
Muy blandas	40	110	24	1145	1553
Blandas	60	90	31	1808	2452
Medianas	100	70	35	2625	3559
Duras	160	50	38	3990	5410
Muy duras	200	35	25	3750	5084

3.3.6 Perforación para tierra

Como observamos anteriormente la literatura establece las condiciones necesarias para perforar los distintos tipos de dureza de roca. En este sentido, como en el actual proyecto se busca perforar yacimientos de agua que se encuentren en formaciones rocosas no duras como la tierra, se establecerá la resistencia a la compresión (R_c) máxima de la tierra como la mitad de la resistencia a la compresión del tipo de roca muy blanda.

Tabla 3.9 Resistencia a la compresión tipos de rocas

Tipo de roca	Rc kg/cm2	Rc Mpa
Tierra	200	20
Muy blandas	<400	<40
Blandas	400-800	40-80
Medianas	800-1.200	80-120
Duras	1.200-2000	120-200
Muy duras	>2.000	>200

Teniendo en cuenta este valor, las variables resultantes para perforar yacimientos de agua que se encuentran entre formaciones de tierra serán:

Tabla 3.10 Variables de perforación de la tierra para diámetro de 4 ½ [in]

Tipo de Roca	Rc Mpa	N rpm	Emin Kg	Par resistente Nm	HP
Tierra	20	>110	1.154	177	3

Tabla 3.11 Variables de perforación de la tierra para diámetro de 6 [in]

Tipo de Roca	Rc Mpa	N rpm	Emin Kg	Par resistente Nm	HP
Tierra	20	>110	1.539	531	9

3.3.7 Tuberías de perforación

Como se mencionó anteriormente, las tuberías de perforación están normadas por el Instituto Americano del Petróleo (API), el cual norma las características de las tuberías en función de su diámetro.

Para los efectos de diseño se seleccionarán tuberías de diámetros exteriores de 60.3 grado E.

Tabla 3.12 Características de las tuberías de perforación

Diametro Ext. in mm	Diametro Int. in mm	Peso lb/pie kg/m	Espesor in mm	Grado	Torsion Max ft-lb kg-m	Tension Max lb ton	Presion de Colapso psi kg/cm2	Presion Interna psi kg/cm2
2 3/8	1.815	6.65	0.28	E	6250 862	138220 62	15600 1096	15470 1087
				X-95	7920 1092	175080 79	19760 1389	19600 1377
60.3	46.1	9.91	7.11	G-105	8750 1207	193500 87	21840 1535	21660 1522

3.3.8 Herramientas de perforación

Las herramientas de perforación a utilizar serán del tipo trepano compacto. Las características de los trépanos se detallan a continuación.

Tabla 3.13 Característica Trépanos compactos fabricante Burovik

Diámetro [in]	4 1/2	5 7/8
Cuchillas	3	3
Insertos	Tungsteno WC8	Tungsteno WC8
Rosca	API 2 3/8 REG	API 2 3/8 REG
Peso [Kg]	4,5	5

3.3.9 Características del Moto-reductor

Para la selección del motor se tuvieron en cuenta las potencias necesarias para sobrepasar la resistencia a la compresión de la tierra para diámetros de 4 1/2 y 6 [in]. La potencia requerida para la selección del conjunto moto-reductor corresponde a 9 Hp.

3.3.10 Lodos de perforación

En un proceso normal de perforación el lodo se bombea con presión hacia abajo por el centro de la tubería de perforación, cuando este llega al fondo sale por las aberturas del trepano. Luego fluye hacia arriba por afuera de la tubería de perforación hasta la superficie y lleva consigo los detritus. Sin embargo, cuando se llega a la profundidad deseada del pozo se deja de bombear lodo y se detiene la circulación de este por la tubería y las paredes de la perforación. En este instante el lodo ejerce una fuerza de empuje sobre la herramienta de perforación y por consiguiente sobre la estructura que soporta la sarta de perforación.

El peso del lodo que efectuará un esfuerzo en la estructura se determinará en base a una densidad estimada que corresponde a la densidad de lodo Bentónico, que es el tipo de lodo que se utiliza en perforaciones de baja profundidad y que consiste en una mezcla de agua con un tipo de arcilla de alta densidad. La densidad promedio de este tipo de lodo corresponde a 1.041 [kg/m³].

El área donde el lodo ejercerá la fuerza de peso quedará determinada entre el diámetro externo efectivo de la herramienta de perforación y el diámetro externo de las tuberías de perforación. Como el área resultante dependerá de la configuración de la herramienta, para razones de cálculo se utilizará 1/3 del área total resultante.

Tabla 3.14 Área resultante entre el diámetro exterior de la herramienta y la tubería

Diámetro Pozo in	Diámetro Ext. Herramienta m	Diámetro Ext. Tubería m	Área m²
4 1/2	0,1143	0,076	0,0057
6	0,1524	0,076	0,013

El peso resultante de la columna de lodo sobre la herramienta será:

Tabla 3.15 Peso del lodo sobre el área resultante entre la herramienta y la tubería de perforación

Diámetro Pozo in	1/3 Área m²	Largo m	Densidad Lodo kg/m³	Peso Lodo kg
4 1/2	0,0019	40	1.041	79,1
6	0,0043	40	1.041	180,4

3.3.11 Peso componentes

El peso de los componentes nos servirá para emular el empuje mínimo (E_{min}) necesario para romper con la resistencia a la compresión de la tierra. En este sentido como la perforación cuenta con la inyección de lodos los cuales facilitan el proceso, el esfuerzo mínimo que se requiere para romper con la resistencia a la compresión de la tierra disminuirá considerablemente.

Tabla 3.16 *Peso total de los componentes*

Componente	Cantidad	Peso Unitario [Kg]	Peso Total [Kg]
Tuberías	26	25	650
Lodo	1	180,4	180,4
Herramienta	1	4,5	4,5
Carro	1	22	22
Giratorio	1	38	38
Motorreductor	1	76	113,50
Total			1008,4

Capítulo 4 DISEÑO

4.1 Introducción al diseño

A partir de una primera propuesta de estructura dada, se analizarán los esfuerzos máximos producidos en los distintos elementos que la conforman mediante el software de análisis de esfuerzos Simulation Mechanical. Además, se analizarán los esfuerzos producidos en otros elementos como las barras de perforación y el eje del wáter swivel.

Se considerará un factor de seguridad que permitiera que las estructuras analizadas soporten los esfuerzos producidos durante el proceso de perforación.

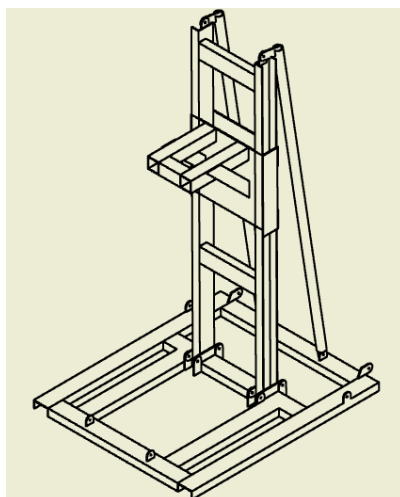
4.2 Diseño de la estructura de la perforadora

En la figura 4.1 se visualiza la estructura de la perforadora que estará dada por una configuración simple de perfiles en C. Las dimensiones exteriores de la estructura corresponden a una base rectangular de 0.8 x 1 [m] que soporta un bastidor de una altura de 2 [m].

A su vez el bastidor en la parte superior estará sujeto a dos barras que estarán fijadas a la base de la estructura y cuya función será darle mayor estabilidad al conjunto en el momento de operación.

Además, a través del bastidor se moverá el carro de perforación, en el cual estarán acoplados el sistema de generación y transmisión de potencia. El carro de perforación soporta la sarta de perforación, conformado por las barras y el trepano.

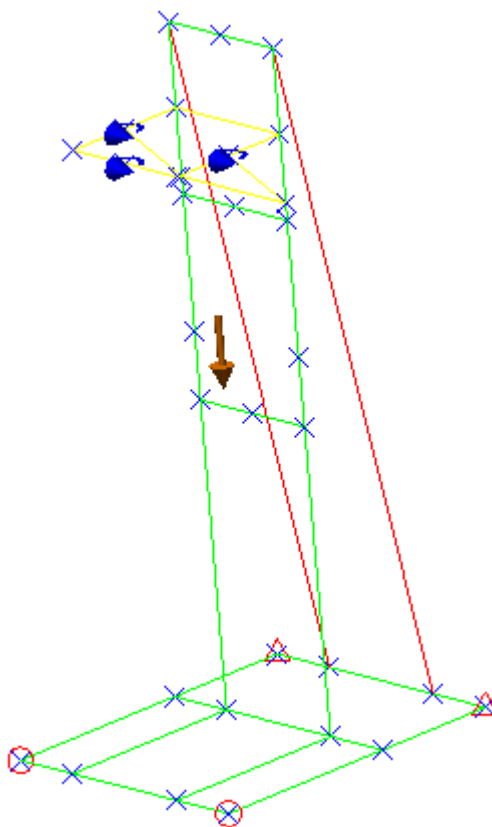
Fig. 4.1 Estructura



4.2.1 Materiales seleccionados para la construcción de la estructura

La estructura de la perforadora se subdividirá en 3 partes que estarán construidas con tres elementos distintos. En la figura 4.2 se observan en distintos colores los elementos que componen la estructura. La primera parte, que corresponde a las líneas en color verde, serán la estructura principal de la perforadora. La segunda parte, que corresponde a las líneas en color rojo, serán las vigas de soporte de la estructura principal. La tercera parte, que corresponde a las líneas en color amarillo, corresponden al carro de perforación.

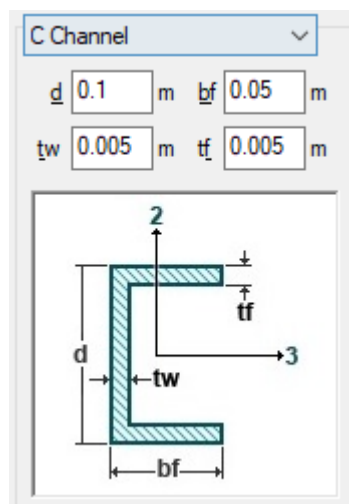
Fig. 4.2 Distribución perfiles



Para consideraciones en el estudio de simulaciones se observará el comportamiento de la estructura principal con 4 tipos de Perfiles en C.

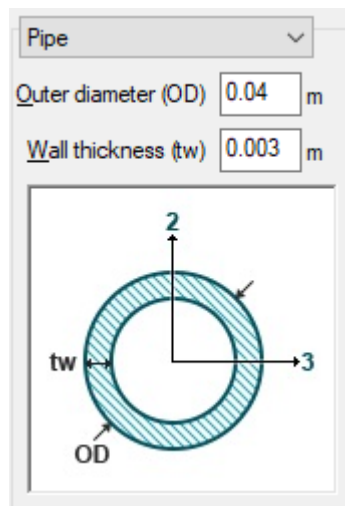
- 80x40x3 [mm]
- 80x40x5 [mm]
- 100x50x3 [mm]
- 100x50x5 [mm]

Fig. 4.3 Dimensiones perfil en C



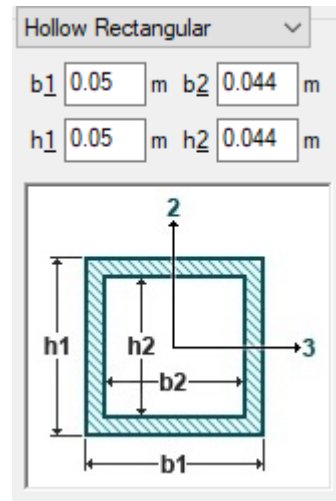
La segunda parte de la estructura, que corresponde a las vigas de soporte de la estructura principal, se utilizarán tuberías de diámetro exterior 40 [mm] y espesor de 3 [mm] (figura 4.3).

Fig. 4.4 Dimensiones tubería



La tercera parte de la estructura, que corresponde al carro de perforación, se utilizó un perfil rectangular hueco, de dimensiones 40x40 [mm] y espesor de 3 [mm] (figura 4.5).

Fig. 4.5 Dimensiones perfil cuadrado



4.2.2 Análisis de esfuerzos

Para el análisis de esfuerzos se realizarán simulaciones de las distintas situaciones de trabajo de la perforadora, específicamente a la ubicación del carro de perforación el cual tendrá acoplado el sistema de generación y transmisión de potencia.

Para el análisis se tendrá en consideración que el carro de perforación corresponderá a un elemento rígido unido a la estructura. La situación de estudio corresponderá a las tres posiciones del carro:

- Primera situación (*sit1*): posición superior.
- Segunda situación (*sit2*): posición media.
- Tercera situación (*sit3*): posición inferior.

