

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO- PUNO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MECÁNICA ELÉCTRICA,**  
**ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**



**TESIS**

**“ESTUDIO Y ANALISIS DE UNA PERFORADORA HIDRAULICA  
PARA POZOS DE AGUA EN LA REGION DE PUNO”**

**PRESENTADO POR:**

**HECTOR FELIPE LUQUE SUAÑA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**Puno - Perú**

**2016**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MECÁNICA ELÉCTRICA,**  
**ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**



**TESIS**

**"ESTUDIO Y ANÁLISIS DE UNA PERFORADORA HIDRAULICA  
PARA POZOS DE AGUA EN LA REGION DE PUNO"**

**PRESENTADO POR:**

**HECTOR FELIPE LUQUE SUANA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE.  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PUNO, PERÚ**  
**2016**

## *Universidad Nacional del Altiplano*

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y SISTEMAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

### “ESTUDIO Y ANALISIS DE UNA PERFORADORA HIDRAULICA PARA POZOS DE AGUA EN LA REGION DE PUNO”

TESIS PRESENTADA POR:

HECTOR FELIPE LUQUE SUAÑA


PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

:

  
M.Sc. JUAN RENZO ILLACUTIPA MAMANI

PRIMER MIEMBRO

:

  
M.Sc. JOSÉ MANUEL RAMOS CUTIPA

SEGUNDO MIEMBRO

:

  
Ing. MARCOS JOSÉ VILLANUEVA CORNEJO

DIRECTOR

:

  
M.Sc. LEONARDO PAYE COLQUEHUANCA

ASESOR

:

  
M.Sc. JOSÉ ANTONIO VARGAS MARÓN

PUNO – PERÚ  
2016

**Área:** Mecánica

**Tema:** Diseño y Construcción de Maquinas

## DEDICATORIA

El presente trabajo dedico a dios, por haberme dado la vida y permitirme llegar hasta este momento muy importante de mi formación profesional. A mi madre Doña Teodocia Suaña y a mi padre Don Tomas Luque, que me supieron brindar su cariño, amor, paciencia en cada dificultad que se me presento en el transcurso de este camino, teniendo como siempre su apoyo incondicional; me han enseñado cada uno de los valores esenciales que una persona deba tener, como el respeto, la humildad, la sencillez y sobre todo la perseverancia para alcanzar los objetivos planteados, y dando gracias a Dios por tenerlos junto a mí. A mi hermano Yhony, quien me enseñó a poner empeño y luchar por las cosas que uno se plantea en la vida, que siempre está para escucharme, aconsejándome para ser mejor cada día. A todas mis hermanas y seres queridos que siempre han estado pendientes de mi para culminar este proyecto.

A todos mis amigos y compañeros, que han estado en los momentos más difíciles de mi carrera, brindándome, su confianza para alcanzar este sueño de ser un profesional.



## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la sabiduría y paciencia para conseguir mi meta, ser persona íntegra día a día. A mi familia y seres queridos por ser la razón de alcanzar un ideal.

A la institución, la Universidad Nacional del Altiplano, especialmente a la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, por acogerme en sus aulas y brindarme una educación completa.

A los compañeros, amigos de carrera por darme su apoyo para seguir con pasos firmes hacia los objetivos planteados.

A toda la plana docente, por todos sus conocimientos impartidos y el estímulo para culminar de la mejor manera este proyecto.

**Hector Felipe Luque Suaña.**

**ÍNDICE**

<b>RESUMEN</b> .....	<b>14</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>15</b>
<b>INTRODUCCION</b> .....	<b>16</b>
<b>1.... PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>19</b>
1.1 DESCRIPCION DE PROBLEMA.....	19
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	20
1.2.1 PROBLEMA GENERAL .....	20
1.2.2 PROBLEMA ESPECÍFICO.....	20
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	21
1.3.1 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	21
1.3.2 JUSTIFICACION ECONÓMICA .....	21
1.3.3 JUSTIFICACION SOCIAL .....	21
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	22
1.4.1 OBJETIVO GENERAL .....	22
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	22
<b>2.... MARCO TEORICO</b> .....	<b>24</b>
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
2.2 ASPECTOS GENERALES DE CAPTACIONES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	25
2.2.1 AGUAS SUBTERRANEAS EN LA VERTIENTE DEL LAGO TITICACA .....	27
2.2.2 CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS EN LA REGIÓN PUNO .....	27
2.2.2.1 FORMACIÓN DE SUELOS ROCOSOS.....	28
2.2.2.2 COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS.....	29
2.2.3 COLUMNA HIDROGEOLÓGICA EN LA REGIÓN PUNO.....	30
2.2.4 SONDEOS GEOTÉCNICOS .....	31
2.2.4.1 POZOS.....	31
2.2.4.2 SONDEOS .....	31
2.2.4.3 TÉCNICAS DE SONDEOS .....	31
2.2.4.4 SONDEOS A PERCUSIÓN.....	32
2.2.4.5 SONDEOS A ROTACIÓN .....	32
2.2.4.6 SONDEOS DE ROTO PERCUSIÓN.....	33
2.3 ASPECTOS GENERALES DE EQUIPOS DE PERFORACIÓN.....	34
2.3.1 SISTEMA DE PERFORACIÓN HIDRÁULICA DE POZOS DE AGUA .....	34
2.3.2 UNIDAD DE POTENCIA. ....	38
2.3.3 BASTIDOR O TORRE DE PERFORACIÓN.....	39
2.3.4 SISTEMA DE EMPUJE Y ELEVACIÓN. ....	41
2.3.5 SISTEMA DE ROTACIÓN.....	41
2.3.6 BARRAS DE EXTENSION.....	42
2.3.7 BROCAS O TREPANO TRICONO.....	43
2.3.8 BOMBA DE LODOS.....	44
2.3.9 FLUIDOS Y ADITIVOS DE PERFORACIÓN.....	45

2.3.10	VARIABLES DE PERFORACIÓN .....	46
2.3.10.1	EMPUJE SOBRE LA BROCA .....	46
2.3.10.2	VELOCIDAD DE ROTACION.....	48
2.3.10.3	DESGASTE DE LA BROCA DE PERFORACIÓN.....	49
2.3.10.4	DIÁMETRO DE PERFORACIÓN .....	50
2.3.11	CRITERIOS DE SELECCIÓN DE PERFORADORAS .....	51
2.3.11.1	POTENCIA DE ROTACIÓN .....	51
2.3.11.2	EMPUJE NECESARIO.....	52
2.3.11.3	TIPO DE TRICONO .....	52
2.3.11.4	VELOCIDAD DE PENETRACIÓN.....	53
2.3.11.5	FORMULAS EMPÍRICAS DE ESTIMACIÓN DE LA VELOCIDAD DE PENETRACIÓN .....	54
2.3.12	GLOSARIO DE TERMINOS.....	55
2.3.13	HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....	57
2.3.13.1	HIPÓTESIS GENERAL .....	57
2.3.13.2	HIPÓTESIS ESPECIFICOS .....	57
2.3.14	OPERACIONALIZACION DE VARIABLES .....	58
<b>3...</b>	<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>60</b>
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	60
3.2	DISEÑO DE PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	60
3.3	POBLACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	60
3.4	UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN .....	61
3.4.1	UBICACIÓN GEOGRAFICA.....	61
3.4.2	CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS .....	61
3.4.3	VIAS DE ACCESO PRINCIPALES.....	61
<b>4...</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>63</b>
4.1	ANÁLISIS DEL SISTEMA MECÁNICO .....	63
4.1.1	FUERZA DE EMPUJE .....	63
4.1.2	VELOCIDAD DE ROTACIÓN.....	64
4.1.3	DIAMETRO DE PERFORACIÓN .....	64
4.2	ANÁLISIS DEL BASTIDOR DE PERFORACIÓN .....	64
4.2.1	CARACTERÍSTICAS DEL BASTIDOR DE PERFORACION .....	64
4.2.2	ANÁLISIS DE CARGAS .....	66
4.2.2.1	ANÁLISIS DE CARGAS EXTERNAS APLICADAS AL SISTEMA.....	66
4.2.2.2	ANÁLISIS DE CARGAS INTERNAS APLICADAS AL SISTEMA .....	69
4.2.3	ANÁLISIS DE ESFUERZOS .....	70
4.2.3.1	ESFUERZOS EN LA VIGA CUANDO EL CARRO DESLIZANTE ESTÁ DESCENDIENDO .....	71
4.2.3.2	ESFUERZOS EN LA VIGA CUANDO EL CARRO DESLIZANTE SE ENCUENTRA EN EL CENTRO DE LA VIGA.....	78
4.2.3.3	ESFUERZOS EN LA VIGA CUANDO EL CARRO DESLIZANTE SE ENCUENTRA EN LA PARTE INFERIOR.....	83
4.2.4	ANÁLISIS DE LA TORRE DE PERFORACIÓN .....	88

4.2.5	ANÁLISIS DEL PIN .....	89
4.2.5.1	SELECCIÓN DE MATERIAL DEL PIN .....	91
4.2.6	ANÁLISIS DE LA BROCA DE PERFORACIÓN .....	93
4.2.6.1	ANÁLISIS DE LA FUERZA DE CORTE APLICADA SOBRE LA ROCA .....	93
4.2.6.2	POTENCIA DE ROTACIÓN .....	98
4.2.6.3	CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE PENETRACIÓN.....	98
4.2.7	ANÁLISIS DE TUBERIAS DE PERFORACIÓN. ....	99
4.2.7.1	FUERZAS APLICADAS A LA TUBERÍA DE PERFORACIÓN .....	100
4.2.8	ANÁLISIS DE SISTEMA DE LOS PIÑONES Y LA CADENA .....	105
4.2.9	ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DE PERFORACIÓN .....	109
4.2.10	ANÁLISIS DE SOPORTE DE LA ESTRUCTURA .....	112
4.2.11	ANÁLISIS DEL SISTEMA HIDRAULICO.....	114
4.2.11.1	SELECCIÓN DE LA UNIDAD DE PRESIÓN HIDRÁULICA .....	116
4.2.11.2	SELECCIÓN DEL MOTOR HIDRÁULICO .....	117
4.2.11.3	MOTOR DE ROTACIÓN .....	117
4.2.11.4	MOTOR DE AVANCE .....	117
4.2.11.5	ACCIONAMIENTO DE MOTOR HIDRÁULICO .....	118
4.2.11.6	PANEL DE CONTROL .....	118
4.2.11.7	ELEMENTOS ADICIONALES DEL EQUIPO .....	119
4.2.12	DISEÑO DEL SISTEMA HIDRAULICO .....	119
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>122</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>123</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>124</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>127</b>
	<b>PLANOS DE DETALLE .....</b>	<b>139</b>

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1: Características Físico – Mecánicas de Rocas.....	28
Tabla 2: Composición química del acero AISI /SAE 4340.....	92
Tabla 3: Ángulos de corte.....	94
Tabla 4: Propiedades Mecánica de la tubería de perforación. ....	100
Tabla 5: Coeficiente de mayoracion de potencia transmitida. ....	106
Tabla 6: Selección de Piñones dentados. ....	107

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Captación de aguas subterráneas.....	25
Figura 2: Tipo de columna estratigráfica .....	29
Figura 3: Perforadora hidráulica .....	35
Figura 4: Partes de la unidad de potencia .....	39
Figura 5: Partes de la torre de perforación .....	40
Figura 6: Partes del sistema de empuje y elevación .....	41
Figura 7: Partes de la sarta de perforación .....	43
Figura 8: Broca de perforación cortante, trialeta y multialetas.....	44
Figura 9: Curva de empuje y velocidad de penetración .....	47
Figura 10: Curva de efecto de la velocidad de rotación y velocidad de penetración..	48
Figura 11: Curva de desgaste de la broca sobre la velocidad de penetración .....	50
Figura 12: Variación de velocidad de penetración y diámetro de perforación .....	50
Figura 13: Potencia de rotación y empuje para tipos de roca .....	51
Figura 14: Empuje de y diámetro de perforación.....	52
Figura 15: Estimación de la velocidad de penetración y la resistencia a compresión	55
Figura 16 Perfil rectangular de 6 x 3 x 3/16 Pulgadas .....	65
Figura 17 Posición inicial del sistema de deslizamiento .....	71
Figura 18: Diagrama de cuerpo libre del bastidor de perforación en posición superior ...	71
Figura 19: Diagrama de fuerzas normales .....	74
Figura 20: Diagrama del momento flector .....	74
Figura 21: Diagrama de momento flector .....	75
Figura 22: Factor de seguridad de la viga de acero ASTM A36.....	77
Figura 23: Desplazamiento debido al esfuerzo en la viga de perforación .....	77
Figura 24: Diagrama de cuerpo libre cuando el sistema de deslizamiento se encuentra en la parte central .....	79
Figura 25: Diagrama de fuerzas normales .....	80
Figura 26: Diagrama de fuerzas cortantes .....	80



Figura 27: Diagrama de momento flector .....	80
Figura 28: Factor de seguridad de la viga, esfuerzos en la parte central.....	82
Figura 29: Desplazamiento de la viga, debido a los esfuerzos .....	82
Figura 30: Diagrama de cuerpo libre cuando los esfuerzos se encuentran en la parte inferior.....	84
Figura 31: Diagrama de fuerzas normales .....	84
Figura 32: Diagrama de fuerzas cortantes .....	85
Figura 33: Diagrama de momento flector .....	86
Figura 34: Factor de seguridad de la viga cuando los esfuerzos se encuentran en la parte inferior.....	87
Figura 35: Desplazamiento en la viga, debido a las fuerzas concentradas en parte inferior.....	87
Figura 36: Esfuerzo de Von Mises.....	88
Figura 37: Desplazamiento máximo será en la parte superior .....	88
Figura 38: Diagrama de cuerpo libre para el pin de apoyo de la estructura.....	91
Figura 39: Pin de apoyo a la estructura de la torre.....	92
Figura 40: Fuerzas aplicadas al corte.....	93
Figura 41: Criterio de Von Mises para la broca de perforación .....	96
Figura 42: Desplazamiento máximo debido a las fuerzas de empuje .....	97
Figura 43: Factor de seguridad de la broca de perforación .....	97
Figura 44: Criterio de von mises .....	104
Figura 45: Desplazamiento máximo debido a las fuerzas de rotación y empuje.....	104
Figura 46: Factor de seguridad en la tubería de perforación.....	104
Figura 47: Criterio de von mises aplicado al sistema Piñon - cadena .....	108
Figura 48: Desplazamiento máximo debido a las fuerzas de elevación y empuje ...	108
Figura 49: Factor de seguridad del sistema Piñón - cadena .....	108
Figura 50: Estructura de la máquina de perforación.....	109
Figura 51: Análisis de fuerzas de la estructura.....	109