En la simulación se consideró la situación más crítica de trabajo. Esto ocurre cuando se alcanza la profundidad máxima de 40 [m] de trabajo para un diámetro de perforación de 6 [in]. Además, se

estudiarán para cada situación de trabajo dos estados de esfuerzos, uno cuando la maquina se encuentra en proceso de perforación donde solo se aplica una fuerza par y otro cuando la maquina no se encuentra en proceso de perforación, donde la estructura solo está soportando el peso total de los elementos en la sarta de perforación.

El material elegido para realizar las simulaciones corresponde al acero ASTM-A36, cuyas propiedades mecánicas se detallan a continuación:

Tabla 4.1 Propiedades Acero ASTM-A36

Propiedad	Valor
Esfuerzo Ultimo	400 [MPa]
Esfuerzo Fluencia	248 [MPa]
Esfuerzo Cortante	144 [MPa]

Para estimaciones de diseño se utilizará el valor del Esfuerzo de Fluencia (σ_y) para determinar el valor del esfuerzo admisible (σ_{adm}). Además, se utilizará un factor de diseño (N) igual a 2,5. Este valor es comúnmente utilizado en diseño de elementos de maquina bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos de diseño. De esta manera el valor del esfuerzo admisible quedará de la siguiente manera:⁸

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_y}{N}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{248 \text{ [MPa]}}{2,5}$$

$$\sigma_{adm} = 99,2 \text{ [MPa]}$$

⁸ Diseño de elementos de máquina, Cuarta edición, Robert L. Mott, P.E.

Con este valor y el valor del esfuerzo máximo obtenido de las simulaciones, se determinará si las estructuras analizadas cumplen con el siguiente criterio de Factor de diseño:

$$\sigma_{max} \leq \sigma_{adm}$$

4.2.2.1 Esfuerzos resultantes en la estructura cuando se realiza la perforación

En la figura 4.3 se observa la primera situación. Esta se produce en el momento que se acoplan los 40 [m] de tubería y el carro de perforación se encuentra en la parte superior de la estructura, a una altura de 1.75 [m].

Las fuerzas que interactúan con la estructura son la fuerza de gravedad y una fuerza par total de 531 [Nm], repartidos en 3 nodos en el carro de perforación. Además, la estructura permanece con 4 restricciones en su base, dos de empotramiento y dos de simple apoyo.

Fig. 4.6 Condiciones de frontera sit1 y un par de 531 [Nm]

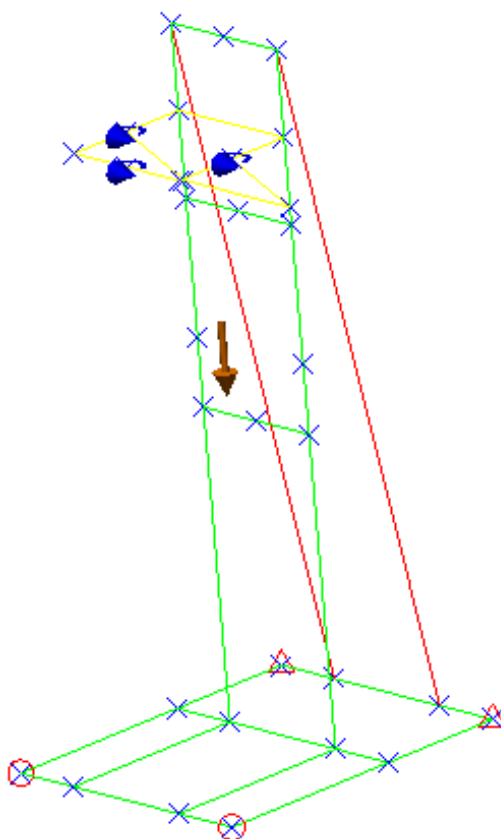


Fig. 4.7 Distribución máximos desplazamientos sit1 y un par de 531[Nm]

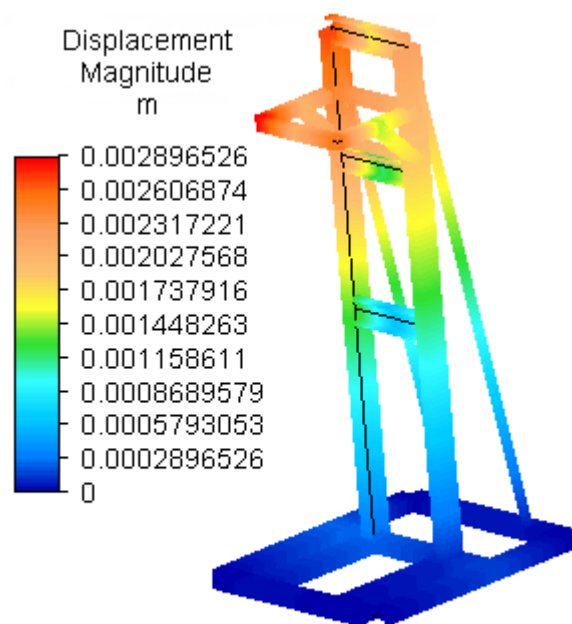
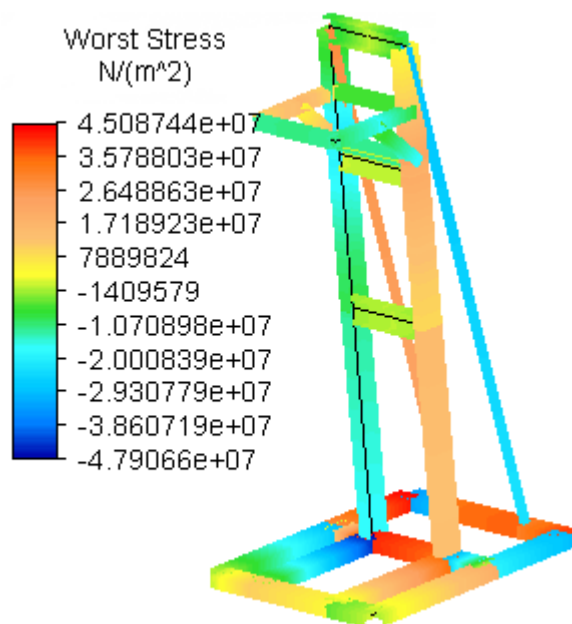


Fig. 4.8 Distribución máximos esfuerzos sit1 y un par de 531 [Nm]



De la primera situación de análisis se obtuvo una deformación máxima de 2,8 [mm], y un esfuerzo máximo de compresión de 47 [MPa]. El diseño cumple con el criterio $\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{adm}}$.

En la figura 4.10 se observa la segunda situación de análisis. En esta situación el carro de perforación se encuentra a una altura de 1,1 [m] de la base.

Nuevamente las fuerzas que interactúan con la estructura son la fuerza de gravedad y un par de rotación total de 531 [Nm] repartidos en 3 nodos.

La estructura permanece empotrada en los nodos posteriores de su base y con apoyo simple en los nodos anteriores de la base.

Fig. 4.9 Condiciones de frontera sit2 y un par de 531 [Nm]

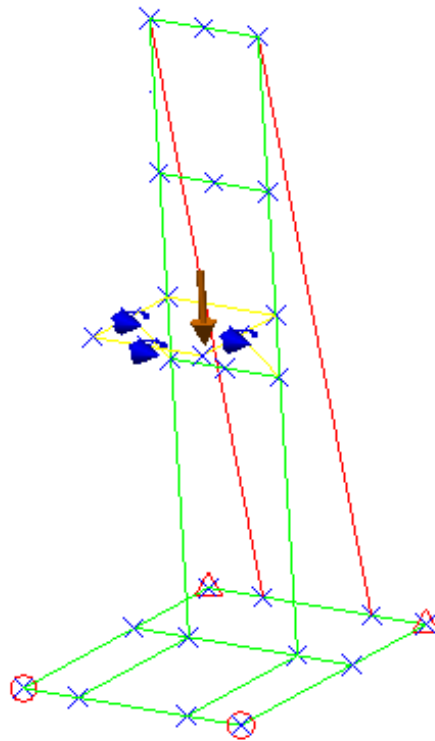


Fig. 4.10 Distribución máximos desplazamientos sit2 y un par de 531 [Nm]

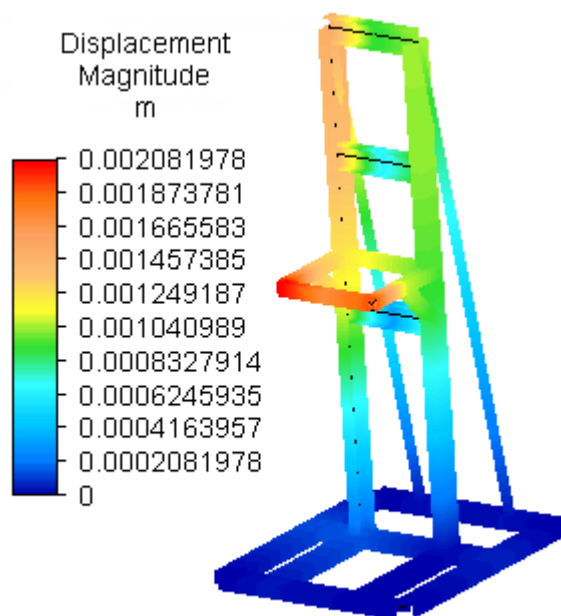
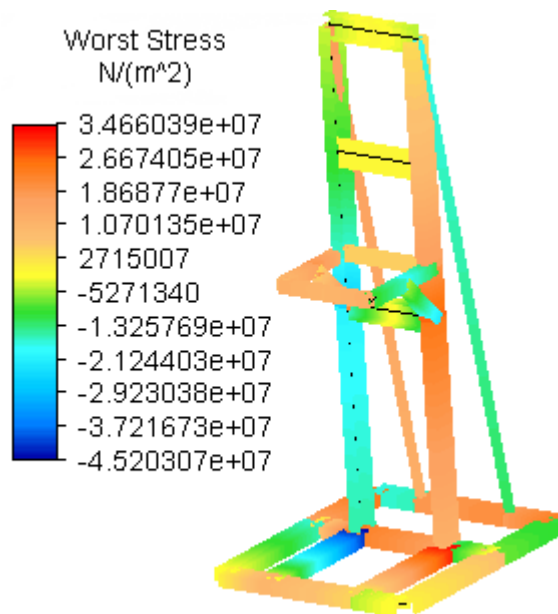


Fig. 4.11 Distribución máximos esfuerzos sit2 y un par de 531 [Nm]



De la segunda situación de análisis se obtuvo una deformación máxima de 2 [mm] y un esfuerzo máximo de compresión de 45 [MPa]. El diseño cumple con el criterio $\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{adm}}$.

En la figura 4.13 se observa la tercera situación de análisis. El carro de perforación se encuentra a una altura de 0.2 [m] de la base.

Nuevamente las fuerzas que interactúan con la estructura son la fuerza de gravedad y un par de rotación total de 531 [Nm] repartidos en los 3 nodos.

La estructura permanece empotrada en los nodos posteriores de su base y con apoyo simple en los nodos anteriores de la base.

Fig. 4.12 Condiciones de frontera para sit3 y un par de 531 [Nm]

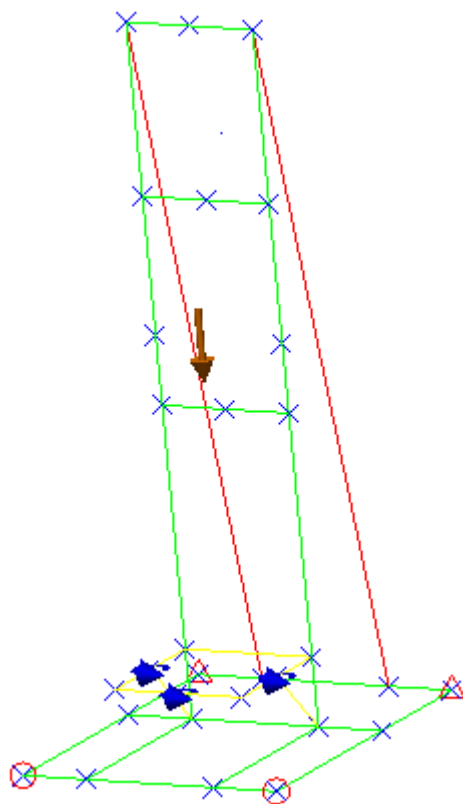


Fig. 4.13 Distribución máximos desplazamientos sit3 y un par de 531 [Nm]

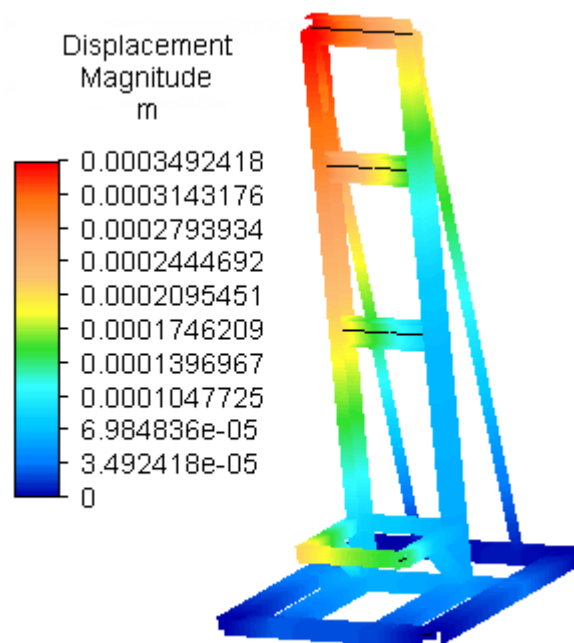
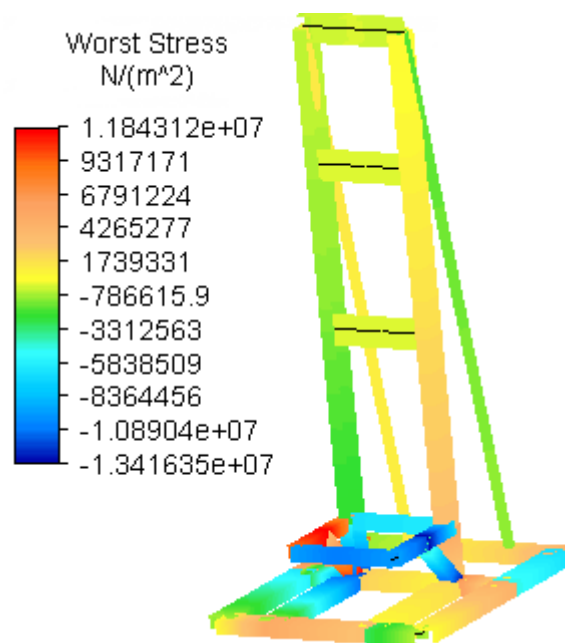


Fig. 4.14 Distribución máximos esfuerzos sit3 y un par de 531 [Nm]



De la tercera situación de análisis se obtuvo una deformación máxima de 0,3 [mm] y un esfuerzo máximo de compresión de 13 [MPa]. El diseño cumple con el criterio $\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{adm}}$.