Figura 52: Criterio de Von Mises para la estructura .....	111
Figura 53: Desplazamiento máximo en el eje vertical .....	111
Figura 54: Factor de seguridad de la estructura de soporte .....	111
Figura 55: Esfuerzo Von Mises.....	113
Figura 56: Desplazamiento máximo en el eje vertical .....	113
Figura 57: Factor de seguridad.....	114
Figura 58: Simbología Hidráulica.....	120
Figura 59: Circuito Hidráulico .....	121

**ÍNDICE DE CUADROS**

Cuadro 1: Características estratigráficas en zonas de la región Puno .....	30
Cuadro 2: Fuerza de empuje mínimo para seleccionar el diámetro de tricono. ....	48
Cuadro 3: Velocidad de rotación para cada tipo de roca.....	49
Cuadro 4: Variables de la máquina de perforación .....	58

**ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo 1: Formación de rocas sedimentarias.....	128
Anexo 2 Velocidad de Perforación.....	129
Anexo 3: Profundidad de la napa freática.....	130
Anexo 4: Propiedades del acero Astm A36, perfil en U. ....	131
Anexo 5: Composición de acero para denominaciones SAE y AISI. ....	132
Anexo 6: Bomba hidráulica de pistones Marca danfos serie 45. ....	133
Anexo 7: Cilindro hidráulico. ....	134
Anexo 8: Motor hidráulico de marcha lenta. ....	135
Anexo 9: Motor con geromotor lento. ....	136
Anexo 10: Válvulas direccionales.....	137
Anexo 11: Peso Unitario de Suelos.....	138

## RESUMEN

En las últimas décadas, la explotación de los recursos hídricos subterráneos, se ha convertido en una excelente alternativa para suplir las necesidades de abastecimiento de agua potable en muchas regiones y para algunos sectores económicos del país. Tal es el caso de la región Puno, que en temporadas de sequía presenta un panorama desolador. Es por ello que se realiza el presente trabajo estudio y análisis de una perforadora hidráulica en la Región de Puno, para su diseño y construcción, el cual permitirá la explotación de los recursos subterráneos. Para ello estudiamos las características de la máquina de perforación y sus parámetros en la región de Puno. Realizando una descripción de las características de las rocas en la zona de estudio, determinaremos los esfuerzos mecánicos para el diseño de una máquina de perforación hidráulica, como la fuerza de empuje, la velocidad de rotación, la velocidad de penetración, y el análisis de los esfuerzos en cada parte de la máquina de perforación, los resultados obtenidos serán la base para el diseño y construcción de la perforadora hidráulica.

**Palabras Claves:** Perforación, hidráulica, esfuerzos mecánicos, agua subterránea.

## ABSTRACT

In recent decades, the exploitation of groundwater resources has become an excellent alternative to meet the needs of drinking water supply in many regions and for some economic sectors of the country. This is the case of the Puno region, which in drought seasons presents a desolating panorama that is why the present work is performed study and analysis of a hydraulic drill in the Puno Region, which will allow the exploitation of underground resources. For this we study the characteristics of the drilling machine and its parameters in the Puno region. By performing a description of the characteristics of the rocks in the study area, we will determine the normal efforts for the design of a hydraulic drilling machine, such as thrust force, rotation speed, penetration velocity, and analysis of The efforts in each part of the drilling machine, the results obtained will be the basis for the design and construction of the hydraulic drilling machine.

**Keywords:** Drilling, hydraulics, mechanical stresses, groundwater.



## INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico en su mayoría de las regiones del Perú, es muy limitado, tal es caso de la región Puno y las cuencas que existen, en donde la población específicamente rural, sufren los estragos del recurso hídrico. Ante este problema, es necesario recalcar que las aguas subterráneas de estas cuencas, cumplen un rol muy importante, sobre todo en la zona rural donde son utilizadas principalmente en los usos doméstico y pecuario en ese orden; de ahí la importancia de la explotación de las aguas subterráneas sobre todo en los años secos, donde estas poblaciones presentan un panorama desolador.

Según (Agricultura, Inventario de fuentes de agua subterránea en la cuenca del río Coata, 2017) El estudio hidrológico para la perforación de pozos tubulares en la región Puno y la evaluación integral de los recursos hídricos en la cuenca del río Ramis y el río Coata, cuyos resultados indican que tienen características hidrológicas favorables para la explotación escalonada, debiéndose alcanzar en algunos casos profundidades de 80m a más. Considerando a la vez las condiciones variables de sedimentación en tiempo y espacio en los lechos de los ríos, que ha dado origen a la conformación de acuíferos conformados por Grava, Arcilla, Arenisca, Lutitas, Limunitas, Limolitas, Limoarcillitas, Cuarzos de Grano Fino, Pizarras, etc. Los que varían en cada localidad, esto refiere a la resistencia a compresión de rocas "Sc", que contiene estas rocas.

El proceso de perforación es la alternativa para la explotación de los recursos subterráneos, el cual, está influenciado por los factores locales como la dureza de las rocas y las condiciones geográficas, su principio básico es el giro constante que produce un corte en el material sedimentado y el empuje adecuado para el avance constante de la perforación.

Bajo las condiciones mencionadas, existen diferentes tipos de perforación y también diferentes tipos de accionamiento, una de las cuales es el objeto de nuestro estudio. La perforación rotatoria requiere de materiales de mayor dureza, en su estructura y soporte, estos a la vez dependen de la broca de perforación para realizar la perforación. Estos procesos, están orientados a mejorar los diseños de perforadoras para su adecuación en los lugares donde se realice la perforación. El presente trabajo de investigación refiere al estudio de cada elemento de la máquina de perforación, teniendo como referencia a grandes compañías de construcción de perforadoras como Atlas Coopco, Ingersoll Rand, Etc.

Esta investigación se presenta mediante el siguiente orden de capítulos. En el **capítulo I**: se describe el planteamiento del problema, donde se exponen la descripción, justificación y objetivos del presente trabajo de investigación para la solución de dicho problema y la importancia del proyecto.

En el **capítulo II**: se detallan las bases teóricas y las distintas variables para la comprensión del estudio, en base a la hipótesis planteada llegar a la solución. En el **capítulo III**: se describe el tipo y diseño del trabajo en base al estudio de la perforadora hidráulica, así también el cálculo de los actuadores del sistema.

En el **capítulo IV**: se procede a realizar el análisis e interpretación de los resultados. Finalmente se presentaran las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1 DESCRIPCIÓN DE PROBLEMA

El agua es un elemento vital para la conservación y desarrollo de todos los seres vivos que habitan el planeta. A pesar que el suministro de agua potable se ha incrementado notablemente como parte vital del desarrollo socio-económico del país, en la actualidad existen grandes grupos poblacionales con carencia de recursos hídricos debido a innumerables factores, entre los que se cuentan los desórdenes climatológicos y contaminación de fuentes superficiales de agua ocasionada por la minería ilegal, la tala indiscriminada de bosques, el inapropiado manejo de las tierras, las grandes demandas del sector agrícola e industrial y el alto crecimiento poblacional. En las últimas décadas, la explotación de los recursos hídricos subterráneos, se ha convertido en una excelente alternativa para suplir las necesidades de abastecimiento de agua potable en muchas regiones y para algunos sectores económicos del país. No obstante, las comunidades más necesitadas, no han tenido acceso a estos recursos, por los altos costos que involucra la construcción de las obras de captación.

Actualmente en la región Puno, como unidad ejecutora tiene varios inconvenientes con la ejecución de los proyectos, especialmente con los procesos de perforación y construcción de pozos tubulares debido a la antigüedad y alto costo de mantenimiento de las maquinarias existentes. Generando un retraso en las obras proyectadas.

En el presente trabajo se plantea el estudio y análisis para una perforadora de pozos de agua, adecuada para los tipos de suelos en la región. Haciendo uso de teorías, cálculos reales y software de aplicación.

## 1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

### 1.2.1 PROBLEMA GENERAL

¿En qué medida el estudio y análisis de una perforadora hidráulica para pozos de agua, permitirá a los usuarios de zonas sin abastecimiento, que no han tenido acceso a estos recursos, la explotación de los recursos hídricos subterráneos?

### 1.2.2 PROBLEMA ESPECÍFICO

¿En qué medida el conocimiento de los componentes, tales como la unidad de potencia, bomba hidráulica principal, unidad de empuje y arrastre, unidad de rotación, bastidor o torre de perforación, tubería o varillaje de perforación, broca o trepano, bomba para circulación de lodos y la estructura de soporte y transporte permitirá el análisis y la selección adecuada para el desarrollo de la máquina de perforación adecuada?

¿En qué medida el análisis de esfuerzos en el bastidor de perforación, en la tubería o varillaje de perforación, en la broca y en la estructura de soporte y transporte de la máquina, permitirá determinar las fuerzas hidráulicas necesarias para obtener el movimiento de los actuadores hidráulicos como son, la unidad de rotación, la unidad de empuje y arrastre y el pistón hidráulico para posicionar e bastidor en dirección vertical?

### **1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

Al momento en la región Puno se cuenta con maquinaria antigua y con problemas de mantenimiento, así también están las perforadoras artesanales que no garantizan la culminación de las obras. Puesto que es una necesidad fundamental en el desarrollo y ejecución de sus proyectos. Debido a esta situación se busca generar un estudio de un nuevo modelo de máquina de perforación rotatoria adecuada para los lugares accidentados y rocosos, como una alternativa de solución, mediante un sistema rápido y eficaz, aplicando los conceptos seguridad, calidad y productividad para evitar tiempos muertos en las obras y eliminar las esperas innecesarias.

#### **1.3.2 JUSTIFICACION ECONÓMICA**

El costo que representa el estudio y análisis de la máquina de perforación con relación a los materiales y mano de obra locales es considerablemente menor, frente al elevado costo de maquinaria importada de países desarrollados, considerando el tiempo de respuesta para hacer posible la decisión de emprender este proyecto.

#### **1.3.3 JUSTIFICACION SOCIAL**

El proyecto que se realizó, contará con todas las características técnicas para el desarrollo y construcción de la máquina de perforación de manera eficiente, una vez tomado en cuenta para su implementación, beneficiara a la población de la región, en la realización y culminación de los proyectos de inversión.



## 1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el estudio y análisis de un tipo de perforadora hidráulica para pozos de agua, adecuado a las condiciones geológicas y geográficas de la región Puno.

### 1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Estudio de una perforadora hidráulica, que permita que pueda ser empleada en la construcción de pozos en la región con un diámetro promedio de 150 mm y con un alcance máximo de 60 m de profundidad.
- b) Estudio de los componentes, tales como la unidad de potencia, bomba hidráulica principal, unidad de empuje y arrastre, unidad de rotación, bastidor o torre de perforación, tubería o varillaje de perforación, broca o trepano, bomba para circulación de lodos y la estructura de soporte y transporte, para permitir el análisis y la selección adecuada de los mismos.
- c) Análisis de esfuerzos en el bastidor de perforación, en la tubería o varillaje de perforación, en la broca y en la estructura de soporte y transporte de la máquina, para permitir determinar las fuerzas hidráulicas necesarias para obtener el movimiento de los actuadores hidráulicos como son, la unidad de rotación, la unidad de empuje y arrastre y el pistón hidráulico para posicionar e bastidor en dirección vertical.

## CAPÍTULO II

## MARCO TEORICO

### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Arellano, R.C. (2014). Diseño y construcción de una máquina perforadora de suelo para anclajes de diámetro 32 x 12000 mm de largo para la estabilización de taludes, el objetivo de esta tesis es el desarrollo de una máquina de perforación para suelos, de la tesis se llega a concluir que el resultado obtenido es satisfactorio, y el desarrollo es factible en cuanto a los costos y materiales.

El estudio hidrológico para la perforación de pozos tubulares en la zona de Lampa, (Agricultura, Inventario de fuentes de agua subterránea en la cuenca del río Coata, 2007), el cual señala áreas favorables para la perforación de nuevos pozos que deberán hacerse en forma escalonada, los pozos deberán estar a una distancia entre sí de 500m. y debiéndose alcanzar profundidades de 80m a más, menciona también que la localización de los referidos pozos han sido efectuado tomando en consideración los trabajos específicos realizados en el área de geofísica, que representa un método indirecto y de aproximación para definir las características geométricas y litológicas del acuífero.

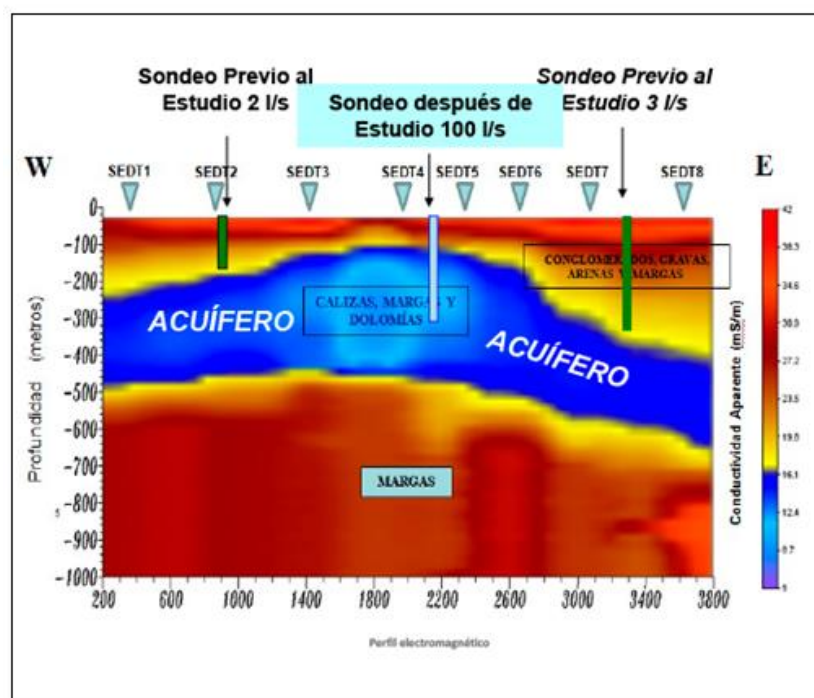
La evaluación de recursos hídricos de la cuenca del río Ramis, (Agricultura, Inventario de fuentes de agua subterránea en la cuenca del río Coata, 2007), el cual indica las características geológicas y geomorfológicas de los afloramientos rocosos y rocas intrusivas.

El estudio geofísico Hidrogeológico de Santiago de Pupuja, (PRORRIDRE, 2013) en donde los resultados de prospección geofísica exploratoria y la investigación hidrogeológica subterránea, mediante cortes o secciones, indica la altura en que se encuentra la presencia de aguas subterráneas.

## 2.2 ASPECTOS GENERALES DE CAPTACIONES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Según (PIMIENTA, 1980, pág. 97), Las aguas subterráneas en su mayoría tienen un origen como agua meteórica producida por las precipitaciones en forma de lluvia o nieve. El resto de las precipitaciones es resultante de la evaporización y de la transpiración de las plantas que luego es filtrado en el terreno, primero retenido fijamente en el suelo seco formando una película en la superficie y posteriormente en el micro-poro de las partículas de dicho suelo.

Figura 1: Captación de aguas subterráneas.



Fuente: <http://buscaraquasubterranea.com> (2016)

(PIMIENTA, 1980, pág. 29), Las películas de agua llegan a cubrir las partículas sólidas sin embargo el aire todavía está presente en las zonas porosas del suelo la cual es llamada zona insaturada o de aireación, y en este caso el agua que se puede encontrar ahí es conocida como agua gravitacional. En profundidades menores y disponiendo de una cantidad de volumen de agua adecuada, es rellenado todos los huecos y se obtiene una zona de saturación, en la cual se puede encontrar a un nivel mayor la mesa de agua o nivel freático conocido también como nivel del acuífero. Con todo esto, esta zona de saturación es denominada como agua subterránea.

(PIMIENTA, 1980, pág. 15) La estructura del suelo y la porosidad presente determinan la clase o tipo de acuífero y también de la circunvalación de las aguas subterráneas, ya que esta puede circular y llegar a almacenarse alrededor de todo el estrato geológico, por ejemplo se tienen los suelos arenosos, los de piedra y aluvión. Al circular las aguas subterráneas también se pueden almacenar en fallos o fisuras dispersas pertenecientes a las rocas compactas, aquellas que no llegan a ser permeables.

(PIMIENTA, 1980, pág. 179), En todo el mundo se puede estimar que un aproximado de 3% del agua total es dulce, de lo cual el 95% lo constituyen las aguas superficiales, un 3.5% lo hacen las aguas subterráneas, y el 1.5% corresponde a la humedad acumulada en los suelos. Entendiendo también el hecho de que en Sudamérica se halla el 29% de agua dulce que hay en disposición en el mundo, de lo cual la mayor cantidad de estas son aguas subterráneas y en este caso la solución que se presenta al problema de la actual escasez de este recurso hídrico,

### **2.2.1 AGUAS SUBTERRANEAS EN LA VERTIENTE DEL LAGO TITICACA**

Según (ALT, 2016), En esta vertiente, se deposita la totalidad de sus aguas, de doce ríos principales y es compartida por Perú y Bolivia, considerando la superficie del lago, que se halla a una elevación promedio de 3809 msnm. La explotación de aguas subterráneas, dependen fundamentalmente de las características sedimentológicas de los acuíferos (hidrogeología), de sus condiciones hidrodinámicas y de las condiciones de recarga y descarga.

Los acuíferos más importantes se localizan en las cuencas medias y bajas de los ríos Ramis y Coata, en la cuenca baja de llave y en una faja que se extiende, bordeando la cordillera oriental, desde el lago Titicaca hasta Oruro.

### **2.2.2 CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS EN LA REGIÓN PUNO**

Según el Informe (Agricultura, Inventario de fuentes de agua subterránea en la cuenca del río Coata, 2017), Los terrenos del Cuaternario son variables, según el desarrollo de cada cuenca como consecuencia de los procesos de erosión, transporte y sedimentación. Las investigaciones permiten señalar que los depósitos aluviales de interés geológico no superan los 150 metros de profundidad, de los cuales los primeros 60 a 80 metros presentan las mejores condiciones para el aprovechamiento de los recursos hídricos subterráneos, como lo demuestran algunas perforaciones existentes en algunas regiones altiplánicas de Perú y Bolivia.



### 2.2.2.1 FORMACIÓN DE SUELOS ROCOSOS

Suelos, es la capa más superficial de la corteza terrestre, que resulta de la descomposición de las rocas por los cambios bruscos de temperatura y por la acción del agua, del viento y de los seres vivos. Son muchos los procesos que pueden contribuir a crear un suelo particular, algunos de estos son la deposición eólica, sedimentación en cursos de agua, meteorización y deposición de material orgánico.

*Tabla 1: Características Físico – Mecánicas de Rocas.*

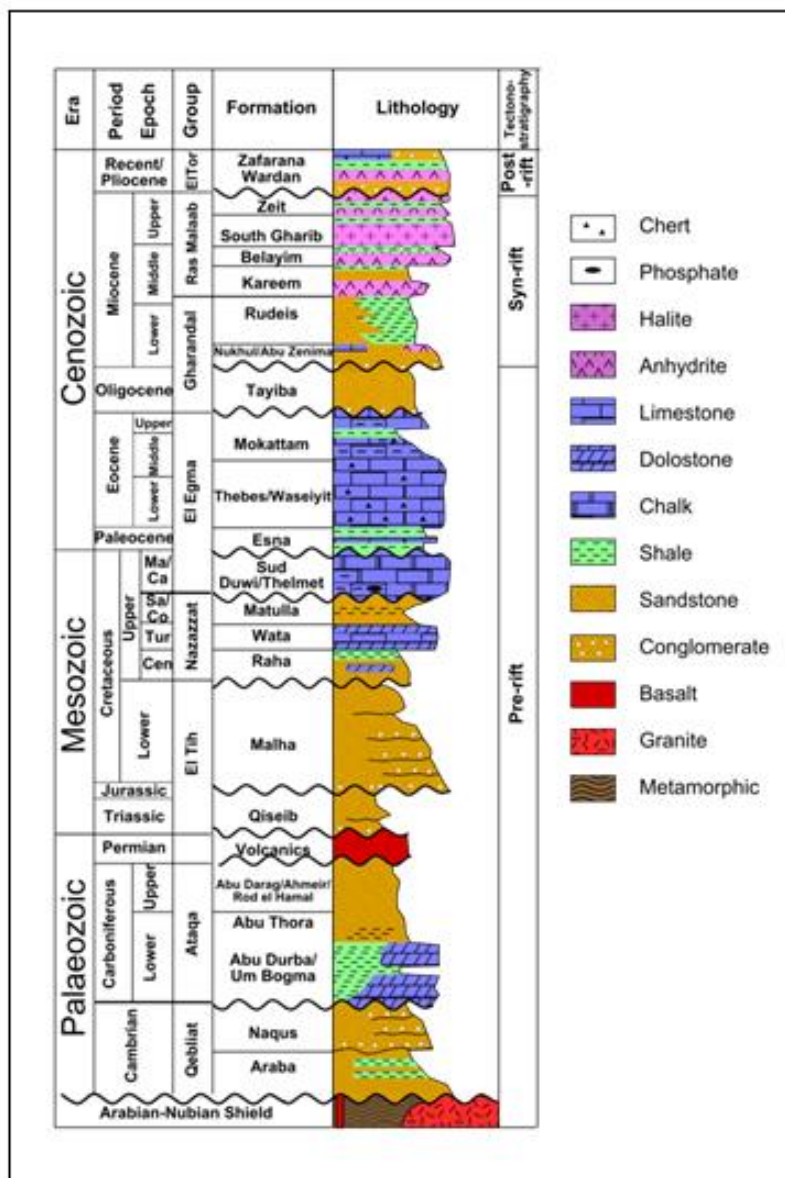
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECANICAS DE ROCAS		
Tipo de roca	Resistencia a compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a compresion (Mpa)
Andesita	1.5	0.147
Arcillita	280	27.44
Arenisca	80	7.84
Basalto	2	0.196
Caliza	800	78.4
Conglomerado	1.4	0.1372
Cuarcita	900	88.2
Dacita	1200	117.6
Diabasa	1.6	0.1568
Dolomia	360	35.28
Esquisto	108	10.584
Gabro	1500	147
Gneis	1.5	0.147
Granito Alterado	108	10.584
Granito Sano	800	78.4
Grauvaca	2	0.196
Marga	35	3.43
Marmol	800	78.4
Micacita	200	19.6
Pizarra	200	19.6
Riolita	800	78.4
Traquita	3.3	0.3234
Yeso	40	3.92

*Fuente: Elaboración Propia*

### 2.2.2.2 COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS

Una columna estratigráfica muestra una secuencia de rocas sedimentarias, con las rocas más antiguas en la parte inferior y las más recientes en la parte superior

Figura 2: Tipo de columna estratigráfica.



Fuente: Bosworth & McClay (2001), Golfo de Suez.

### 2.2.3 COLUMNA HIDROGEOLÓGICA EN LA REGIÓN PUNO

Según el estudio del (PRORRIDRE, 2013), programa de riego y drenaje, del gobierno regional Puno, se muestra a continuación las especificaciones técnicas del suelo en la zona de Santiago de Pupuja.

Cuadro 1: Características estratigráficas en zonas de la región Puno

V.G. ΩM	H.G. Mts.	E.C. Mts.	Columna Geoeléctrica	CARACTERÍSTICAS LITO ESTRATIGRÁFICAS / ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	POROSIDAD / PERMEABILIDAD ESTIMADA
42	1.20	1.20		(C1) Capa superficial compuesto de sedimentos secos a humedecidos de limos arenas finas y limo arcillas, semi compactados.	Granular fina compactada / baja
50	12.10	10.90		(C2) Capa subyacente conformado de depósitos de areno limoso con capas de arenas finas limosas y con trazas de carbonatos solidificados, estado humedecidos.	Granular fina y compacta / baja
				(C3) Interestratificaciones de capas de areno limosos, limo arenoso delgadas capas de limos, interpretado como capas de condiciones acuicludos, almacenaría agua subterránea, en algunas capas, se infiere nivel estático entre 55 a 64 metros de profundidad. Diámetro de perforación exploratoria entre 7" a 9" de diámetros. Diámetro de perforación definitiva 18" a 20" Profundidad de perforación del pozo tubular exploratorio 210 metros. Caudal Inferido: entre 13 a 18 LPS	Granular fina estratos compactos / Media baja
05	04.40	82.30			
35	> 150 m.			(C4) Compuesto de estratificaciones de areno limosas, con capas de limo arenoso.	Granular fina / Baja media

Fuente: Prorridre, Gobierno Regional Puno (2013).

## **2.2.4 SONDEOS GEOTÉCNICOS**

### **2.2.4.1 POZOS**

Según (PIMIENTA, 1980, pág. 99), Los pozos son obras tradicionales que por lo general tienen una profundidad de 10 a 12 metros, esto independientemente del procedimiento de perforación. También se caracteriza por poseer un diámetro mayor a un metro.

### **2.2.4.2 SONDEOS**

(PIMIENTA, 1980, pág. 111), Los sondeos son obras de captación tubular, esta se caracteriza por poseer diámetro pequeño comparado con los pozos, y puede alcanzar grandes profundidades hasta incluso los 1000 m, también es necesario la utilización de todo un equipo para la extracción como por ejemplo de gran cantidad de varillas y una motobomba.

### **2.2.4.3 TÉCNICAS DE SONDEOS**

(PIMIENTA, 1980, pág. 125), Las técnicas de sondeos tienen por objeto reconocer las diferentes propiedades, que presenta el terreno en las capas a medida que la profundidad aumenta. Durante este proceso se realiza la extracción de rocas del suelo a las cuales se les denomina testigos, los cuales sirven para su posterior estudio, a fin de conocer características como el coeficiente de permeabilidad (el ensayo realizado es conocido con “Lefranc” para suelos y “Luegeon” para rocas), o saber las características mecánicas (el ensayo realizado es conocido como ensayo “in situ”), por lo general para la extracción de testigos el diámetros empleado es pequeño.

Los equipos de perforación se los por el dispositivo tractor en la cual estén trabajando, pueden ser un camión, una maquina sobre orugas o también puede ser una maquina apeada la cual es la que no posee tractor.

#### **2.2.4.4 SONDEOS A PERCUSIÓN**

(PIMIENTA, 1980, pág. 112), Esta técnica de sondeo a percusión, se realiza en suelos de propiedades granulares, y también en suelos de propiedades, cohesivas. La perforación realizada puede llegar a tener una profundidad de 30 y 40 m, sin embargo lo mas comúnmente realizado es entre 15 a20 m. este método se efectúa por medio de constantes golpes realizados son contabilizados cada cierto tramo corte por ejemplo de 20 cm, y se hace para conocer qué tan compacto es el suelo.

Este tipo de sondeo es empleado en suelos no coherentes, entre los cuales se pueden encontrar a los limos, arenas, gravas, bolos y mezclas de los mismos, se utiliza una toma de muestras con el cual se puede obtener un testigo continuo para su posterior análisis. A pesar de ser una técnica de sondeo, por lo general no es tan recomendable ya que es una perforación lenta, además que el costo requerido es elevado.