Realizados los análisis para un perfil de dimensiones 100x50x5 [mm], se procede a realizar las simulaciones para distintas medidas de los perfiles (tabla 4.2).

Los análisis fueron favorables. Si bien la mayoría de los perfiles analizados soportan el par aplicado a la estructura, se observó un comportamiento crítico a medida que disminuyen las dimensiones. De la misma manera mientras aumentan las dimensiones, el comportamiento de la estructura se hace más favorable. Esto se queda demostrado analizando el criterio de diseño que se cumple con holgura para las dimensiones mayores.

En relación con las situaciones de análisis que dependen de la ubicación del carro, los mayores desplazamientos de la estructura se producen cuando el carro de perforación se encuentra en la parte superior de la estructura.

En cuanto al desplazamiento, se considerará aquel perfil que posea la menor cantidad de desplazamiento. Esto se debe a que el desplazamiento de la estructura puede afectar de manera considerable la dirección de la perforación a medida que se aumenta la profundidad del pozo.

Tabla 4.2 Criterio de diseño, Esfuerzo máximo y Desplazamiento máximo para perfiles en C para un par de 531 [Nm]

Perfil	Despl. Max [mm]			Esfuerzo Max [MPa]			Criterio de Diseño		
	Sit1	Sit2	Sit3	Sit1	Sit2	Sit3	Sit1	Sit2	Sit3
50x25x3	15	17	5.3	175	156	70	No	No	Si
80x40x3	6.6	5.5	1.8	108	71	37	No	Si	Si
80x40x5	5.2	4	1.6	84	57	32	Si	Si	Si
100x50x3	4.4	3.3	1.1	82	54	28	Si	Si	Si
100x50x5	3	2.4	1	45	34	11	Si	Si	Si

4.2.2.2 Esfuerzos resultantes en la estructura cuando se levanta la sarta de perforación

Al igual que el análisis anterior, se consideró la situación más crítica de trabajo para esta situación. Esto ocurre cuando se alcanza la profundidad máxima de 40 [m] de trabajo para un diámetro de perforación de 6 [in].

Como la perforadora se encuentra en situación de término del proceso, los componentes dejan de ser utilizados como fuerza de empuje (E_{min}) para romper con la resistencia a la compresión de la tierra (R_c). Es en este momento que la estructura soporta la totalidad del peso generado por los elementos que están efectuando el proceso de perforación.

Para la siguiente simulación se utilizó una fuerza de 10 [KN], que simula el peso aproximado de la totalidad de los componentes utilizados durante el proceso de perforación, y las tres situaciones de análisis descritas anteriormente para distintos tipos de perfiles en C.

Fig. 4.15 Condiciones de frontera sit1 y una fuerza de 10 [KN]

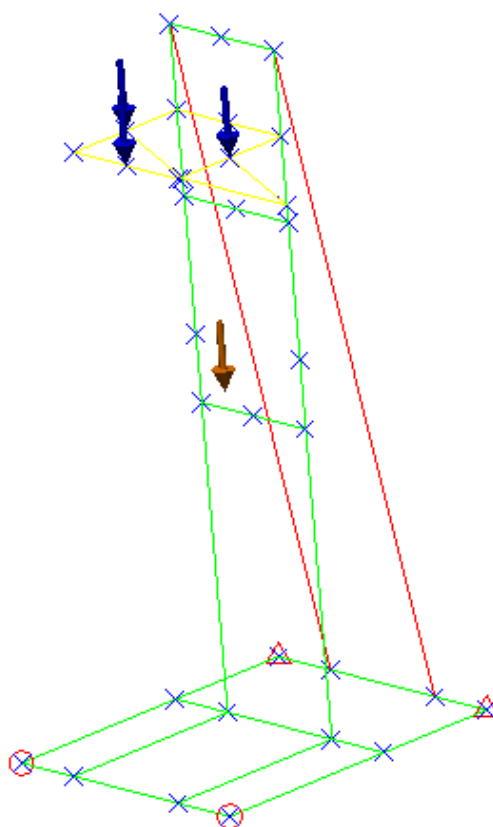


Fig. 4.16 Distribución máximos desplazamientos sit1 y una fuerza de 10[KN]

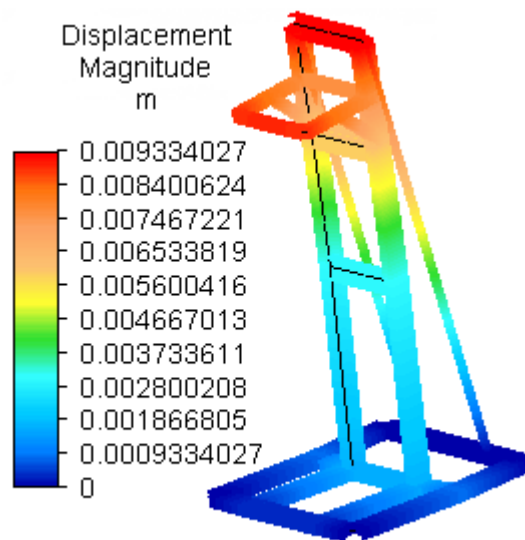


Fig. 4.17 Distribución máximos desplazamientos sit2 y una fuerza de 10[KN]

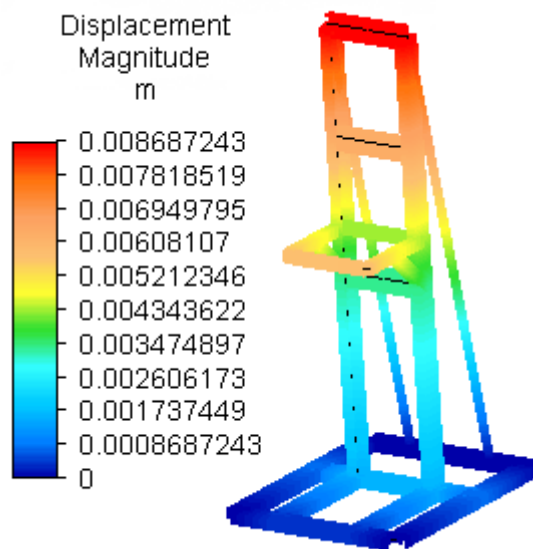


Fig. 4.18 Distribución máximos desplazamientos sit3 y una fuerza de 10[KN]

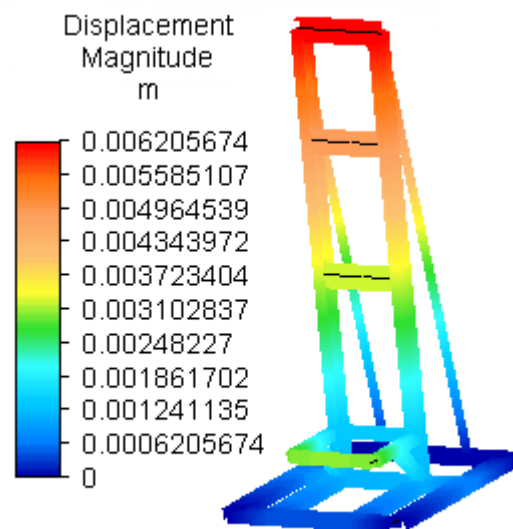


Fig. 4.19 Distribución máximos esfuerzos sit1 y una fuerza de 10[KN]

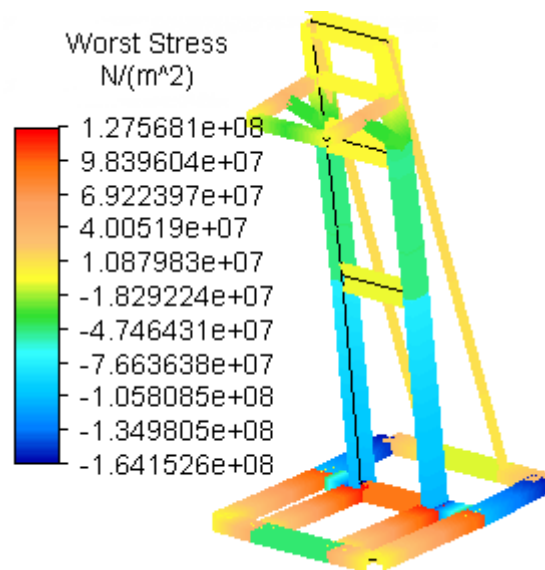


Fig. 4.20 Distribución máximos esfuerzos sit2 y una fuerza de 10[KN]

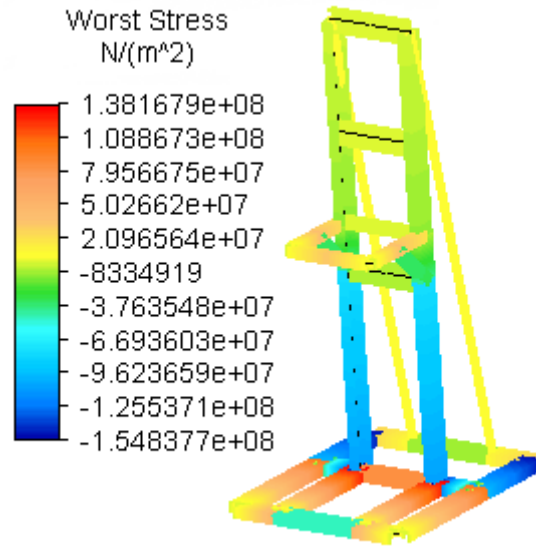
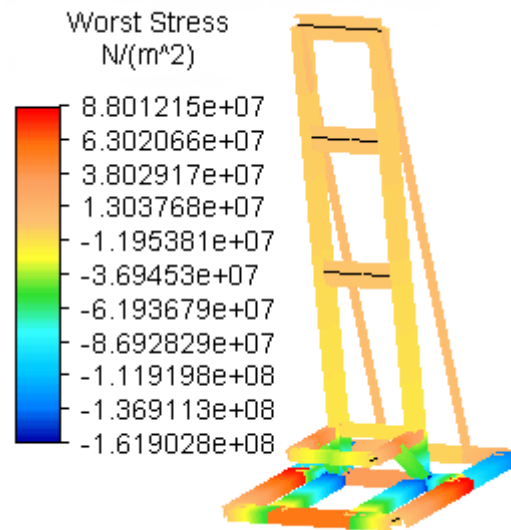


Fig. 4.21 Distribución máximos esfuerzos sit3 y una fuerza de 10[KN]



Los datos obtenidos de las simulaciones son los siguientes:

Tabla 4.3 Criterio de diseño, Esfuerzo máximo y Desplazamiento máximo para perfiles en C para una fuerza de 10 [KN]

Perfil	Despl. Max [mm]			Esfuerzo Max [Mpa]			Criterio de Diseño		
	Sit1	Sit2	Sit3	Sit1	Sit2	Sit3	Sit1	Sit2	Sit3
50x25x3	114	109	73	830	898	610	No	No	No
80x40x3	27	26	18	317	343	224	No	No	No
80x40x5	18	16	11	198	215	141	No	No	No
100x50x3	14	13	9.5	203	220	139	No	No	No
100x50x5	9.3	8.6	6	127	138	88	No	No	Si

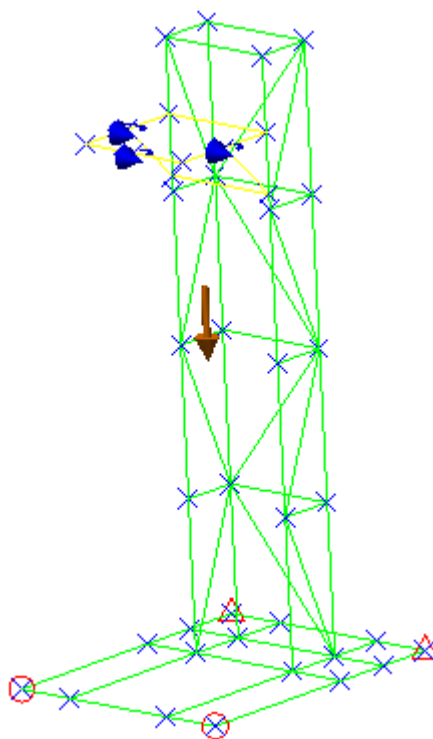
Realizadas las simulaciones para cada tipo de perfil, se observa que los resultados no fueron favorables al aplicar una fuerza de 10 [KN] sobre la estructura. Los desplazamientos resultantes son muy superiores a los obtenidos anteriormente cuando se aplicó el par de rotación. Otro aspecto a observar es la disminución de los perfiles que cumplen con el criterio de diseño. Esto nos da a entender que con la configuración actual de la estructura, eventualmente se producirá un colapso al momento de levantar la sarta de perforacion.