#### **2.2.4.5 SONDEOS A ROTACIÓN**

(PIMIENTA, 1980, pág. 116), Esta técnica de sondeo a rotación tiene la característica de poder perforar a cualquier tipo de suelo o roca, logrando tener hasta grandes profundidades. Para un sondeo a rotación se necesita un equipo que contenga: cabeza, tubo porta testigos, extractor, manguito porta extractor y la corona de corte.

Esta perforación a rotación, también necesita hacer junto con un lodo de perforación, puede ser agua, bentonita en lodo, o también puede ser en seco. La circulación de este lodo se lleva a cabo en forma descendente, por medio de una cavidad que se encuentra en la varilla de perforación.

El funcionamiento de este equipo dependerá mucho de las condiciones del terreno en el que se encuentre operando, ya que el tipo de suelo puede variar por lo que la velocidad de rotación, la presión necesaria, y otras maniobras también necesitaran de ajustes continuos a medida que se lleve a cabo la perforación.

El funcionamiento de este equipo dependerá mucho de las condiciones del terreno en el que se encuentre operando, ya que el tipo de suelo puede variar, por lo que la velocidad de rotación, la presión necesaria, y otras maniobras también necesitaran de ajustes continuos a medida que se lleve a cabo la perforación.

#### **2.2.4.6 SONDEOS DE ROTO PERCUSIÓN**

(PIMIENTA, 1980, pág. 125), Esta técnica de sondeo a roto percusión es por lo general empleada para terrenos de características muy duras, además que se puede alcanzar grandes velocidades de avance, por medio de la sarta de perforación la cual está constituida por las varillas y el martillo de fondo, con lo cual se combina rotación y percusión dando a si una gran ventaja para llegar a una profundidad de 400 m hasta 1000 m. a diferencia del sondeo a rotación que existe un lodo de perforación, en esta técnica también se puede hacer circular aire el cual desciende por el interior de la varilla y posteriormente asciende arrastrando así el detritus de perforación.

## **2.3 ASPECTOS GENERALES DE EQUIPOS DE PERFORACIÓN.**

La tecnología de construcción de pozos para la explotación de los recursos naturales existentes en el subsuelo de nuestro país, ha tenido un avance notorio en las últimas décadas sobre todo en el norte del Perú, paralelamente con los avances tecnológicos de la industria petrolera. Sin embargo, en las regiones del Sur, aún están en proceso de adaptarse estas nuevas tecnologías para la captación de agua subterránea.

Muchos de los métodos de perforación que se han desarrollado, principalmente como respuesta a la amplia variedad de condiciones geológicas en que se emplean (desde rocas duras hasta materiales no consolidados), de tal forma se ha encontrado con que un método es más conveniente de utilizarse que los demás, dado que sus resultados, tanto técnicos como económicos, son buenos, sin embargo esto no implica que el mismo método sea el mejor, ni el más eficiente para cualquier condición, tanto geológica como práctica, es decir, no existe un método 100 % eficiente, utilizable bajo cualquier condición natural, ya que se pretenda lograr, el tipo de formación, los requerimientos sanitarios y el uso del pozo.

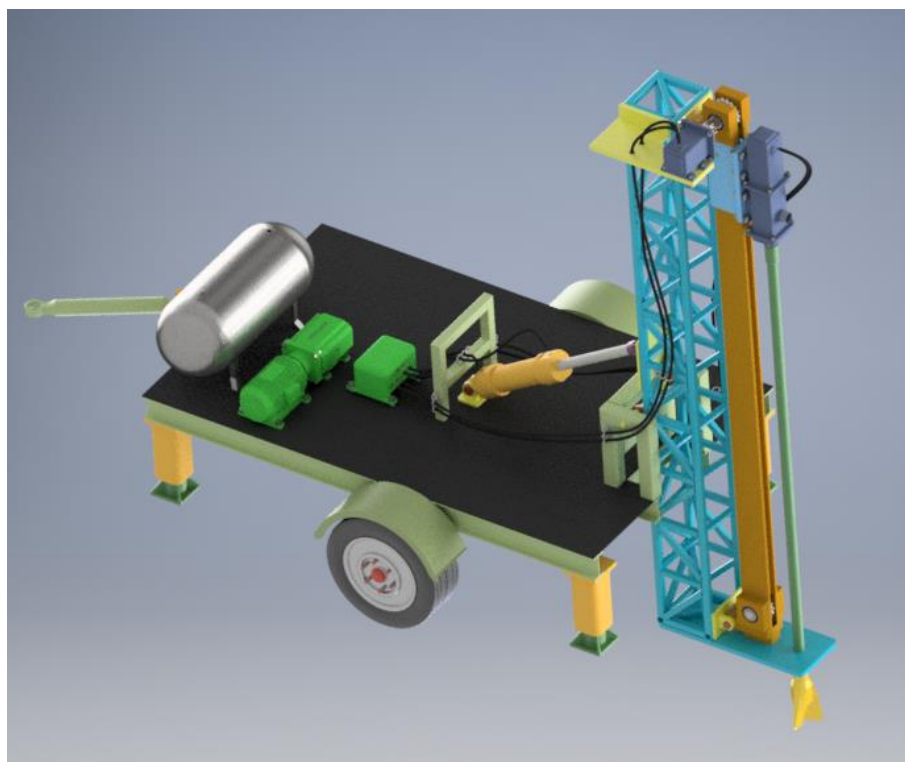
### **2.3.1 SISTEMA DE PERFORACIÓN HIDRÁULICA DE POZOS DE AGUA**

(ICG, 2013), En este sistema se realiza la perforación mediante una barrena o trepano giratorio llamado comúnmente tricono; desgastadora y trituradora que muele o rompe la formación mientras que el material cortado y el suelo aflojado son retirados de la perforación mediante una circulación continua de fluido de lavado. La perforación rotatoria es particularmente adecuada en formaciones de terreno suelto y roca suave.



(CIR, 1988, pág. 337), El fluido, usualmente basado en arcilla, es mezclado en una poza de lodo o tanque y es bombeado a presión elevada a través de una manguera flexible hasta la parte superior de una sola columna giratoria de herramientas llamada columna de perforación. Entonces fluye a través de las herramientas hasta el fondo del pozo y regresa a la superficie y nuevamente hacia dentro del pozo de lodo.

*Figura 3: Perforadora hidráulica.*



*Elaboración: Propia, (Autodesk Inventor 2015).*

En la base de la columna de perforación se encuentra la barrena o trepano que del rodillo cortador (tricono) o, menos comúnmente, el tipo de barrena de aleta plana. Una barrena o trepano de rodillo para roca lleva tres o cuatro cortadores (conos) dentados de acero duro que tienen vías de paso para conducir el fluido que enfría y lubrica los rodillos; limpia los dientes y evita el material cortado.



(CIR, 1988, pág. 333), Se aplica la barrena o trepano al fondo de la perforación y gira a velocidades de 3 – 30 rpm, - dependiendo del diámetro y del estrato y se aplica un peso dentro de una escala de 250 -2750Kg por 25mm de diámetro.

En roca dura la línea de contacto de los dientes provoca que la formación se derrumbe debido a la sobrecarga; en roca más suave se sesgan los rodillos ligeramente para añadir un acción de torsión y para roca suave se sesgan los rodillos ligeramente para añadir una acción de torsión y para roca suave se da forma a los dientes para que desgarran.

(CIR, 1988, pág. 329), Las restricciones de verticalidad y rectitud mencionadas para perforaciones hechas con percusión, se aplican igualmente a los pozos rotatorios, pero la perforación rotatoria sufre una desventaja en cuanto a que se debe colocar un peso continuo en la barrena y consecuentemente la gravedad tiene menos. Lo ideal es que la mayor parte de la longitud de la columna de herramientas este tensa desde el trepano de ruedas de corona (triconos) del equipo de perforación, pero esto no siempre es posible y algunas veces se añade peso por medio de un mecanismo hidráulico o de cadenas conocido como un “tira-abajo”, (mecanismo para ejercer presión, empuje en forma descendiente de la columna).

La longitud principal de la columna de perforación consiste en tuberías de perforación que se agregan conforme aumenta la profundidad: se extienden desde la parte superior de las lastras barrenas de perforación hasta la superficie. Por lo general tienen longitudes de 3-10m y se selecciona el diámetro para que esté (W., 2012) (Internet, AHMSA, 2013) de acuerdo a las condiciones de perforación, por ejemplo el diámetro libre a través de la tubería y uniones debe ser tal que resulte en la pérdida mínima de carga en el fluido descendente y la tubería de perforación debe ser lo suficientemente grande para promover una velocidad de fluido razonablemente elevada para un tamaño dado de bomba de lodo.

La longitud última de la tubería es de construcción especial y se le llama barra cuadrada rotatoria. Su propósito es transmitir conducción rotatoria desde el rotor o mesa rotatoria y, por lo tanto, es una sección cuadrada, hexagonal o redonda con ranuras o estrías para caber en una abertura correspondiente en la mesa rotatoria. Esto facilita el movimiento vertical libre y así permite que la barra cuadrada rotatoria alimente la perforación, conforme se procede a la perforación, o que se la retire.

Conforme avanza la perforación y se lleva a la superficie el material cortado, la barra cuadrada rotatoria pasara a través del rotor hasta que la unidad del cabezal giratorio llegue a este. Entonces se detiene la alimentación, se puede disminuir la rotación y se permite al fluido circulante continuar llevando, por corto tiempo, el material cortado más reciente afuera de la barrena y de los lastra barrenas de fisura.

Entonces se detiene la bomba, se retira la barra cuadrada rotatoria y se le desenrosca de la tubería de perforación, mientras la segunda es suspendida en los sostenes de la mesa rotatoria. Se añade otra tubería de perforación y se le hace descender con la columna de la tubería hasta que esté al nivel de la mesa, cuando se adhiere nuevamente la barra cuadrada rotatoria y se reinicia la circulación. Se engancha la rotación y finalmente se aplica la barrena una vez más al fondo de la perforación. Se repite el procedimiento anterior hasta que se alcance la profundidad final o se retire las herramientas para cambiar las barrenas.

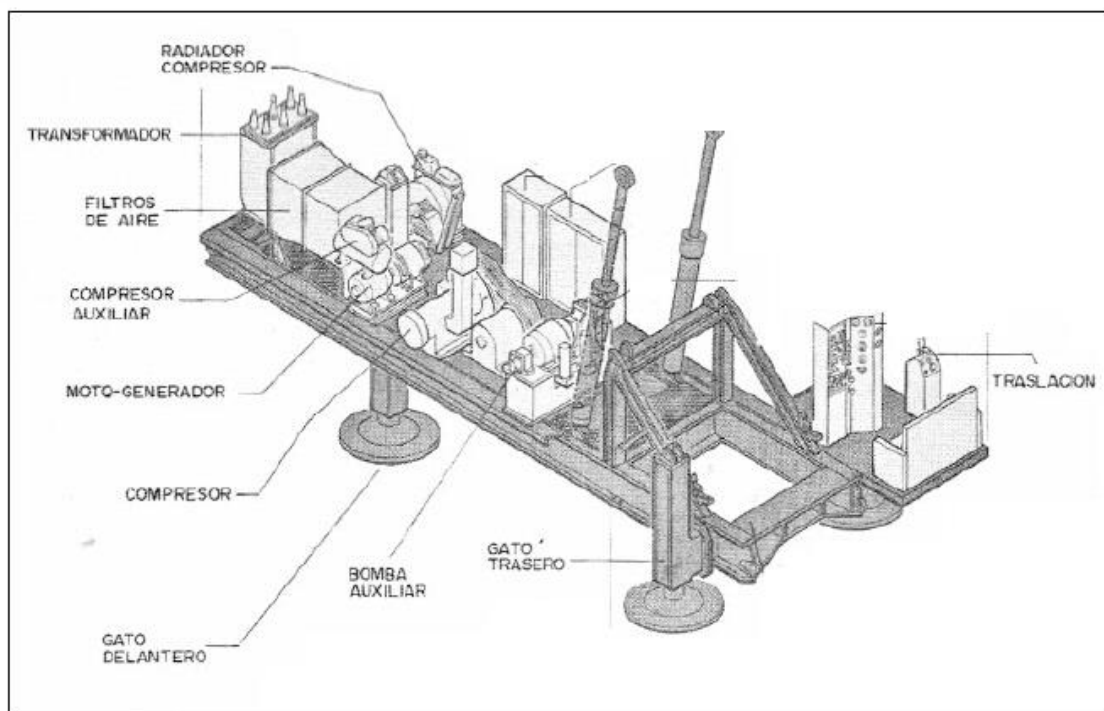
### **2.3.2 UNIDAD DE POTENCIA.**

Según (Jimeno, 1979, pág. 74), Las fuentes primarias de energía pueden ser: motores diésel o eléctricos. En perforadoras con un diámetro de perforación por encima de 9" (230 mm) está generalizado el empleo de energía eléctrica a media tensión, alimentando la perforadora con corriente alterna mediante cable de cuatro conductores con recubrimiento de goma.

Un reparto medio de la potencia instalada en estas unidades para las diferentes operaciones y mecanismos es la siguiente:

- Movimiento de elevación y traslación: 18%.
- Rotación: 18%.
- Empuje: 3%.
- Nivelación: 2%.
- Captación de polvo: 3%.
- Barrido y limpieza de los detritus: 53%.
- Equipos auxiliares: 3%.

Figura 4: Partes de la unidad de potencia.

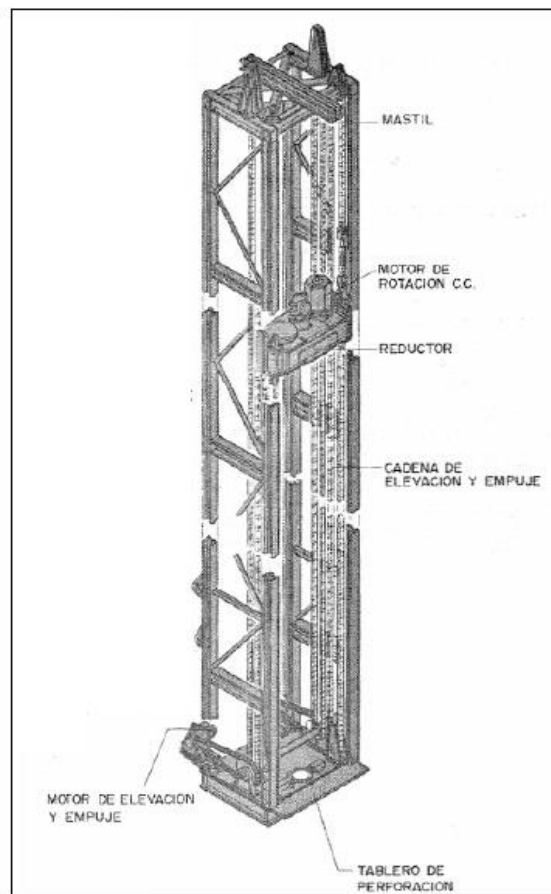


Fuente: López Jimeno, (1979).

### 2.3.3 BASTIDOR O TORRE DE PERFORACIÓN.

Según (Jimeno, 1979, pág. 77), La estructura de la torre, que soporta las barras y la cabeza de rotación, debe estar diseñada para resistir las flexiones debidas al peso, el esfuerzo de empuje y las tensiones originadas por el par de rotación. Los diseños más frecuentes han sido de tipo reticular, de sección normal o tubular. Los mástiles suelen ser abatibles mediante cilindros hidráulicos o tubos telescópicos, ya que al para efectuar los traslados importantes es preciso bajar el centro de gravedad de la máquina.

Figura 5: Partes de la torre de perforación.



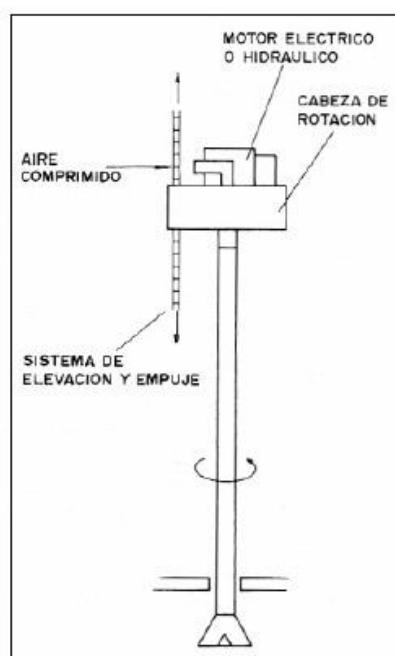
Fuente: López Jimeno, (1979).

Aun cuando es recomendable que se seleccione una máquina que permita perforar los barrenos con una sola barra, hay que prever la necesidad de abrir barrenos de mayor longitud, lo cual obliga a que el mástil lleve un sistema de porta barras, así como un mecanismo de accionamiento de las mismas para su colocación o desacoplamiento.

### 2.3.4 SISTEMA DE EMPUJE Y ELEVACIÓN.

Según (Jimeno, 1979, pág. 76). Para obtener una buena velocidad de penetración en la roca es preciso un determinado empuje que depende tanto de la resistencia de la roca como del diámetro del barreno que se pretende perforar. Con el peso de las barras no es suficiente para obtener la carga precisa, se hace necesario aplicar fuerzas adicionales que suelen transmitirse casi exclusivamente a través de energía hidráulica.

*Figura 6: Partes del sistema de empuje y elevación.*



*Fuente: López Jimeno, (1979).*

### 2.3.5 SISTEMA DE ROTACIÓN.

(Jimeno, 1979, pág. 75), Con el fin de hacer girar las barras y transmitir el par, las perforadoras llevan un sistema de rotación montado generalmente sobre un bastidor que se desliza a lo largo del mástil de la perforadora.

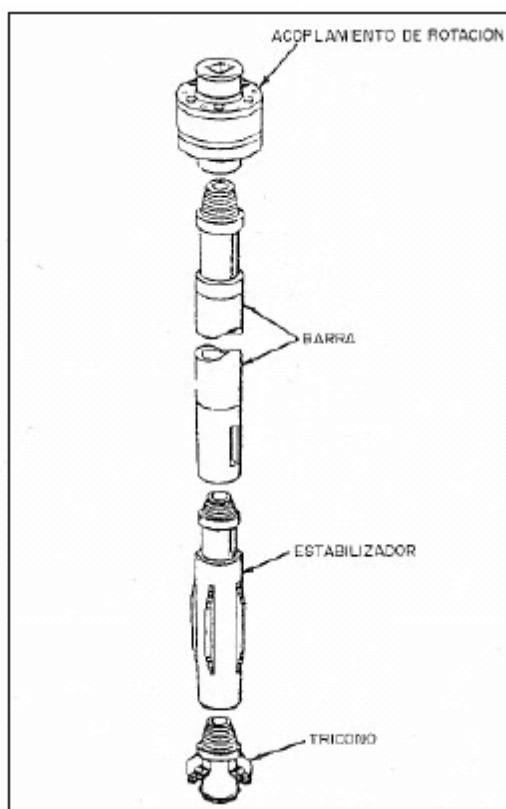
El sistema de rotación directo puede estar constituido por un motor eléctrico o hidráulico. El primero, es el más utilizado en las maquinas grandes, pues aprovecha la gran facilidad de regulación de los motores de corriente continua, en un intervalo de 0 a 100 rpm.

El sistema hidráulico consiste en un circuito cerrado con una bomba de presión constante y un convertidor de par con el que se logra variar la velocidad de rotación del motor hidráulico, situado en la cabeza de la sarta de perforación. Este tipo está muy extendido en los equipos pequeños y medianos.

### **2.3.6 BARRAS DE EXTENSION.**

Según, (Jimeno, 1979, pág. 76), Consiste en una serie de barras de acero tubulares interconectadas entre si mediante uniones roscadas. Este conjunto, además de transmitir sentido de rotación a la broca, ubicada en el extremo inferior de la columna, permite además la circulación de los fluidos de perforación o lodo.

Figura 7: Partes de la sarta de perforación.



Fuente: López Jimeno, (1979).

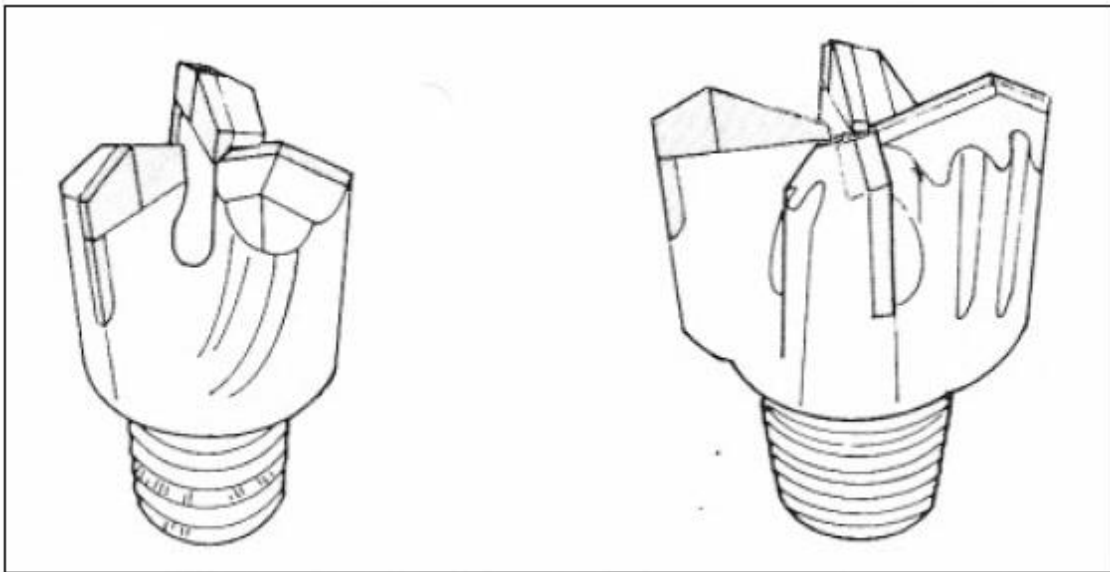
### 2.3.7 BROCAS O TREPANO TRICONO

Según (Jimeno, 1979, pág. 103), La broca o trepano es una herramienta de corte que permite perforar. Su diseño es continuamente modificado a fin de obtener la geometría y el material adecuados para vencer a las distintas y complejas formaciones del terreno (arenas, arcillas, yesos, calizas, basaltos).

Existen trépanos de 1, 2 y hasta 3 conos montados sobre rodillo o bujes de compuestos especiales; estos conos, ubicados originariamente de manera concéntrica, son fabricados en aceros de alta dureza, con dientes tallados en su superficie o con insertos de carburo de tungsteno y otras aleaciones duras: su geometría responde a la naturaleza del terreno a atravesar.



Figura 8: Broca de perforación cortante, trialeta y multialetas.



Fuente: López Jimeno, (1979).

### 2.3.8 BOMBA DE LODOS

(Jimeno, 1979, pág. 77), La bomba de lodos tiene la función de realizar la recirculación del lodo o fluido de perforación, que es una suspensión de arcilla en agua, con los aditivos necesarios para cumplir las siguientes funciones:

- Extraer el detritus o ripio de la perforación.
- Refrigerar la herramienta de corte.
- Sostener las paredes de la perforación.
- Estabilizar la columna o sarta de perforación.
- Lubricar el rozamiento de esta con el terreno.

Se distinguen diversos tipos de lodos en función de su composición. Por una parte los denominados “naturales”, constituidos por agua clara (dulce o salada) a la que se incorpora parte de la fracción limoso-arcillosa de las formaciones rocosas conforme se atraviesan durante la perforación.

Se utilizan especialmente en el sistema de circulación inversa (en la circulación directa se requieren lodos de mayor densidad y viscosidad).

### **2.3.9 FLUIDOS Y ADITIVOS DE PERFORACIÓN**

La tecnología de los fluidos de perforación ha avanzado tan rápido y ampliamente cómo han evolucionado las máquinas perforadoras rotarias. En el siglo pasado, el agua fue el principal fluido usado en la perforación rotaria, sumándose a través del tiempo, el empleo de arcillas naturales en unión al agua. En general el término "lodo" originado cuando se empleaba el agua y arcillas en la actualidad es obsoleto, ya que en la actualidad los modernos sistemas de lodo son llamados fluidos de perforación debido, sobre todo, por el gran número de aditivos que pueden ser usados para proporcionar propiedades especiales a los fluidos de perforación.

El agua con arcilla como aditivo produce un fluido de perforación con una gran cantidad de sólidos en suspensión, mientras que combinada con polímeros, la cantidad de sólidos es muchísimo menor. Existen muchos más aditivos especiales tales como floculantes, dispersantes, materiales pesados, anticorrosivos, reductores de filtración, lubricantes, preservativos, bactericidas y materiales para evitar la pérdida de circulación, todos ellos se emplean para ajustar las propiedades del fluido de perforación. En la perforación de pozos de agua, el término "fluido de perforación" se refiere a varias cosas: agua exclusivamente, aire seco, a una suspensión líquido sólidos o a una mezcla de agua y surfactante o agua, surfactante y coloides inmersos en aire.

### 2.3.10 VARIABLES DE PERFORACIÓN

Las variables internas que intervienen en la perforación rotativa son:

- El empuje mínimo para la ruptura de la roca.
- El diámetro de perforación.
- La resistencia a compresión de las rocas.
- La velocidad de rotación en la broca de perforación.
- La velocidad de penetración.

#### 2.3.10.1 EMPUJE SOBRE LA BROCA

El empuje aplicado sobre la broca de perforación debe ser suficiente para sobre pasar la resistencia a compresión de la roca, pero no debe ser excesivo para evitar fallos prematuros o anormales del tricono.

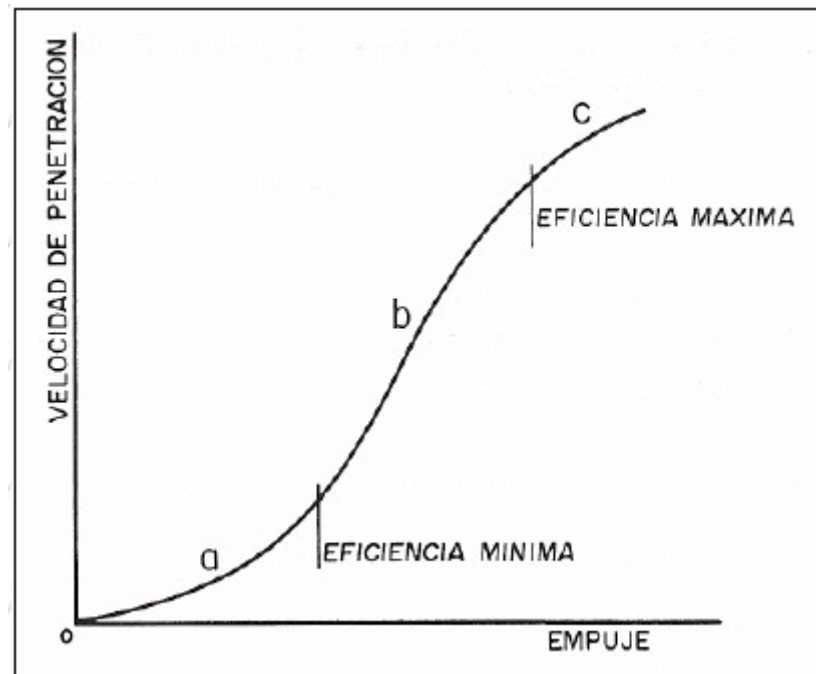
$$E_m = 28.5xRCx\emptyset \quad \text{Ec. (1)}$$

La velocidad de penetración aumenta proporcionalmente con el empuje, hasta que se llega a un agarrotamiento del tricono contra la roca por efecto del enterramiento de los dientes o insertos o hasta que la alta velocidad de penetración y el gran volumen de detritus que se produce no se limpia adecuadamente el barreno.

En formaciones duras, un empuje elevado sobre la broca puede producir roturas en los insertos antes de presentarse un agarrotamiento o un defecto de limpieza. También, disminuye la vida de los cojinetes, pero no necesariamente la longitud perforada por el tricono.

Cuando se perfora una roca, los triconos pueden trabajar en tres situaciones distintas.