Ante esta situación se determinó cambiar la configuración de la estructura, para obtener menores desplazamientos y mayores factores de seguridad.

4.3 Rediseño de la estructura propuesta

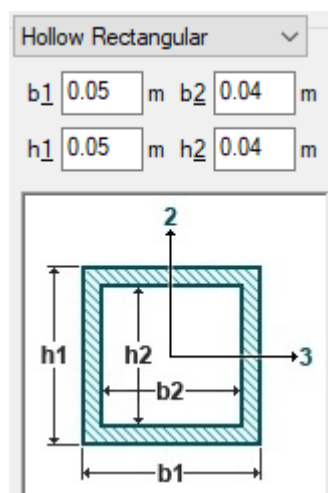
Para la segunda estructura propuesta, en la figura 4.15 se visualiza la estructura de la perforadora que estará conformada por perfiles cuadrados con una configuración correspondiente a una armadura Pratt. Las dimensiones exteriores de la estructura se conservarán, estos corresponden a una base rectangular de 0.8 x 1 [m] que soporta una torre de una altura de 2 [m].

Fig. 4.22 Condiciones de frontera en la nueva estructura



4.3.1 Material seleccionad para la construcción de la estructura

A diferencia de la primera estructura propuesta, esta nueva estructura solo estará conformada por un tipo de perfil. El perfil seleccionado corresponde a un perfil cuadrado hueco de dimensiones 50x50x5 [mm].

Fig. 4.23 Dimensiones perfil cuadrado

4.3.2 Análisis de esfuerzos

Para los análisis de esfuerzo se simularán las tres situaciones descritas para la estructura analizada anteriormente. Además, se utilizará el mismo criterio de diseño utilizando un acero ASTM A-36.

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_y}{N}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{248 \text{ [MPa]}}{2,5}$$

$$\sigma_{adm} = 99.2 \text{ [MPa]}$$

4.3.2.1 Esfuerzos resultantes en la estructura cuando se realiza la perforación

Realizadas las simulaciones para las mismas situaciones de trabajo descritas anteriormente, esta vez utilizando una estructura del tipo Pratt se obtuvieron los siguientes resultados para una fuerza par de 531 [Nm]:

Fig. 4.24 Distribución máximos desplazamientos sit1 y un par de 531 [Nm]

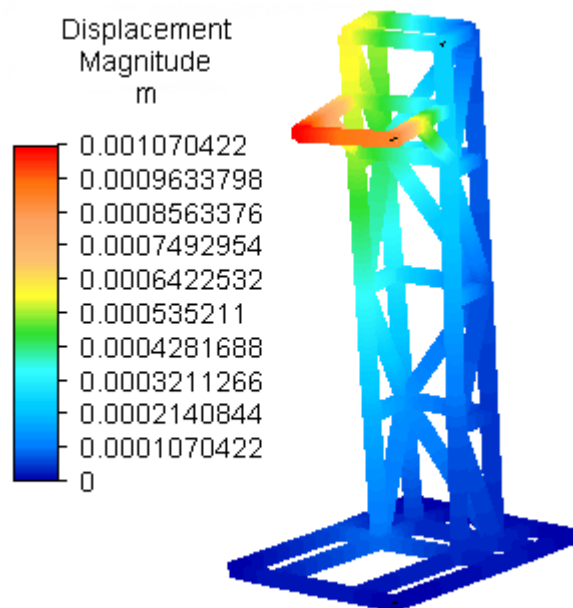


Fig. 4.25 Distribución máximos desplazamientos sit2 y un par de 531 [Nm]

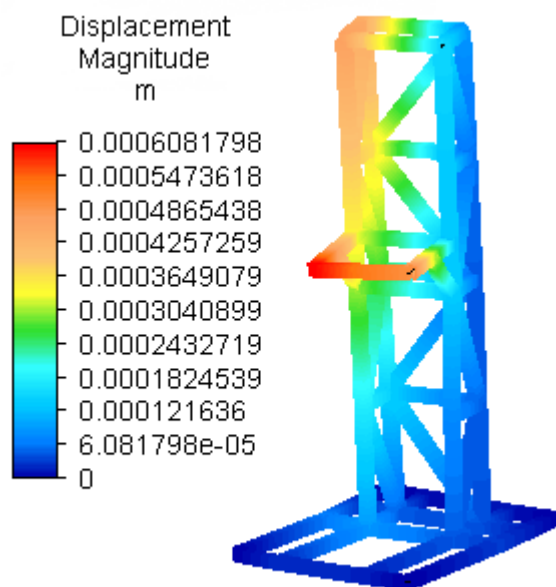


Fig. 4.26 Distribución máximos desplazamientos sit3 y un par de 531 [Nm]

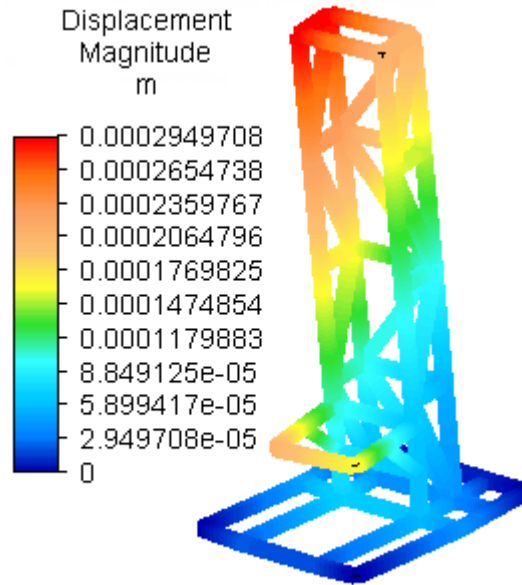


Fig. 4.27 Distribución máximos esfuerzos sit1 y un par de 531 [Nm]

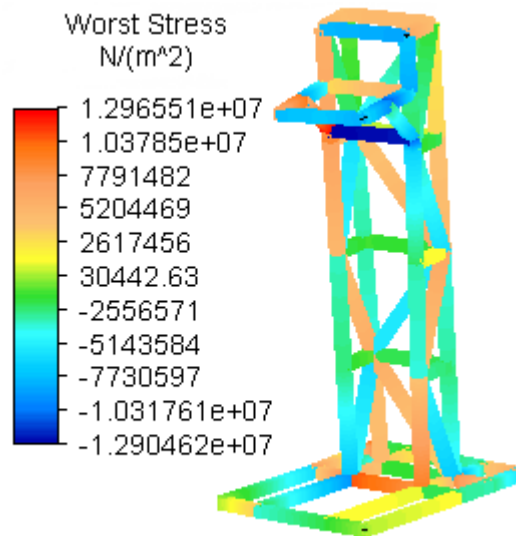


Fig. 4.28 Distribución máximos esfuerzos sit2 y un par de 531 [Nm]

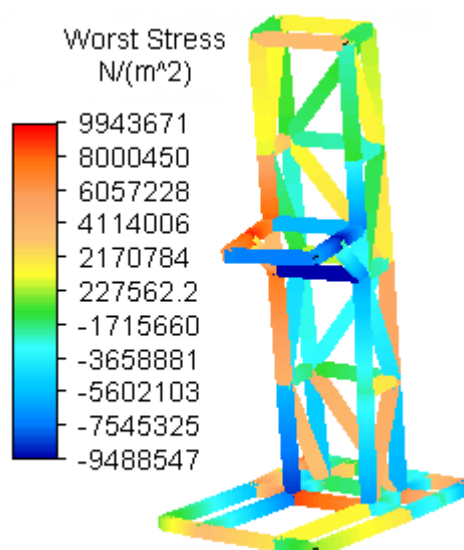


Fig. 4.29 Distribución máximos esfuerzos sit3 y un par de 531 [Nm]

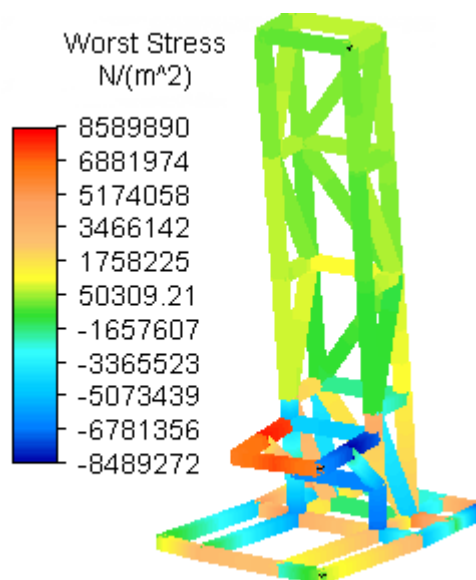


Tabla 4.4 Criterio de diseño, Esfuerzo máximo y Desplazamiento máximo para perfil cuadrado con un par de 531 [Nm]

Perfil	Despl. Max [mm]			Esfuerzo Max [Mpa]			Criterio de Diseño		
	Sit1	Sit2	Sit3	Sit1	Sit2	Sit3	Sit1	Sit2	Sit3
50x50x5	1	0.6	0.3	12	9.9	8.5	Si	Si	Si

En primer caso, cuando se está realizando la perforación, los resultados obtenidos fueron satisfactorios, obteniéndose un desplazamiento máximo de la estructura de 1 [mm] y un esfuerzo máximo de tracción de 12 [MPa]. La estructura cumple con el criterio de diseño $\sigma_{max} \leq \sigma_{adm.}$.

4.3.2.2 Esfuerzos resultantes en la estructura cuando se levanta la sarta de perforación

Realizadas las simulaciones para las mismas situaciones de trabajo descritas anteriormente, esta vez utilizando una estructura del tipo Pratt se obtuvieron los siguientes resultados para una fuerza de 10 [KN]:

Fig. 4.30 Distribución máximos desplazamientos sit1 y una fuerza de 10 [KN]

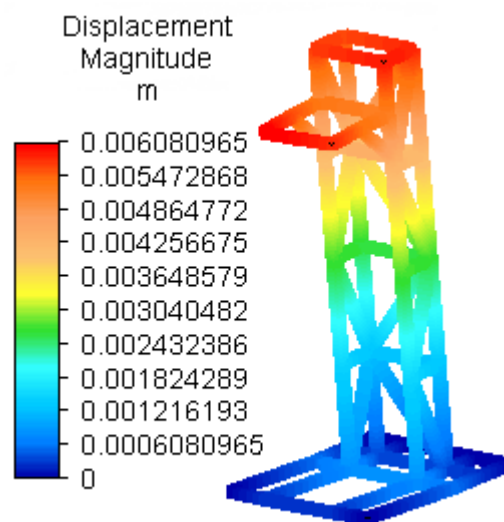


Fig. 4.31 Distribución máximos desplazamientos sit2 y una fuerza de 10 [KN]

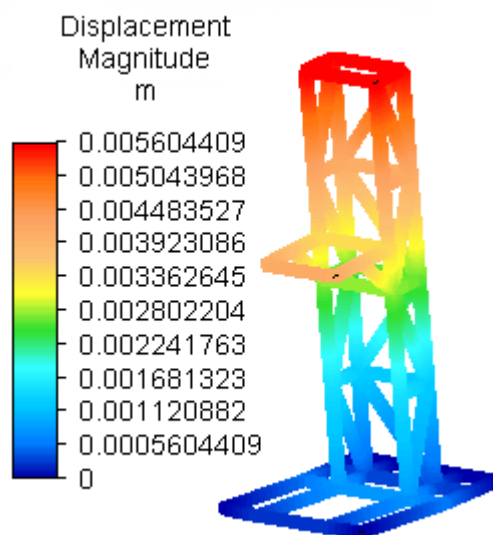


Fig. 4.32 Distribución máximos desplazamientos sit3 y una fuerza de 10 [KN]