Figura 9: Curva de empuje y velocidad de penetración.



Fuente: López Jimeno, (1979).

Donde:

- Es el empuje Insuficiente
- Avance eficiente
- Enterramiento del útil.

Cuadro 2: Fuerza de empuje mínimo para seleccionar el diámetro de tricono.

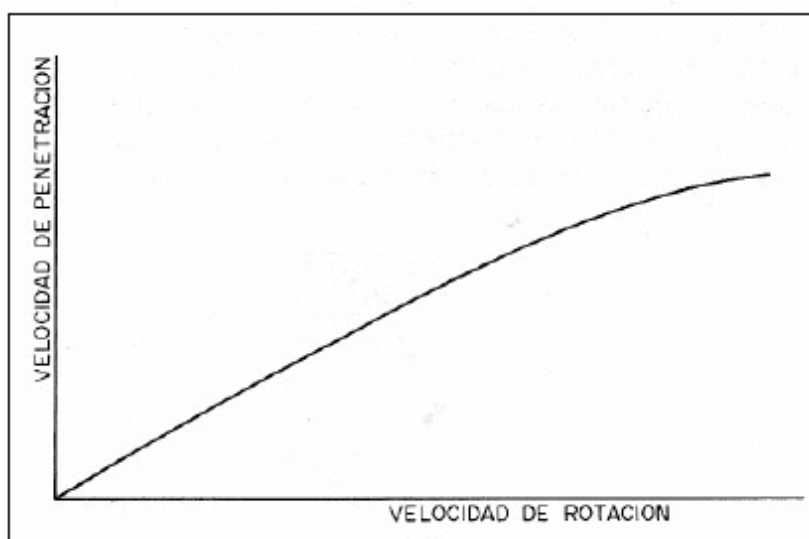
DIAMETRO DEL TRICONO (pulg)	EMPUJE LIMITE (libras)
5 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	21.000
6 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	31.000
6 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	37.000
7 <sup>7</sup> / <sub>8</sub>	50.000
9	65.000
9 <sup>7</sup> / <sub>8</sub>	79.000
12 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	121.000

Fuente: López Jimeno, (1979).

### 2.3.10.2 VELOCIDAD DE ROTACION

Según, (Jimeno, 1979, pág. 83), La velocidad de penetración aumenta con la velocidad de rotación en una proporción algo menor que la unidad, hasta un límite impuesto por la evacuación de los detritus.

Figura 10: Curva de efecto de la velocidad de rotación y velocidad de penetración.



Fuente: López Jimeno, (1979).

Las velocidades de rotación varían desde 60 a 120 rpm para los triconos con dientes de acero y 50 a 80 rpm para los de insertos de carburo de tungsteno.

En la siguiente tabla se indican las velocidades de rotación adecuadas para diferentes tipos de roca.

*Cuadro 3: Velocidad de rotación para cada tipo de roca.*

TIPO DE ROCA	VELOCIDAD DE ROTACION (r/min)
Blanda	75 - 160
Media	60 - 80
Dura	35 - 70

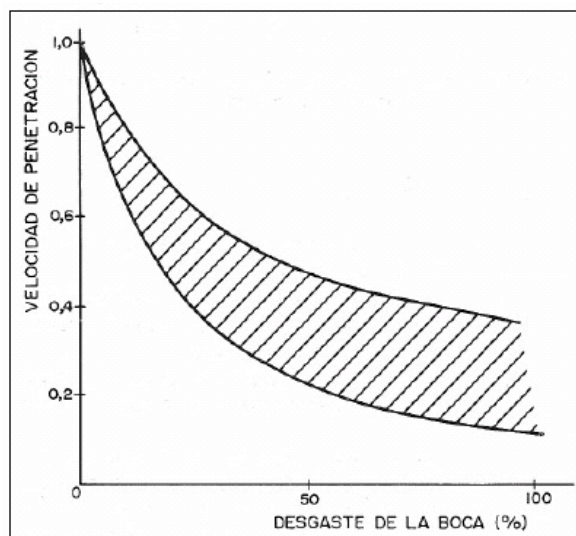
*Fuente, López Jimeno (1979).*

### 2.3.10.3 DESGASTE DE LA BROCA DE PERFORACIÓN

Según, (Jimeno, 1979, pág. 84), Cuando se utilizan triconos de dientes, la velocidad de penetración disminuye considerablemente conforme aumenta el desgaste de la Broca.

A continuación, presentamos un tricono desgastado al 50% de uso, la velocidad de penetración puede reducirse de un 50 a un 75% con respecto a la obtenida con un tricono nuevo.

Figura 11: Curva de desgaste de la broca sobre la velocidad de penetración.

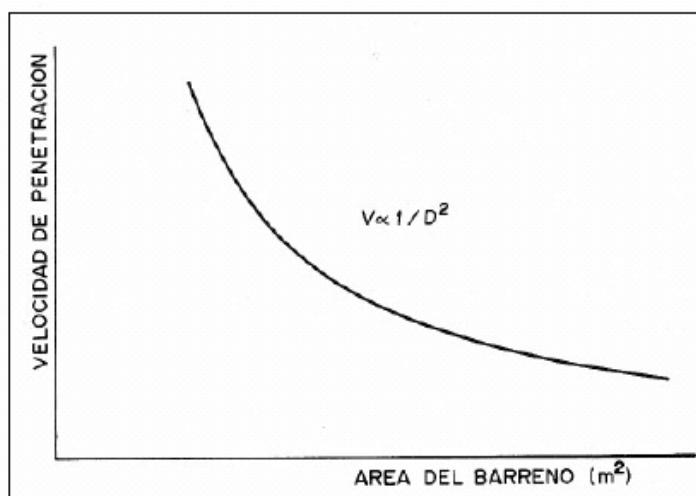


Fuente: López Jimeno, (1979).

### 2.3.10.4 DIÁMETRO DE PERFORACIÓN

Según, (Jimeno, 1979, pág. 84), La velocidad de penetración obtenida con empuje y velocidad de rotación constantes es proporcional al inverso del diámetro de perforación al cuadrado.

Figura 12: Variación de velocidad de penetración y diámetro de perforación.



Fuente: López Jimeno, (1979).

### 2.3.11 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE PERFORADORAS

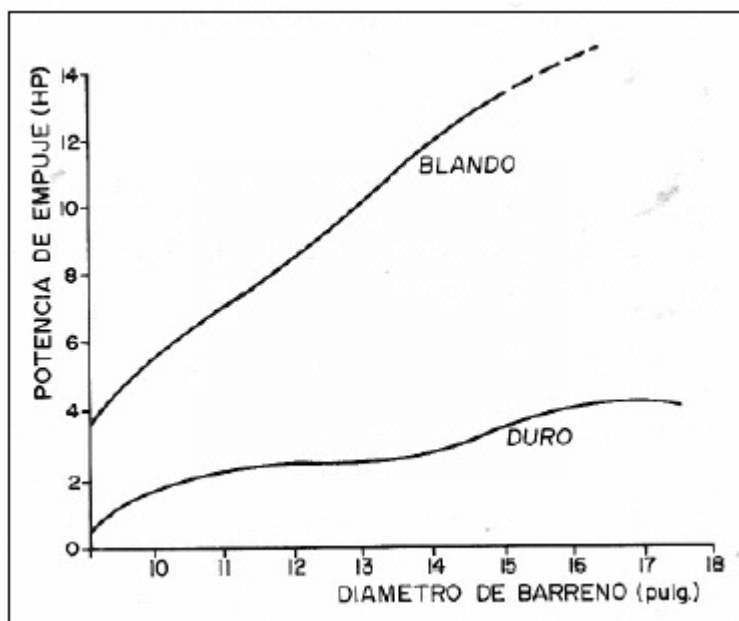
El diseño adecuado de una perforadora requiere la consideración de la potencia de rotación necesaria para hacer girar el tricono y el medio adecuado de evacuación del detritus.

#### 2.3.11.1 POTENCIA DE ROTACIÓN

Según, (Jimeno, 1979, pág. 84), La potencia de rotación requerida es igual al producto del par necesario para hacer girar el tricono por la velocidad de rotación.

El par de rotación aumenta con el empuje sobre el tricono y la profundidad del barreno. Normalmente, las perforadoras se diseñan con una capacidad de par comprendida entre 10 y 20 libras/pie por libra de empuje.

*Figura 13: Potencia de rotación y empuje para tipos de roca.*



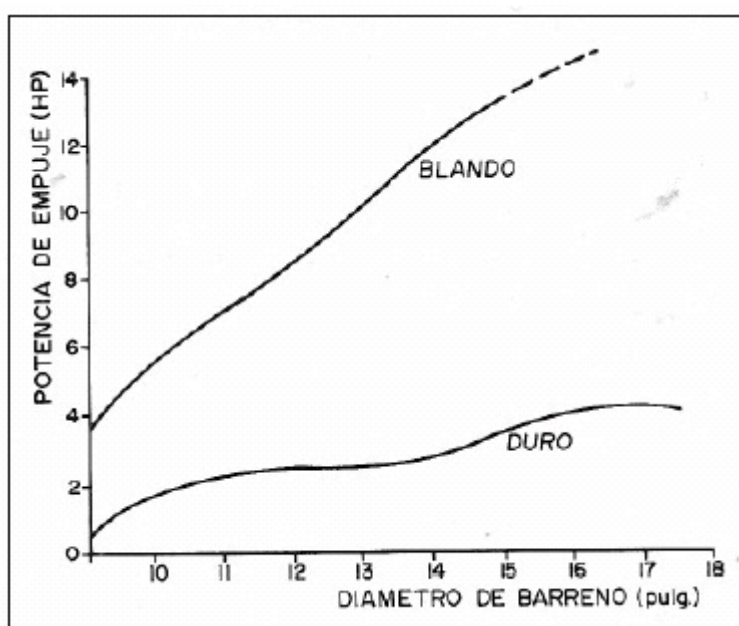
*Fuente: López Jimeno, (1986)*



### 2.3.11.2 EMPUJE NECESARIO

Según, (Jimeno, 1979, pág. 82), La potencia necesaria para el empuje es pequeña comparada con la de rotación. El empuje sobre el tricono, depende del diámetro y de la resistencia a compresión de la roca. La capacidad de empuje de la maquina se recomienda que sea un 30% mayor que el empuje máximo de trabajo.

Figura 14: Empuje de y diámetro de perforación.



Fuente: López Jimeno, (1979).

### 2.3.11.3 TIPO DE TRICONO

Uno de los aspectos más importantes de la perforación rotativa es la elección adecuada del tricono, ya que en caso contrario se tendrá:

- Velocidad de penetración menor que la óptima.
- Reducida duración del tricono y, por tanto, un coste por metro perforado mayor.

#### 2.3.11.4 VELOCIDAD DE PENETRACIÓN

(Jimeno, 1979, pág. 82), La velocidad de penetración depende de muchos factores externos: características geológicas, propiedades físicas de las rocas, distribución de tensiones y estructura interna. Esto hace que la determinación de la velocidad de penetración durante el desarrollo de un proyecto sea una tarea difícil para el ingeniero proyectista, pero necesaria ya que la decisión que se tome va a incidir decisivamente en el resto de las operaciones.

Existen dos procedimientos para la determinación de la velocidad de penetración, son ensayos de muestras.

##### a. Microbit

(Jimeno, 1979, pág. 87), Se basa en la perforación de la probeta con una micro broca de (32mm) de diámetro sometida a un peso de 200 Lb y 60rpm.

El sistema da buenos resultados en formaciones blandas y medias, que pueden ser perforadas con triconos de dientes, pero en formaciones duras donde se hace necesario el empleo de brocas de insertos de carburo, obtienen velocidades de penetración muy bajas y duraciones de triconos reducidas.

##### b. Indenter Test

(Jimeno, 1979, pág. 87), Se utiliza un diente de carburo de Tungsteno de forma semiesférica que se aplica sobre la muestra con presiones crecientes e incrementos de 500 Lb, hasta un máximo de 5000 – 6000 Lb. Los triconos se desechan debido al fallo de los cojinetes.

### 2.3.11.5 FORMULAS EMPÍRICAS DE ESTIMACIÓN DE LA VELOCIDAD DE PENETRACIÓN

Según, (Jimeno, 1979, pág. 82), Este procedimiento es de gran sencillez y está basado en formulas empíricas determinadas por ensayo de campo. En general, tienen en cuenta las siguientes variables:

$$E_m = \frac{63.9xExN_r}{RC^2xD^{0.9}} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

D: Diámetro de perforación.

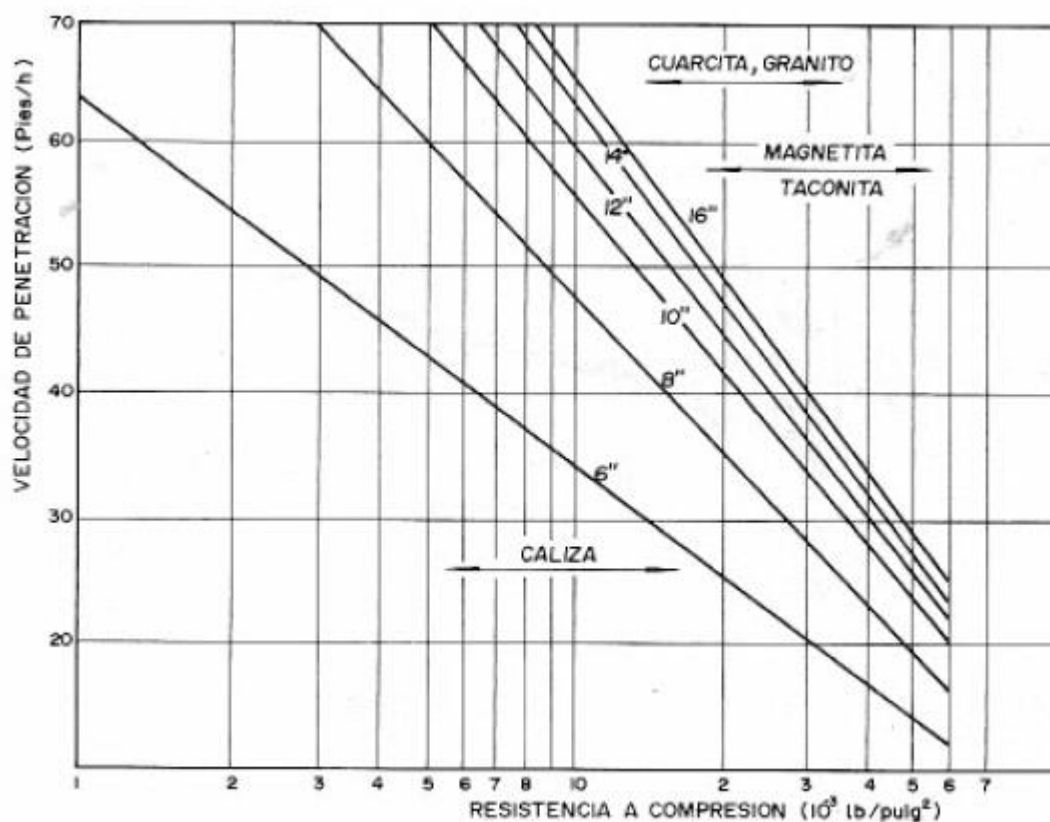
E: Empuje sobre el tricono.