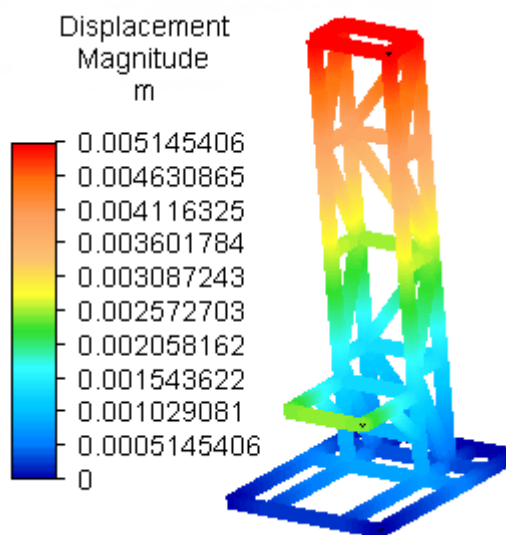


Fig. 4.33 Distribución máximos esfuerzos sit1 y una fuerza de 10 [KN]

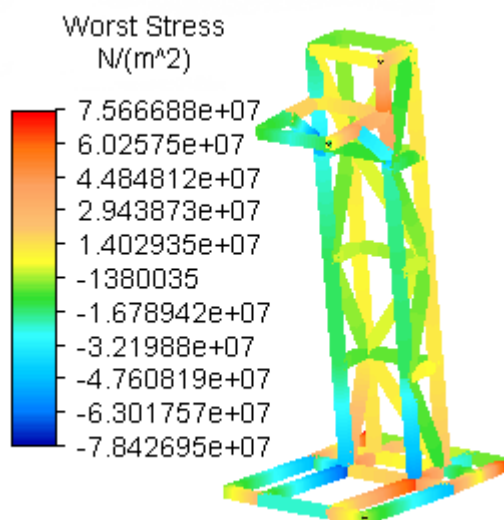


Fig. 4.34 Distribución máximos esfuerzos sit2 y una fuerza de 10 [KN]

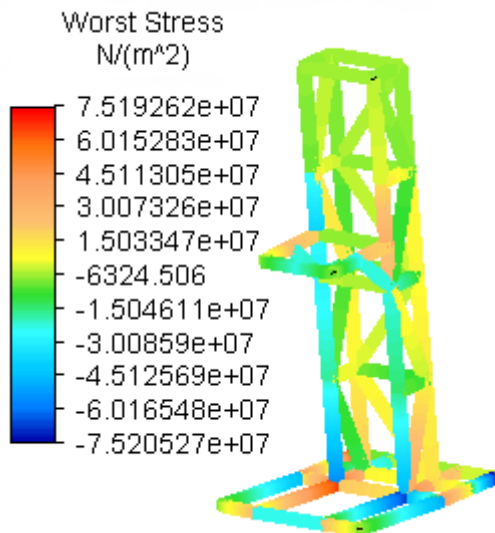


Fig. 4.35 Distribución máximos esfuerzos sit3 y una fuerza de 10 [KN]

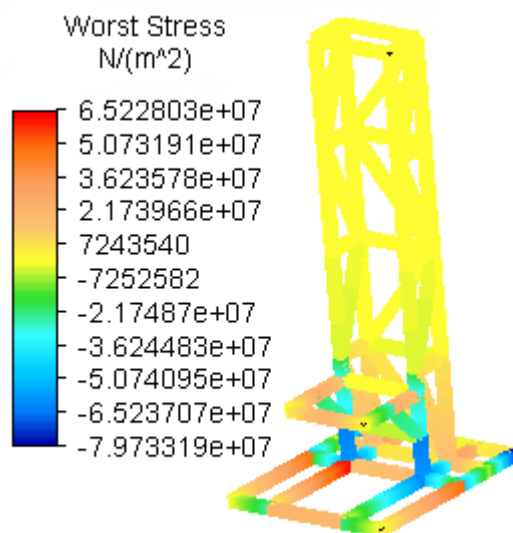


Tabla 4.5 Criterio de diseño, Esfuerzo máximo y Desplazamiento máximo para perfil cuadrado.

Perfil	Despl. max [mm]			Esfuerzo max [Mpa]			Criterio de Diseño		
	Sit1	Sit2	Sit3	Sit1	Sit2	Sit3	Sit1	Sit2	Sit3
50x50x5	6	5.6	5	78	75.1	79	Si	Si	Si

Para el caso cuando se soporte el peso total de 10 [KN], los resultados también fueron satisfactorios, obteniéndose un desplazamiento máximo de la estructura de 6 [mm] y un esfuerzo máximo de tracción de 75.1 [MPa]. La estructura cumple con el criterio de diseño $\sigma_{max} \leq \sigma_{adm}$.

Con los resultados obtenidos de la segunda estructura analizada, se determina que la estructura con una armadura del tipo Pratt satisface las necesidades de diseño para soportar los esfuerzos generados durante el proceso de perforación.

4.4 Water Swivel o Giratorio de perforación

El giratorio de perforación es un elemento importante en nuestro sistema, debido a que la función principal es transmitir el par generado en el reductor hacia la sarta de perforación y permite la entrada de los lodos de perforación hacia las barras.

4.4.1 Análisis de esfuerzos.

Para consideraciones de diseño solo se estudiará el eje del giratorio de perforación, cuyo material será de calidad AISI 4130 y se someterá a los mismos esfuerzos que se consideraron en el estudio de la estructura de la perforadora.

Tabla 4.6 Propiedades Acero AISI 4130

Propiedad	Valor
Esfuerzo último	560 [MPa]
Límite elástico	1117 [MPa]

Para estimaciones de diseño se utilizará el valor del Esfuerzo último (σ_u) para determinar el valor del esfuerzo admisible (σ_{adm}). Además, se utilizará un factor de diseño (N) igual a 4. Valor obtenido para diseño de estructuras estáticas o elementos de maquina bajo cargas dinámicas, con incertidumbre acerca cargas, propiedades de materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente⁹. Con esto el valor del esfuerzo admisible quedará de la siguiente manera:

$$\sigma_{adm} = \frac{560 \text{ [MPa]}}{4}$$

$$\sigma_{adm} = 140 \text{ [MPa]}$$

⁹ Diseño de elementos de máquina, Cuarta edición, Robert L. Mott, P.E.

Fig. 4.36 Condiciones de frontera para una fuerza aplicada de 10 [KN]

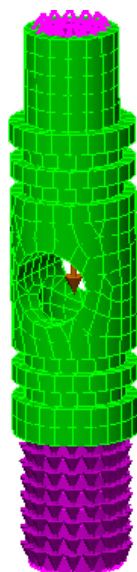


Fig. 4.37 Distribución máximos desplazamientos para una fuerza de 10 [KN]

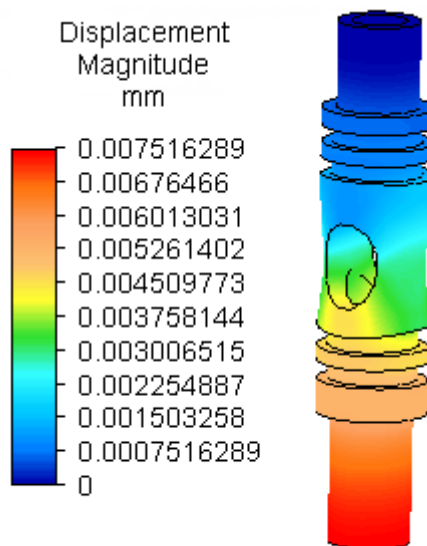
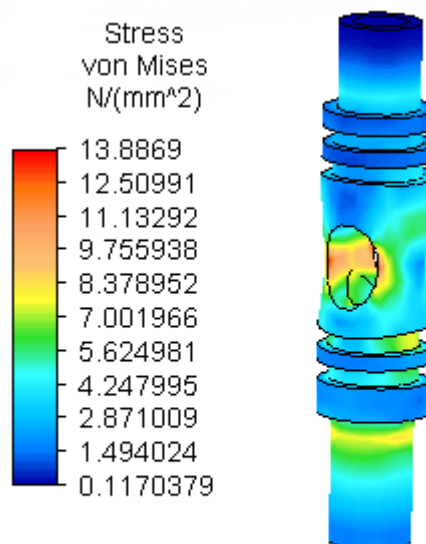


Fig. 4.38 Distribución máximos esfuerzos para una fuerza de 10 [KN]



Las simulaciones realizadas para una fuerza aplicada de 10 [KN] en el eje del giratorio de perforación fueron favorables, obteniéndose una máxima deformación de 0.007 [mm], un esfuerzo máximo de Von Mises de 13,8 [MPa]. El diseño cumple con el criterio $\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{adm}}$.

Fig. 4.39 Condiciones de frontera para un par de 531 [Nm]



Fig. 4.40 Distribución máximos desplazamientos para un par de 531 [Nm]

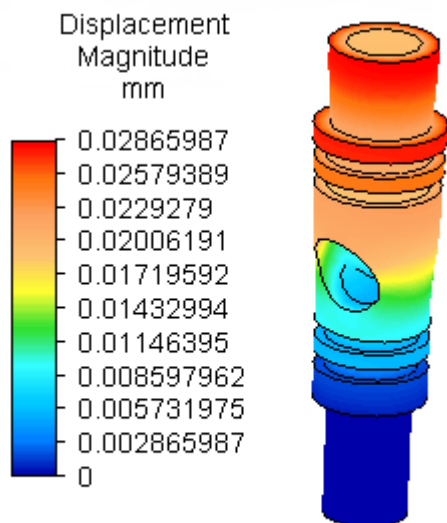
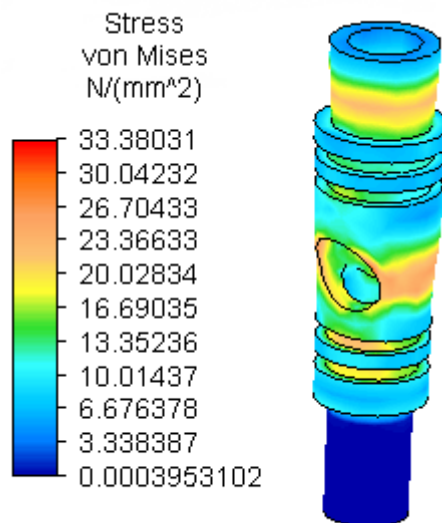


Fig. 4.41 Distribución máximos esfuerzos para un par de 531 [Nm]



Las simulaciones realizadas para una fuerza par aplicada de 531 [Nm] en el eje del giratorio de perforación fueron favorables, obteniéndose una máxima deformación de 0.028 [mm], un esfuerzo máximo de Von Mises de 33 [MPa]. El diseño cumple con el criterio $\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{adm}}$.

4.5 Barras de perforación

Las barras de perforación son las encargadas de transmitir las cargas y los fluidos de perforación hacia la herramienta. Si bien estos componentes están normados por norma API, surge la necesidad de estudiar el comportamiento de estas en la situación más crítica de trabajo. Las propiedades de las barras para un grado API E-75 se detallan a continuación:¹⁰

Tabla 4.7. Propiedades barras grado E-75

Propiedad	Valor
Esfuerzo último	690 [MPa]
Limite elástico	515 [MPa]

4.5.1 Análisis de esfuerzos

Para realizar los análisis de esfuerzos, se consideró el primer y el último tercio del largo total de las barras en el proceso crítico de perforación.