Nr: Velocidad de rotación.

RC: Resistencia a compresión simple.

Esta fórmula tiene mayor fiabilidad en todos los rangos de resistencias de las rocas, y permite calcular en una operación en marcha el valor de RC. Fue desarrollada por R. Praillet,(1978).

Figura 15: Estimación de la velocidad de penetración y la resistencia a compresión.



Fuente: López Jimeno, (1986).

### 2.3.12 GLOSARIO DE TERMINOS

**Software Autodesk Inventor:** Autodesk Inventor se basa en técnicas de *Modelado matemático*, se utiliza en diseño de ingeniería para producir y perfeccionar productos nuevos.

**Esfuerzo de Compresión:** Es la resultante que existe dentro de un sólido o medio continuo caracterizado porque tiende a una reducción de volumen del cuerpo, y a un acortamiento del cuerpo en determinada dirección.

**Tensión de Von Mises:** Es una magnitud proporcional a la energía de distorsión, se usa en el contexto de las teorías de fallo como indicador de fallo.

**Potencia hidráulica:** Es la relación entre la energía del flujo proporcionada por la bomba hidráulica y el tiempo que la misma ha estado en funcionamiento para comunicar dicha energía. Normalmente esta magnitud se suele expresar como el producto de la presión del fluido por su caudal.

**Potencia Mecánica:** Se define como la rapidez con que se realiza un trabajo. Se mide en watts (W) y se dice que existe una potencia mecánica de un watt cuando se realiza un trabajo de un joule por segundo:  $1W=J/seg$ .

**Torsión mecánica:** El torque es la fuerza aplicada en una palanca que hace rotar alguna cosa. Al aplicar fuerza en el extremo de una llave se aplica un torque que hace girar las tuercas.

**Par motor:** Momento de fuerza que ejerce un motor sobre el eje de transmisión de potencia;

**Eje:** Barra cilíndrica que atraviesa un cuerpo giratorio y le sirve como centro para girar.

**Engranaje:** Conjunto de ruedas dentadas y piezas que encajan entre sí y forman parte de un mecanismo o de una máquina.

**Transmisión mecánica:** Se denomina transmisión mecánica a un mecanismo encargado de transmitir potencia entre dos o más elementos dentro de una máquina.

**Cojinete:** Pieza o conjunto de piezas de metal o madera en que descansa y gira cualquier eje de maquinaria.

**Rodamiento:** Cojinete que consta de dos cilindros concéntricos entre los que va colocado un juego de rodillos o bolas que pueden girar libremente.

**Retén:** Es una pieza fabricada habitualmente de un compuesto de caucho sintético que se utiliza para evitar fugas o el intercambio no deseado de fluidos, gases o sólidos desde un elemento que los contiene al adyacente.

**Chaveta:** Clavija que, puesta en el agujero de una barra, impide que se salgan las piezas que la barra sujeta.

**Lubricante:** Sustancia grasa o aceitosa que se aplica a las piezas de un engranaje para que el rozamiento sea menor o más suave.

**Acoples:** Son elementos de una máquina que sirven para prolongar líneas de transmisión de ejes o conectar tramos de diferentes ejes, en planos diferentes o con dirección paralela, para transmitir energía.

### 2.3.13 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2.3.13.1 HIPÓTESIS GENERAL

Mediante el estudio y análisis de un tipo de perforadora hidráulica, se podrá satisfacer la necesidad conocimiento de maquinarias para extraer agua subterránea en terrenos accidentados de la región de Puno.

#### 2.3.13.2 HIPÓTESIS ESPECIFICOS

- a) Con los conocimientos científicos y empíricos de perforación rotativa, se podrá satisfacer la necesidad de perforación de hasta 60 metros de profundidad y 6 pulgadas de diámetro.

- b) Con el análisis de esfuerzos en el bastidor de perforación, en la tubería o varillaje de perforación, en la broca y en la estructura de soporte y transporte de la máquina se podrá determinar las fuerzas hidráulicas necesarias para obtener el movimiento de los actuadores hidráulicos como la unidad de rotación, La unidad de empuje y arrastre y el pistón hidráulico para posicionar el bastidor en dirección vertical
- c) Con el análisis y estudio de los componentes de la máquina de perforación, se podrá seleccionar adecuadamente cada parte de la máquina.

**2.3.14 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES**

*Cuadro 4: Variables de la máquina de perforación*

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
<b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b>		
<b>Fuerza de Empuje</b>	Mide la Fuerza de Empuje mínima	<b>N</b>
<b>Velocidad de Rotación</b>	Mide Revoluciones por minuto	<b>RPM</b>
<b>Potencia Hidráulica</b>	Mide la potencia necesaria	<b>Kw</b>
<b>VARIABLES DEPENDIENTES</b>		
<b>Velocidad de Perforación</b>	Mide la Eficiencia de perforación	<b>m/s</b>

*Elaboración: Propia*

## CAPÍTULO III



## METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es del tipo aplicativo; se utilizará, fuentes externas de investigación, los cálculos y selección de los mismos se realizara en base a tabla de maquinarias existentes.

### 3.2 DISEÑO DE PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La estrategia a utilizar para la comprobación de la hipótesis, será utilizando los instrumentos:

- Documentación y archivo.
- Libros especializados.
- Análisis teórico y práctico.
- Software Autodesk Inventor 2015.

### 3.3 POBLACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Personas naturales o jurídicas dedicadas a la perforación de suelos, para extracción de agua subterránea, centros de investigación de análisis de suelos, también a instituciones dedicadas a riego y tecnificación.

- PRORIDRE (Programa de Riego y Drenaje).
- Ministerio de Agricultura.
- Instituto Geofísico del Perú.
- Gobierno Regional de Puno.

### **3.4 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN.**

#### **3.4.1 UBICACIÓN GEOGRAFICA**

El área de influencia ubicada en varias partes de la región Puno, lugares aledaños a la cuenca del Río Ramis y la cuenca del Río Coata y que corresponden a las provincias de Puno, San Román, Huancané, Azángaro, Carabaya, San Antonio de Putina, Lampa, Melgar.

#### **3.4.2 CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS**

El área de estudio que comprende el presente trabajo, se extiende desde los 810 msnm a más de 5600 msnm, la zona del proyecto tiene un clima frío, lluvioso y helado en partes del año.

#### **3.4.3 VIAS DE ACCESO PRINCIPALES.**

Vía Terrestre: Las vías de acceso más próximos son los siguientes:

- Carretera Interoceánica Juliaca-Puerto Maldonado
- Carretera asfaltada Juliaca - Huancané
- Carretera asfaltada Juliaca - Puno.
- Carretera asfaltada Juliaca - Azángaro.
- Carretera asfaltada Juliaca - Lampa.
- Carretera asfaltada Juliaca - Arequipa.

## CAPÍTULO IV

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA MECÁNICO

Se realizó el cálculo de la establecer la fuerza necesaria para la ruptura de varios tipos de roca con resistencia compresión menores a 27.44 Mpa (Arcillita, arenisca, yeso y otras), para luego determinar las fuerzas y cargas.

#### 4.1.1 FUERZA DE EMPUJE

La fuerza de empuje aplicada sobre la herramienta de perforación debe ser lo suficiente para sobrepasar la resistencia a compresión del suelo, pero no debe ser excesivo para evitar daños prematuros a la herramienta de perforación.

De la ecuación (1).

$$E_m = 28.5 \times RC \times \phi$$

Donde:

$$E_m = \text{Empuje Minimo (Lb)}$$

$$RC = \text{Resistencia de Compresion de rocas (Mpa)}$$

$$\phi = \text{Diametro (Pulg)}$$

De la **Tabla 1** se escoge el tipo de suelo. **Arcillita** con una resistencia a compresión de  $R_c = 27.44 \text{Mpa}$ . El diámetro escogido es de **6 Pulgadas** (Por selección de diámetro perforación más común en la región Puno).

$$E_{min} = 28.5 * S_c * \phi_{barrena}$$

$$E_{min} = 28.5 * 27.44 \text{MPa} * \text{pulg}$$

$$E_{min} = 20857.99 \text{lb}$$

$$E_{min} = 20.8 \text{KN}$$

#### 4.1.2 VELOCIDAD DE ROTACIÓN

La velocidad de rotación (RPM) es inversamente proporcional a la compresión de la roca ( $R_c$ ), del cuadro 1, que indica la velocidad de rotación según la dureza de la roca. Se Obtiene que para rocas semiduras o blandas, les cuales les corresponde entre **75 - 160RPM**.

Utilizando los datos del cuadro 3, para un tipo de roca blanda, se trabajará con una velocidad de **100 RPM**.

#### 4.1.3 DIAMETRO DE PERFORACIÓN

Según el estudio hidrológico para la perforación de pozos tubulares en la región Puno, los diámetros de pozos más comunes son de **6 pulgadas**.

### 4.2 ANÁLISIS DEL BASTIDOR DE PERFORACIÓN

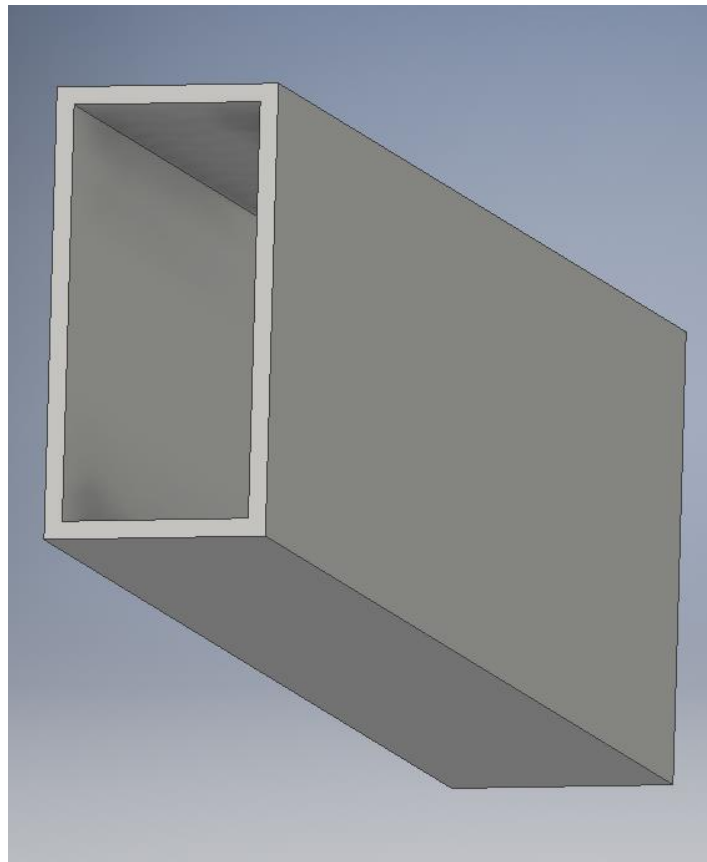
Para analizar el bastidor de perforación, se escoge una viga comercial que tenga la capacidad de soportar la fuerza de empuje que va aplicar la cadena de arrastre y las tuberías de perforación.

#### 4.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL BASTIDOR DE PERFORACION

La columna que se ha seleccionado para utilizar como bastidor de perforación es de perfil rectangular de 6x3x3/16 Pulgadas y tomada de la norma de Instituto americano de construcción en acero, (Amerian Institute Of Steel Construction), cuyas características son los siguientes:

- Esfuerzo de tensión para evitar la fluencia:  $\sigma_y = 46Ksi = 315 MPa$
- Área del perfil rectangular:  $A_p = 3.14pulg^2 = 2.026 * 10^{-3}m^2$
- Momento de inercia respecto al eje "x":  $I_x = 14.3 pulg^4 = 5.96 * 10^{-6}m^4$
- $L = 0$ , Producido por la carga viva.
- $S = 0$ , Producido por la carga de Nieve.
- $L_r = 0$ , Producido por la carga viva del techo.
- $R = 0$ , Producido por la lluvia.
- $E = 0$ , Producido por los terremotos.
- $W = 0$ , Producido por el aire.

Figura 16: Perfil rectangular de 6 x 3 x 3/16 Pulgadas.



Elaboración: Propia, (Autodesk Inventor 2015).

## 4.2.2 ANÁLISIS DE CARGAS

Las cargas que se aplican al sistema de perforación son internas, cuando la está ejerciendo la cadena y las externas, los cuales se dan cuando el cabezal de perforación está en la parte superior y la otra cuando está en la parte inferior.

### 4.2.2.1 ANÁLISIS DE CARGAS EXTERNAS APLICADAS AL SISTEMA

#### a. Primera situación de trabajo

Las cargas externas que se aplican al sistema se cuándo el carro deslizante está descendiendo y se tiene una fuerza de compresión aplicada sobre el cabezal de rotación, resultado de la reacción que produce el suelo.