¹⁰ Detalle propiedades barras API Grado E, Anexo H

4.5.1.1 Primer tercio

Fig. 4.42 Condiciones de frontera soportando el peso de 2/3 de las barras



Fig. 4.43 Distribución máximos desplazamientos frontera soportando el peso de 2/3 de las barras

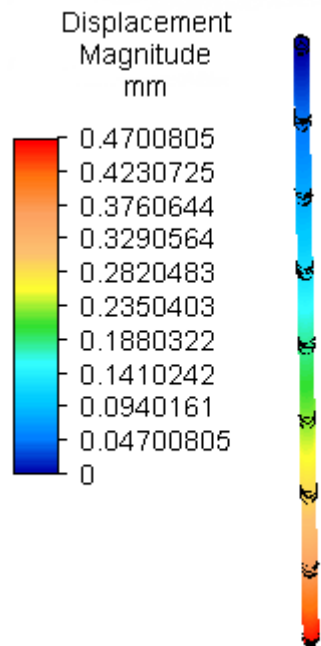


Fig. 4.44 Distribución máximos esfuerzos frontera soportando el peso de 2/3 de las barras

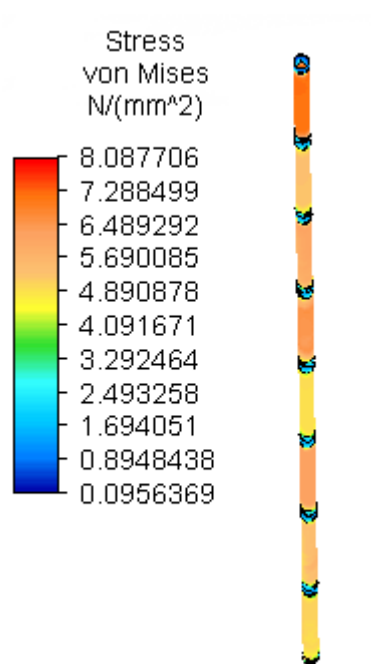


Fig. 4.45 Condiciones de frontera para un par de 531 [Nm]



Fig. 4.46 Distribución máximos desplazamientos para un par de 531 [Nm]

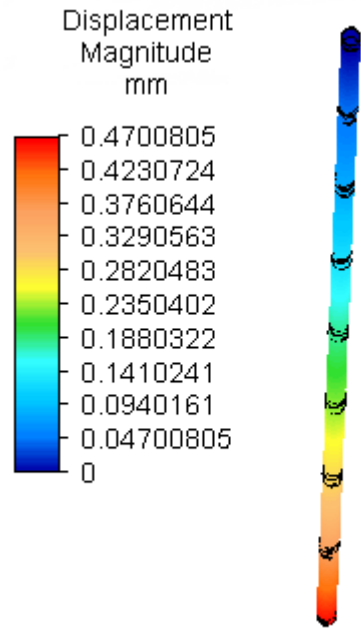
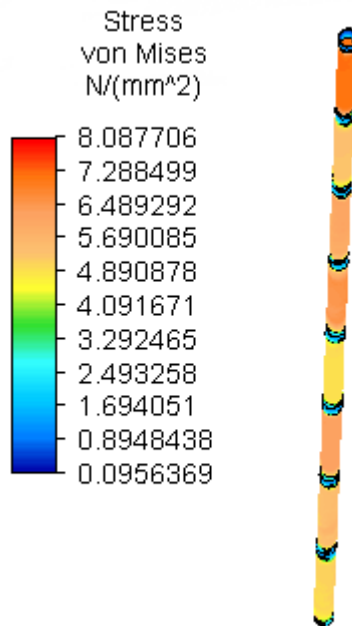


Fig. 4.47 Distribución máximos esfuerzos para un par de 531 [Nm]



4.5.1.2 Tercer tercio

Fig. 4.48 Condiciones de frontera soportando el peso de 2/3 de las barras



Fig. 4.49 Distribución máximos desplazamientos soportando el peso de 2/3 de las barras

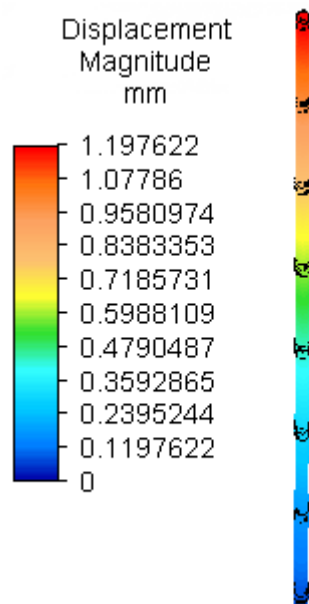


Fig. 4.50 Distribución máximos esfuerzos soportando el peso de 2/3 de las barras

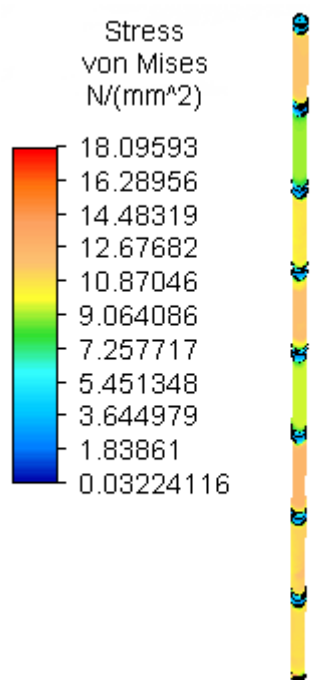


Fig. 4.51 Condiciones de frontera para un par de 531 [Nm]



Fig. 4.52 Distribución máximos desplazamientos para un par de 531 [Nm]

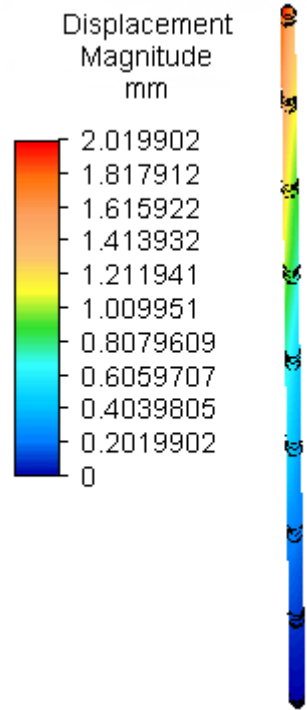
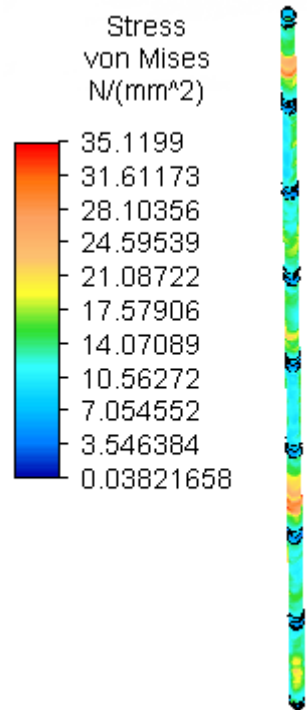


Fig. 4.53 Distribución máximos esfuerzos para un par de 531 [Nm]



Capítulo 5 ANALISIS DE COSTOS

5.1 Introducción al análisis de costos

Para analizar la factibilidad económica del diseño estudiado se compararon económicamente las tecnologías hidráulica y mecánica, a partir de esta información, se procederá a hacer un análisis de Costos Anuales Equivalentes (CAE) entre la máquina a diseñar y una alternativa presente en el mercado. Con este análisis se determinará si el proyecto es favorable económicamente.

5.1.1 Selección de tecnología hidráulica

Para la selección de la tecnología hidráulica, se realizaron los cálculos correspondientes para la selección de los componentes a cotizar. Estos componentes corresponden a los elementos principales a utilizar en el sistema hidráulico. Estos corresponden al motor hidráulico, bomba hidráulica, motor eléctrico, válvula direccional, válvulas de alivio y fluido hidráulico.

5.1.1.1 Selección de actuadores

El actuador correspondiente para el proyecto corresponde a un motor hidráulico. Para determinar los requerimientos se utilizarán los datos obtenidos de los cálculos de las variables de perforación.¹¹

Para la selección de los actuadores en primer lugar se determina la dimensión característica que en este caso corresponde al desplazamiento del motor en [cm³/rev].

$$D_{M\ teo} = 588 * \frac{T}{P} \left[\frac{cm^3}{rev} \right]$$

$$D_{M\ real} = 1,2 \sim 1,4 * D_{M\ teo} \left[\frac{cm^3}{rev} \right]$$

¹¹ Proyectos Oleohidráulicos, Profesor Hernando Cornejo Félix.

Donde:

$D_{M\ teo}$: Desplazamiento motor teórica

$D_{M\ real}$: Desplazamiento motor teórica

T: torque o par resistente [Kgm]

P: Presión [bar]

Utilizando un valor de 54 [Kgm] para T y una presión de trabajo 150 [bar] (estimado del diseñador), el valor del desplazamiento de motor a utilizar en la selección quedara:

$$D_{M\ teo} = 588 * \frac{54}{150} \left[\frac{cm^3}{rev} \right]$$

$$D_{M\ teo} = 211,7 \left[\frac{cm^3}{rev} \right]$$

$$D_{M\ real} = 1,2 * 211,7 \left[\frac{cm^3}{rev} \right]$$

$$D_{M\ real} = 254 \left[\frac{cm^3}{rev} \right]$$

El motor seleccionado corresponde a un Motor Orbital modelo 109-1052 con un desplazamiento de motor real de 310 [cm³/rev], Presión max 280 [bar].

5.1.1.2 Selección bomba hidráulica

Para la selección de la bomba hidráulica, se requiere determinar el caudal requerido por el motor hidráulico y el desplazamiento de la bomba.¹²

$$Q_m = \frac{D_M * rpm}{1000} [lpm]$$

$$Q_b = 1,1 * Q_M [lpm]$$

Donde:

Q_m : Caudal motor

Q_b : Caudal de la bomba

D_M : Desplazamiento motor

Rpm: revoluciones por minuto requeridas

$$Q_m = \frac{254 * 120}{1000} [lpm]$$

$$Q_m = 30,5 [lpm]$$

Desplazamiento requerido:

$$D_B = \frac{Q_b * 1000}{rpm} \left[\frac{cm^3}{rev} \right]$$

¹² Proyectos Oleohidráulicos, Profesor Hernando Cornejo Félix.

Donde:

D_b : Desplazamiento bomba [cm^3/rev]

Q_b : Caudal bomba [lpm]

Rpm: revoluciones por minuto del motor eléctrico (estimado del diseñador)

$$D_B = \frac{1,1 * 30,48 * 1000}{1500} \left[\frac{\text{cm}^3}{\text{rev}} \right]$$

$$D_B = 22,3 \left[\frac{\text{cm}^3}{\text{rev}} \right]$$

La bomba seleccionada corresponde a una bomba de engranajes externos de giro unidireccional modelo 3.5PC 64D P48 P3 de un desplazamiento de 63 [cm^3/rev] y una descarga de 24.13 [gpm] a 1500 rpm.

5.1.1.3 Motor

La potencia necesaria para la selección del motor se determinará mediante la siguiente ecuación:¹³

$$N = \frac{1,1 * P * Q_B}{456} [\text{Kw}]$$

Donde:

N: Potencia requerida del motor [Kw]

¹³ Proyectos Oleohidráulicos, Profesor Hernando Cornejo Félix.

P: presión de diseño [bar]

Q_b : Caudal de la bomba [lpm]

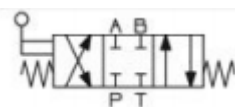
$$N = \frac{1,1 * 150 * 33.52}{456} [Kw]$$

$$N = 12,12 [Kw]$$

5.1.1.4 Válvula direccional

La válvula direccional seleccionada para el sistema hidráulico corresponde a una válvula de 4 vías 3 posiciones, que otorgara rotación del motor hidráulico en ambos sentidos. La válvula seleccionada corresponde a una válvula direccional manual CETOP 3 DE 4-3 centro cerrado.

Figura 5.1 Valvula 4 vias 3 posiciones



5.1.1.5 Válvula de alivio

Las válvulas de alivio se determinan mediante la presión máxima que soportara el sistema y el caudal del fluido hidráulico.

$$P = P_{max}$$

$$Q = 2 a 3 * Q_b$$

Donde:

P: Presión máxima del sistema

Q_b : Caudal de la bomba

$$P = 150 \text{ [bar]}$$

$$Q = 2 * 33,5 \text{ [lpm]}$$

$$Q = 67 \text{ [lpm]}$$

La válvula de alivio de presión seleccionada corresponde a un modelo ARE-15-150 del fabricante ATOS para 2220 [PSI] o 153 [bar] para un caudal de 75 [lpm].

5.1.2 Selección de tecnología mecánica

Para seleccionar la tecnología mecánica se utilizarán los cálculos correspondientes a el inciso 2.3.7 donde se determinó que la potencia requerida para los procesos de perforación corresponde a un valor de 6,7 [KW]. Los componentes principales que cotizar en el sistema mecánico corresponden a un conjunto moto-reductor. El motorreductor seleccionado se obtuvo mediante la cotización al proveedor SEW Eurodrive.

5.1.3 Tecnología a utilizar

Se determina el tipo de tecnología más conveniente utilizar en relación a su precio, mediante cotizaciones con proveedores nacionales. Las cotizaciones realizadas para las dos tecnologías se desglosan en las siguientes tablas:¹⁴

Tabla 5.1 Cotización tecnología hidráulica

Productos de Mercado				
Artículo	Cantidad	Proveedor	Valor [\$]	Valor total [\$]
Motor hidráulico orbital	1	Itamarket	492.191	492.191
Bomba de engranes	1	Itamarket	188.935	188.935
Motor	1	Toyama	375.800	375.800
Válvula direccional	1	Itamarket	91.585	91.585
Válvula de sobrepresión	2	Itamarket	193.974	387.947
			Total [\$]	1.536.458

Tabla 5.2 Cotización tecnología mecánica

Productos de Mercado				
Artículo	Cantidad	Proveedor	Valor [\$]	Valor total [\$]
Conjunto moto-reductor	1	SEW	750.000	750.000
			Total [\$]	750.000

Realizadas las cotizaciones para las dos opciones, se determinó que para la conformación de la perforadora se utilizará la tecnología del tipo mecánica, en donde, además de resultar una opción más accesible económicamente, la tecnología mecánica resulta ser una opción simple y con menos componentes que un sistema hidráulico que requiere de una planificación rigurosa y un control constante de todos los elementos que la conforman.

5.1.4 Análisis de inversión

A partir de las propuestas planteadas para la realización del diseño de la perforadora, se analizarán los costos asociados a través de un análisis financiero de proyectos de inversión. Este

¹⁴ Detalle cotizaciones en Anexo

análisis corresponde al método de Costo Anual Equivalente (CAE) el cual nos permite determinar los costos anuales generados durante la vida útil de nuestra máquina. El propósito de este análisis es comparar los costos generados entre la máquina a construir y una máquina presente en el mercado. El menor valor del CAE nos determinará que opción seleccionar, debido a que presentará los menores costos a través del tiempo.

La expresión que nos permitirá calcular el valor del CAE es la siguiente:

$$CAE = \frac{VA}{FA}$$

Donde:

CAE: Costo anual equivalente [\$]

VA: Valor actual [\$]

FA: Factor de anualidad

$$VA = P + CO * FA - VR * FV$$

Donde:

P: Inversión

CO: Costo operacional

VR: Valor residual

FV: Factor de valor actual

$$FA = \sum_{i=1}^n \frac{1}{(1+T)^i} \quad FV = \frac{1}{(1+T)^n}$$

Donde:

FA: Factor de anualidad

n: Vida útil en años

T: Tasa de interés

Para la realización de los cálculos, se determina que la vida útil de la maquina son 6 años¹⁵, un valor residual del 30% de la inversión (estimado del diseñador) y una tasa de interés de un 12%.

Las inversiones realizadas para cada tipo de maquina se detallan a continuación:

Tabla 5.3 Cotizaciones para maquina a construir

Productos de Mercado PROYECTO				
Articulo	Cantidad	Proveedor	Valor [\$]	Valor total [\$]
Carro de arrastre	1	MetalCar	1.650.000	1.890.000
Barras de Perforación	26	Chile Drills	162.500	4.225.000
Perfil Cuadrado	6	SACK	27.223	163.338
MotoReductor	1	SEW eurodrive	750.000	750.000
Water Swivel	1	Burovik	548.842	548.842
Cabrestante	1	Prowinch	130.400	130.400
MotoBomba	1	Humboldt	139.990	139.990
Manguera Succión	3	Motobombas.cl	4.046	12.138
Manguera Descarga	5	Motobombas.cl	2.142	10.710
Tuerca Storz	2	Sodimac	18.890	37.780
Tuerca Storz	1	Sodimac	10.590	10.590
Generador	1	Sodimac	224.900	224.900
Herramienta 4 1/2"	1	Burovik	200.625	200.625
Herramienta 6"	1	Burovik	188.750	188.750
Estructura	1	TallerMecanic	450.000	450.000
			Total [\$]	8.983.063

¹⁵ Tabla de vida útil de bienes físicos del SII para perforadoras en la industria de la construcción.

Tabla 5.4 Cotizaciones para máquina de mercado

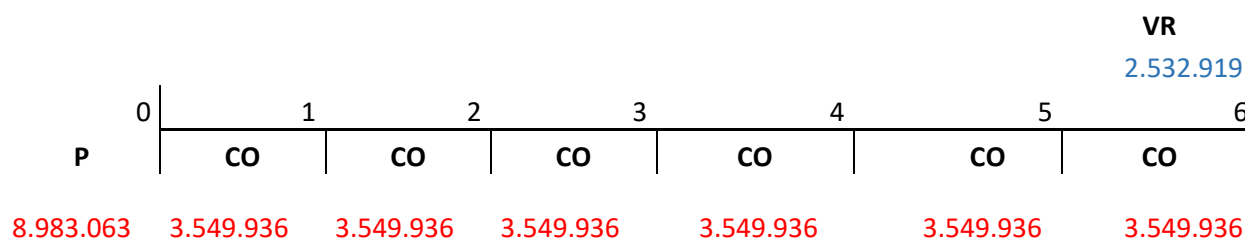
Productos de Mercado				
Artículo	Cantidad	Proveedor	Valor + IVA [\$]	Valor total [\$]
Perforadora	1	Lobos perforadoras	9.520.000	9.520.000

5.1.4.1 CAE máquina a construir

Tabla 5.5 Valores para CAE proyecto

Inversión [\$]	8.983.063
Costo operacional [\$] ¹⁶	3.549.936
Vida Útil [años]	6
Valor residual (30%) [\$]	2.532.919
Tasa de interés (Ti)	0.12
Factor de anualidad	4.11
Factor de valor actual	0.51

Figura 5.2 CAE máquina a construir para un periodo de 6 años.



$$FA = \frac{1}{(1 + 0,12)^1} + \frac{1}{(1 + 0,12)^2} + \frac{1}{(1 + 0,12)^3} + \frac{1}{(1 + 0,12)^4} + \frac{1}{(1 + 0,12)^5} + \frac{1}{(1 + 0,12)^6}$$

¹⁶ Detalle costos operacionales en Anexo A

$$FA = 0,89 + 0,79 + 0,71 + 0,63 + 0,56 + 0,5$$

$$FA = 4,08$$

$$FV = \frac{1}{(1 + 0,12)^6}$$

$$FV = 0,51$$

$$VA = 8.983.063 + 3.549.936 * 4,08 - 2.532.919 * 0,51$$

$$VA = 21.935.013$$

$$CAE = \frac{22.175.013}{4,08}$$

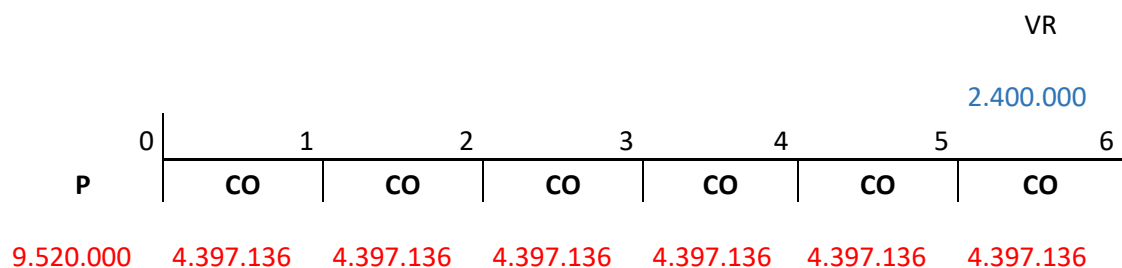
$$CAE = 5.435.052$$

5.1.4.2 CAE maquina en mercado

Tabla 5.6 Valores para CAE máquina de mercado

Inversión [\$]	9.520.000
Costo operacional [\$] ¹⁷	4.397.136
Vida Útil [años]	6
Valor residual (30%) [\$]	2.400.000
Tasa de interés (Ti)	0.12
Factor de anualidad	4.11
Factor de valor actual	0.51

Figura 5.3 CAE máquina de mercado para un periodo de 6 años.



$$FA = \frac{1}{(1 + 0,12)^1} + \frac{1}{(1 + 0,12)^2} + \frac{1}{(1 + 0,12)^3} + \frac{1}{(1 + 0,12)^4} + \frac{1}{(1 + 0,12)^5} + \frac{1}{(1 + 0,12)^6}$$

$$FA = 0,89 + 0,79 + 0,71 + 0,63 + 0,56 + 0,5$$

$$FA = 4,08$$

$$FV = \frac{1}{(1 + 0,12)^6}$$

¹⁷ Detalles costos operacionales Anexo B

$$FV = 0,51$$

$$VA = 9.520.000 + 4.397.136 * 4,08 - 2.400.000 * 0,51$$

$$VA = 26.236.314$$

$$CAE = \frac{26.236.314}{4,08}$$

$$CAE = 6.430.469$$

Con un CAE obtenido menor que el de una maquina presente en el mercado, se determina que la construcción de la máquina para perforar pozos del presente proyecto es favorable económicamente.

Capítulo 6 CONCLUSIONES

En la presente habilitación profesional, se ha analizado técnica y económicamente el diseño de una máquina perforadora de pozos que sea capaz de acceder a los sectores rurales de las regiones del país, se estableció una metodología de trabajo, la cual comenzó con la investigación, desarrollo y satisfacción de los requerimientos necesarios para realizar dichas perforaciones.

En una primera instancia, se determinó como objetivo principal utilizar un sistema hidráulico para cumplir con las necesidades de diseño de la perforadora, siendo eventualmente descartado debido a su alto costo y a la complejidad de desarrollar dicho sistema. En su remplazo se seleccionó un sistema mecánico compuesto por un motor eléctrico y reductor, menos complejo y considerablemente menos costoso.

En relación con los requerimientos necesarios para desarrollar las perforaciones, gracias a la literatura presente en la actualidad, derivada de la ciencia de las perforaciones de yacimientos petroleros, se determinaron los requerimientos mínimos de trabajo y energía para poder realizar perforaciones de hasta 40 metros y diámetro máximo de 6 pulgadas. Estos requerimientos correspondían a una potencia de 9 Hp y a un empuje mínimo de 1.539 Kg. Si bien este valor de empuje mínimo no se alcanzara en las condiciones iniciales de las perforaciones, eventualmente se verá disminuido gracias a la acción rotatoria de la herramienta, a los lodos de perforación, y trépanos compactos con terminación en punta.

Con respecto al análisis de esfuerzos en la estructura, en una primera instancia se planteó una estructura a analizar siendo totalmente rechazada debido a que no cumplía con el criterio de factor de diseño. Ante esta situación se planteó un nuevo diseño de estructura, la cual poseía una conformación estilo Viga Pratt conformada por perfiles cuadrados huecos de medidas 50x50x5 milímetros, la que permitió la correcta distribución de las cargas aplicadas, reduciendo los desplazamientos y los esfuerzos máximos. Esto dio como resultado que la estructura cumpliera con el criterio de diseño y sea seleccionada como la estructura correcta para satisfacer las necesidades de diseño.

Gracias a la utilización del software Simulation Mechanical el cálculo de los esfuerzos en los elementos analizados se resolvió de manera simple y confiable.

En relación a las situaciones analizadas en las estructuras, se determinó que el valor máximo de esfuerzos y desplazamientos eran producidos cuando el carro de perforación se encontraba en la parte superior del bastidor y disminuían a medida que decencia por este. Si bien en un principio los esfuerzos máximos obtenidos resultaban excesivos para las primeras simulaciones, estos se vieron considerablemente disminuidos al rigidizar el bastidor cambiando la configuración de la estructura.

En el análisis económico, se determinó que la inversión necesaria para realizar este proyecto bordea un monto total de CLP\$ 8.700.000. Al desarrollar la metodología CAE se determinó que el diseño propuesto es favorable económicamente en comparación con alternativas presentes en el mercado actual.

BIBLIOGRAFIA

[1] Manual de Perforación y Voladura de Rocas, Instituto Tecnológico Geominero España, Segunda Edición, 1987.

[2] Atlas del Agua, DGA, Chile 2016.

[3] Pozos profundos, Gobierno de Chile Ministerio de Agricultura, agosto 2000.

[4] Preparación de equipo de perforación manual, Educar Chile.

[5] Diseño de elementos de máquina, Cuarta edición, Robert L. Mott, P.E.

[6] Manual de Agua Subterránea, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, Montevideo Uruguay 2012.

[7] Manual de Pozos Rasos, José Antonio Chico Romero, 1977.

[8] La Ciencia del Agua para Escuelas, USGS.

ANEXO A: Costos anuales y operacionales del proyecto

Costos Operacionales [\$/h]				
Ítem	cantidad	Parámetro	Valor [\$/h]	Valor Total [\$/h]
Operadores	2	Costo HH	1.400	2.800
Consumo Motobomba	1.8	lts	709	1.276
Consumo Generador	1.5	lts	709	1.064
Agua	1	m3	1200	1.200
			Total [\$/h]	6.340

Costos Anuales				
Ítem	Cantidad	parámetro	Valor [\$/año]	Valor total [\$/año]
Operacional	520	Horas	6.340	3.296.644
Mantenición	3	% inversión	8.443.063	253.292
			Total [\$/año]	3.549.936

ANEXO B: Costos anuales y operacionales de maquina presente en el mercado

Costos Operacionales [\$/h]				
Ítem	cantidad	parámetro	Valor [\$/h]	Valor Total [\$/h]
Operadores	2	Costo HH	1.400	2.800
Consumo Motobomba	1.8	lts	709	1.276
Consumo Generador	3.4	lts	709	2.411
Agua	1	m3	1200	1.200
			Total [\$/h]	7.687

Costos Anuales				
Ítem	Cantidad	parámetro	Valor [\$/año]	Valor total [\$/año]
Operacional	520	Horas	7.687	3.997.136
Mantenición	5	% inversión	8.000.000	400.000
			Total [\$/año]	4.397.136

ANEXO C-1: Cotización

Google

Haz clic aquí si quieres habilitar las notificaciones de escritorio para Gmail. Más información Ocultar

Gmail - 9 de 494

REDACTAR

Recibidos (261)

Destacados

Importantes

Enviados

Borradores (4)

Personal

Viaje

Más -

sebaibf +

No tienes contactos de Hangouts [Buscar a alguien](#)

sebaibf <sebaibf@gmail.com> para Chile

21 ago. ☆ ↶ ↷

Chile Drills Equipos
chiledrills@gmail.com

Mostrar detalles

Estimado Ignacio:
Agradezco la cotización, además solicito información sobre el tipo de acero (SAE/ASTM/AISI) para realizar simulaciones de carga.
Atentamente Sebastian.

El 21 de agosto de 2017, 16:17, Chile Drills Equipos <chiledrills@gmail.com> escribió:
Estimado SR:
Barra DTH 1.5mt. 76mm. API 23/8 Termofusionada: \$162.500 más IVA por unidad.
Atentamente:
Ignacio Lobos.

El 18 de agosto de 2017, 15:19, <sebaibf@gmail.com> escribió:
Este mensaje fue escrito por Sebastian Bermedo desde concepcion, chile.
E-Mail: sebaibf@gmail.com
Teléfono: 981413185
Empresa:
Estimados, necesito una cotización de barras de perforación:
Diámetro: 60.3mm
espesor: 7.11mm
Largo: 1.5m (30 unidades)
Grado E Norma Apl.
saludos.

ANEXO C-2: Cotización

Google

Haz clic aquí si quieres habilitar las notificaciones de escritorio para Gmail. Más información Ocultar

Gmail - 13 de 494

REDACTAR

Recibidos (261)

Destacados

Importantes

Enviados

Borradores (4)

Personal

Viaje

Más -

sebaibf +

No tienes contactos de Hangouts [Buscar a alguien](#)

cotización Recibidos x

Sindy Magdalena Bello Valdebenito <sindy.bello@sack.cl> para mí

18 ago. ☆ ↶ ↷

Sindy Magdalena Bello Val...
sindy.bello@sack.cl

Mostrar detalles

Estimado, buenas tardes, envío valor de material consultado.
Cuad. 50x50x5mmx6mt Acero: A37-24Es, 6 barras (36m). \$ 27.223 c.u. mas iva
Precios más iva, sujetos a alza de fabrica.
Esta cotización no asegura stock ni precios.
Material puesto en nuestra bodega.
Quedo atenta a sus comentarios.
Atte.

Sindy Bello Valdebenito *Horario de Atención Continuada*
Ejecutiva de Ventas *Lunes a Viernes desde las 08:45 Hrs. a 18:15 Hrs.*
sindy.bello@sack.cl





41 - 291 01 05
41 - 291 01 06
41 - 291 01 08
41 - 291 01 09
Anexo: 414
Cruz N° 785
Concepción, Chile

"SR CLIENTE: EL RETIRO DE MATERIAL DE 7 A 12 METROS DEBE REALIZARSE EN CAMION CON RAMPLA. NO SE HACEN EXCEPCIONES".

ANEXO C-3: Cotizacion

Categorías Productos Buscar por código/nombre/descripción Q

Carro compras




Item		Cantidad	Precio	Dcto	Subtotal	
	OLEVCP004 VALVULA SOBREPRESION CONEX. 1-2 REG. 880-2220 PSI 12 GPM MODELO ARE-15-150 MARCA ATOS	1	\$ 163.003	0%	\$ 163.003	BORRAR
	OLEBOM011 BOMBA ENGRANAJE SIMPLE 27CM3-REV 250 BAR 1 X 3-4 EJE CONICO 7-8 MOD. 3PF27 L03 Z05 R SS	1	\$ 158.769	0%	\$ 158.769	BORRAR
	OLEMOT062 MOTOR ORBITAL MODELO 109-1052_310 Cm3-R_ DIA. Del eje 1_ Straight_ DIA. Del Port 1-1-16	1	\$ 413.606	0%	\$ 413.606	BORRAR
	OLEVDE229 VALVULA DIRECCIONAL MANUAL CETOP 3 4-3 CENTRO CERRADO PALANCA DG17V3-2N	1	\$ 76.962	0%	\$ 76.962	BORRAR

NETO: \$ 812.340
LV.A.: \$ 154.345
TOTAL: \$ 966.685

CONTINUAR

ANEXO C-4: Cotización

Vendedor **stani-lukas** (15★)
Solicitar total al vendedor

	<p>Drill Bit Para Pozo De Agua Perforación Rigs Arrastre Bit 5-7/8\" 150mm</p> <p>Estado: New</p>	<p>Cantidad: <input type="text" value="1"/></p>	<p>US \$219.00</p> <p>Envío económico + US \$102.00</p> <p>Economy International Shipping</p>
<p>Eliminar Guardar para después</p>			
	<p>Drill Bit Para Pozo De Agua Perforación Rigs Arrastre Bit 4-7/8\" 125mm</p> <p>Estado: New</p>	<p>Cantidad: <input type="text" value="1"/></p>	<p>US \$206.00</p> <p>Envío económico + US \$96.00</p> <p>Economy International Shipping</p>
<p>Eliminar Guardar para después</p>			
	<p>Giratorio Para Pozo De Agua Perforación Rigs</p> <p>Estado: New</p>	<p>Cantidad: <input type="text" value="1"/></p>	<p>US \$533.00</p> <p>Envío económico + US \$321.00</p> <p>Economy International Shipping</p>
<p>Eliminar Guardar para después</p>			

Subtotal (3 artículos): US \$958.00

Envío a CL US \$519.00

Total: US \$1 477.00

Total: US \$1 477.00

Completar transacción

ebay DEVOLUCIÓN DE TU DINERO

Cubre el precio de compra y el de envío de prácticamente todos los artículos. Si no obtienes el artículo que pediste, te devolvemos el dinero. [Más información](#)

Acerca de tu carro de compras

- [▶ Los artículos guardados en mi carro de compras, ¿están reservados para mí exclusivamente?](#)
- [▶ ¿Por qué los artículos que gano en subastas o que adquiero con la opción Mejor oferta están en mi carro de compras?](#)
- [▶ ¿Dónde puedo ver los artículos por los que oferté?](#)
- [▶ Si compro artículos a varios vendedores, ¿tengo que realizar pagos separados?](#)
- [▶ ¿Puedo hacer un solo pago por artículos que haya comprado a más de un vendedor o de diferentes tipos de transacciones?](#)

ANEXO C-5: Cotización

Motobomba Gasolin 2" 5,5 Hp Toyama

SKU: 275555-6 [f](#) [t](#) [i](#)



ⓘ Precio corresponde a tienda: **Sodimac Homecenter Cerrillos**. El precio puede cambiar al modificar la ciudad de despacho o retiro.

\$ 138.990 C/U

Acumulas: 926 CMR Puntos

Cantidad

+ -

Agregar al carro

[Agregar a mi lista](#)

Calcula el valor de tu cuota CMR

Costo Total Crédito: \$138.990
CAE: 0.00%

N° de cuotas

+ -

Valor cuotas

MÉTODOS DE ENVÍO Y RETIRO

Despacho a domicilio

[Ver opciones](#)

Retiro en tienda

[Ver opciones](#)

Disponibilidad en tiendas

No Disponible

ANEXO C-6: Cotización

Equipo de Perforación de Pozos Profundos modelo w9000

Perforadoras de Pozos Profundos LOBOS <perforadoras.lobos@gmail.com> para Gianni 26 ago. (hace 10 días)

Estimado SR:

Junto con saludarte, agradeciendo tu interés en nuestros equipos, es un agrado ofrecerte nuestro equipo w9000; este modelo, es práctico, fácil de aplicar, hidráulico, tanto en su función de rotación como así como el levante y descenso de las barras de perforación, permite trabajar en pozos en profundidades máximas de 40 a 50 (m), dependiendo del tipo de suelo (factor siempre a considerar), y otros factores, tales como la pericia del operador, tipo de herramienta, y otros detalles. El equipo se entrega completo, con todas sus partes, listo para su operación; lo que se encuentra descrito en el documento técnico que adjunto en el presente, lo importante mencionar es que una vez adquirido el equipo, viajamos a terreno con el fin de capacitar en la operación y aplicación del equipo, de tal forma de forma práctica podamos ver la operación y técnicas aplicadas en cada caso; por supuesto que el equipo está Garantizado por el lapso de 1 año en sus componentes, defectos que sean atribuibles a fallas en fabricación o montaje, pero más que eso, te brindamos en nuestra calidad de fabricantes, con mas de 13 años presentes en el mercado Chileno, todo el apoyo a tu proyecto.

Algunas de las bondades del equipo w9000 es su fácil transporte, bajo costo operacional y de mantención; el rodado posee suspensión, tapabarros, luces reglamentarias, todo lo necesario para su traslado de forma segura. Su instalación en terreno es rápida, y permite trabajar en espacios confinados, donde otros equipos de mayor envergadura no pueden.

Los métodos de perforación aplicables para este equipos son de rotación con inyección directa de lodos/agua, o bien con sistema de roto percusión (aire), que acciona un martillo de fondo, de tal manera poder perforar en terrenos con mayor dureza o dificultad.

El equipo tiene un valor original de \$8.000.000 más IVA, pudiendo en estos momentos de hacer un descuento, con un plazo de entrega en 30 días.

Quedo atento a tus pronto comentarios.

Ignacio Lobos Mena
Gerente General
Dirección: Lo Gamboa #245 Gallón N°1
Quilpué - Región de Valparaíso - Chile
Fono: (+56 32 3204184) - (+56 9 99552036)
Web: www.perforadoras.cl

ANEXO C-7: Cotización

Winch ATV Prowinch 3000lb (1361 kg) 12V Solo Arrastre.
(Codigo:PWLD3000AI1 2V)

Winches Huinches Incluye control para el volante. Diseñ±o USA Fabricado RPC. Solo Arrastre

Precios Unitarios + IVA. Formas de Pago:

Precio Lista:	\$153.412
Tarjeta o Red Compra:	\$142.673
Efectivo, Deposito o Transferencia:	\$130.400

Ficha Técnica Garantía Manual

ANEXO C-8: Cotización



MC 1200

Código producto: CCU002

Metalcar

El MC 1200 es un carro para trabajo con capacidad máxima de 1200 kg. Cuenta con un chasis robusto, fabricado en acero y forrado con plancha de acero. Las barandas son estructuradas y forradas en plancha lisa plegada lográndose gran firmeza. Esto es fundamental para cargas como sacos o bien para poder amarrar elementos pesados.

El sistema de rodado Dexter Axle asegura un alto desempeño y durabilidad: eje, masas, rodamientos son fabricados en Estados Unidos, con los altos estándares de seguridad del mercado de trailers americano. Estas características hacen del MC 1200 un carro contundente y duradero, apto para trabajos de todo tipo.

El remolque tiene las siguientes características en su versión estándar:

- Mano de acople 2"
- Focos triples
- Enchufe europeo 7 pins
- Suspensión: Ballesta

Cualquiera de estas características puede cambiarse para adaptarse al vehículo tractor. Contáctenos para resolver cualquier duda. Consulte por plazos de entrega.

PRECIO NORMAL **\$1.890.000**

CANTIDAD

ANEXO D: Propiedades Barras API grado E

PERFORATOR® Drill Pipe and Tool Joint Grades

Drill Pipe		Friction welded Tool Joints	
Internal Upset	IU	Numbered Connections	NC
External Upset	EU	Internal Flush	IF
Internal-External Upset acc. to API Spec. 5DP	IEU	Full Hole	FH

Additional requirements can be designed and supplied on request.

DRILL PIPE AND TOOL JOINT GRADES

Mechanical properties of API drill pipe grades					
Grade	Yield strength		Tensile strength	Elongation ¹ in 2 inches % min.	API
	psi N/mm ² min.	psi N/mm ² min.			
E-75	75 000 515	105 000 725	100 000 690	see footnote	Spec. 5DP
X-95	95 000 655	125 000 860	105 000 725		Spec. 5DP
G-105	105 000 725	135 000 930	115 000 795	see	Spec. 5DP
S-135	135 000 930	165 000 1140	145 000 1000	see	Spec. 5DP

Mechanical properties of API tool joint grades					
Yield strength	Tensile strength		Elongation	Box Hardness Brinell min.	API
	psi N/mm ² min.	psi N/mm ² max.			
120 000 827	140 000 965	165 000 1138	13	285	Spec. 5DP

¹ The minimum elongation in 2 inches (50.80 mm) shall be that determined by the following formula:

$$e = 625,000 \frac{A^{0.15}}{U^{0.15}}$$

where:

- e = minimum elongation in 2 inches (50.80 mm) in percent rounded to nearest 1/2 percent.
- A = cross sectional area of the tensile test specimen in square inches, based on specified outside diameter or nominal specimen width, and specified wall thickness, rounded to the nearest 0.01 sq.in., or 0.75 sq.in., whichever is smaller.
- U = specified tensile strength, psi.

4

ANEXO E-1: Plano

ANEXO E-2: Plano

ANEXO E-3: Plano

ANEXO E-4: Diseño Final