Cálculo de la fuerza de compresión:

Del enunciado **2.3.11.2**. La capacidad de empuje de la maquina se recomienda que sea un 30% mayor que el empuje máximo de trabajo. Por lo tanto:

$$F_{Compresion} = F_{trabajo} + 30\%F_{trabajo} \quad Ec. (3)$$

Si:

$$F_{trabajo} = 20.8KN$$

Entonces:

$$F_{Compresion} = 20.8KN + 30\%(20.8)KN$$

$$F_{Compresion} = \mathbf{26.8KN}$$

### b. Segunda situación de trabajo

Se da cuando el carro deslizante está ascendiendo y se tiene una fuerza de tensión que está dado por el peso de la tubería y la broca de perforación.

- Cálculo de la fuerza de tensión:

La fuerza de tensión se va a dar cuando el cabezal tiene la tubería y la broca de perforación suspendidas por el efecto del levante de la extracción de las mismas.

Para este caso se debe tomar en cuenta el peso de la tubería de perforación, el peso de la broca, el peso del terreno impregnado en la tubería y el peso del lodo de perforación dentro de la tubería.

- Cálculo del peso del tubo  $W_{tuberia}$ :

Utilizando la Ecuación del peso de la tubería en función de su peso específico y altura.

$$W_{tuberia} = \gamma * h \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

$\gamma$ : *Peso Especifico de la tubería.*

$h$ : *Altura de la tubería.*

El peso máximo de la tubería se va a dar cuando la longitud de la misma sea 150m. Peso nominal de la tubería: 6.65 kg/m.

$$W_{tuberia} = 6.65 \frac{kg}{m} * 150 * 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$W_{tuberia} = 9.785 \text{ kN}$$



- Cálculo del peso de la broca  $W_{broca}$  :

Utilizando la ecuación (4)

$$W_{Broca} = \gamma * h$$

Donde:

$\gamma$ : *Peso Especifico de la Broca.*

$h$ : *Altura de la Broca.*

$$D_o = 0.15m.$$

$$D_i = 0.10m.$$

$$L = 0.2m.$$

Siendo la densidad de la broca de perforación:

$$\rho_{ac} = 7850 \frac{kg}{m^3}$$

$$W_{broca} = \rho_{ac} \left( \frac{\pi D_o^2}{4} - \frac{\pi D_i^2}{4} \right) * L * 9.81$$

$$W_{broca} = 7850(0.15^2 - 0.10^2) * \frac{\pi}{4} * 0.2 * 9.81$$

$$W_{broca} = 151.21N$$

- Cálculo del peso del terreno ( $W_{terreno}$ ):

$$\rho_{terreno\ arenoso} \approx 2500 \frac{kg}{m^3} \quad (\text{Ver anexo 11})$$

$$W_{terreno} = V_{broca} * L_{terreno}$$

$$W_{terreno} = \frac{\pi}{4} * 0.15^2 * 02 * 2500 * 9.81$$

$$W_{terreno} \approx 100N$$

- Cálculo del peso que ejerce el lodo sobre la broca ( $W_{lodo}$ ):

Densidad del lodo de perforación:  $1.08 \text{ Kgr/cm}^3$  ( $1080 \text{ gr/cm}^3$ ).

- Calculando la presión :

$$P_{h,max} = \frac{p \cdot h}{10} \tag{Ec. (5)}$$

$$P_{h,max} = \frac{p \cdot h}{10} = \frac{1.08 \cdot 150}{10} = 16.2 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$W_{lodo} = P_{h,max} \cdot A_{broca} \tag{Ec. (6)}$$

$$W_{lodo} = 16.2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (15^2 - 6.33^2) \cdot 9.81$$

$$W_{lodo} \approx 23.1 \text{ kN}$$

- Cálculo de la fuerza de tensión aplicada en el cabezal de rotación:

$$F_{tc} = W_{tuberia} + w_{broca} + W_{terreno} + W_{lodo} \tag{Ec. (7)}$$

$$F_{tc} = 9.785 + 0.152 + 0.1 + 23.1$$

$$F_{tc} = 33.137 \text{ kN}$$

#### 4.2.2.2 ANÁLISIS DE CARGAS INTERNAS APLICADAS AL SISTEMA

Es la fuerza ejercida por la cadena, al levantar el cabezal de perforación.

- Cálculo de la fuerza ejercida por la cadena:

Utilizando la ecuación:

$$T_c [N \cdot m] = \frac{P[HP] \cdot 7.121 \cdot 10^3}{n[rpm]} \tag{Ec. (8)}$$

$$T_c = \frac{D}{2} * F_{cadena} \quad \text{Ec. (9)}$$

Igualando:

$$T_c = \frac{P * 7.121 * 10^3 * 2}{n * D} = \frac{D}{2} * F_{cadena}$$

Despejando  $F_{cadena}$

$$F_{cadena} = \frac{P * 7.121 * 10^3 * 2}{n * D} \quad \text{Ec. (10)}$$

$$V = \frac{\pi D * n}{60} \rightarrow D * n = \frac{60 * V}{\pi} \quad \text{Ec. (11)}$$

$$D * n = \frac{60 * 0.083}{\pi} = 1.59$$

Utilizando la ecuación 10 una potencia de 8 HP y reemplazando:

$$F_{cadena} = \frac{8 * 7.121 * 10^3 * 2}{1.59}$$

$$F_{cadena} = 71.84 \text{ kN}$$

La fuerza necesaria para que eleve el sistema de tuberías de perforación será de **71KN.**

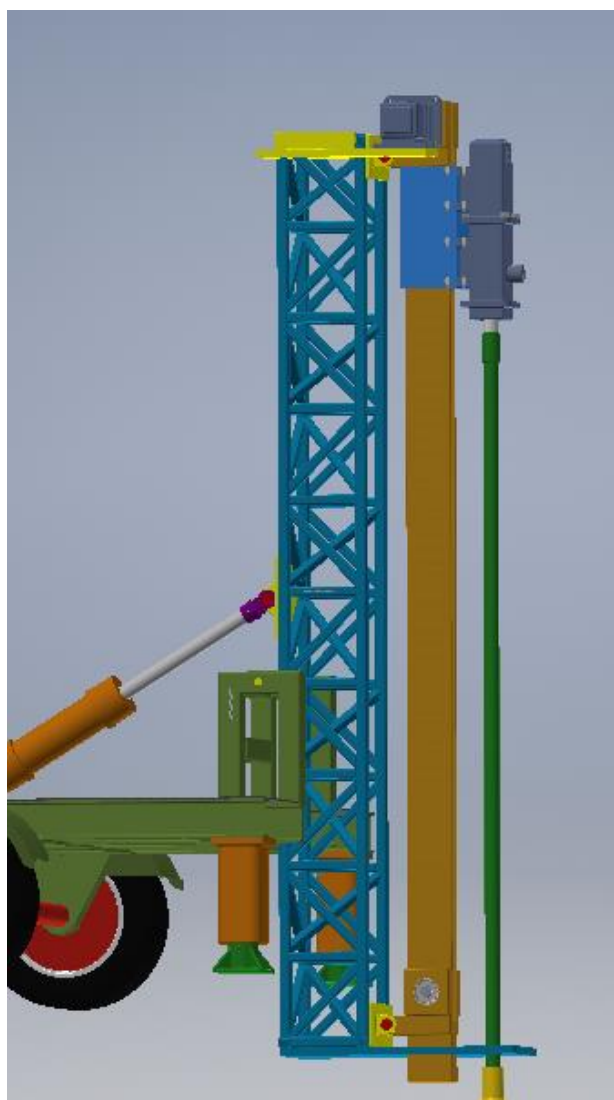
#### 4.2.3 ANÁLISIS DE ESFUERZOS

Para este caso se analiza el carro deslizante y el cabezal de rotación como un “elemento rígido” que está unido a la viga. De la misma manera que el punto anterior, en el análisis se va a realizar estudio del comportamiento mecánico del sistema cuando el carro deslizante desciende y cuando asciende.

#### 4.2.3.1 ESFUERZOS EN LA VIGA CUANDO EL CARRO DESLIZANTE ESTÁ DESCENDIENDO

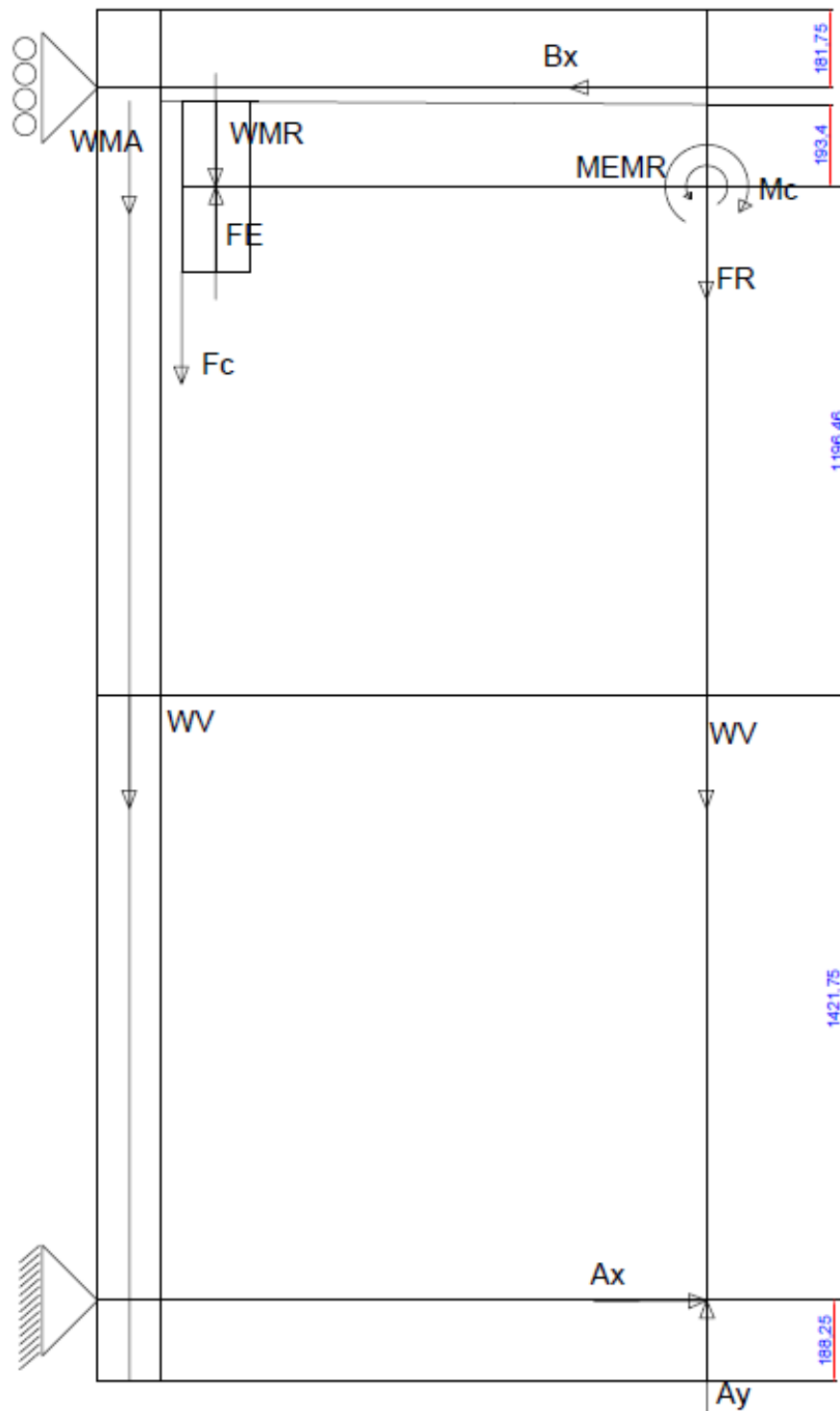
Para realizar un estudio más completo del sistema del comportamiento de la viga del bastidor, se van a calcular los esfuerzos a los que se somete dicha viga cuando el carro deslizante está en la parte superior de la viga, cuando pasa por el centro de gravedad de la viga y cuando está en la parte inferior de la misma.

*Figura 17 Posición inicial del sistema de deslizamiento.*



*Elaboración: Propia, (Autodesk Inventor 2015).*

Figura 18: Diagrama de cuerpo libre del bastidor de perforación en posición superior.



Elaboración: Propia.

Datos:

$$F_E = 26.8\text{KN}; F_{cadena} = 71.84\text{kN}; M_{EMR} = 3.34\text{KN}.$$

$$W_{MR} = 200\text{N}; W_{viga} = 1421\text{N}; W_{MA} = 500\text{N}$$

$$A_p = 2.026 * 10^{-3}10^2; Y_p = 0.0762\text{ m}$$

$$I_x = 5.95 * 10^{-6}\text{m}^4; Q = 2.68 * 10^{-5}\text{m}^3$$

Siendo:

$F_E$ : Fuerza de empuje debido a la reacción del suelo.

$F_{cadena}$ : Fuerza de arrastre desarrollada en la cadena.

$M_{EMR}$ : Momento de sumatoria de fuerzas aplicadas en el cabezal de rotación .aplicando en el eje de la viga.

$W_{MR}$ : Peso del conjunto de rotación.

$W_{MA}$ : Peso del conjunto de arrastre.

$A_p$ : Área transversal de la viga.

$Y_p$ : Distancia del eje neutro al extremo de la viga respecto al eje "x".

$I_x$ : Momento de inercia de la viga respecto al eje "x".

$Q$ : Primer momento del área respecto al eje "x".

- Cálculo de las fuerzas en los soportes de la viga:

Utilizando la ecuación de momentos en A, y la ecuación de reacción Y.

$$\sum M_A = 0 \quad \text{Ec. (12)}$$

$$2.99 + M_{EMR} = M_C$$

$$B_x = \frac{5.02\text{KN.m} - 3.34\text{KN.m}}{2.99\text{ m}} =$$

$$B_x = 0.6\text{kN}(\leftarrow)$$

$$\sum F_Y = 0$$

Ec. (13)

$$A_y = F_R + W_{viga} + w_{MA}$$

$$A_y = 47840 + 1421 + 500$$

$$A_y = 46.96KN(\uparrow)$$

$$\sum F_x = 0$$

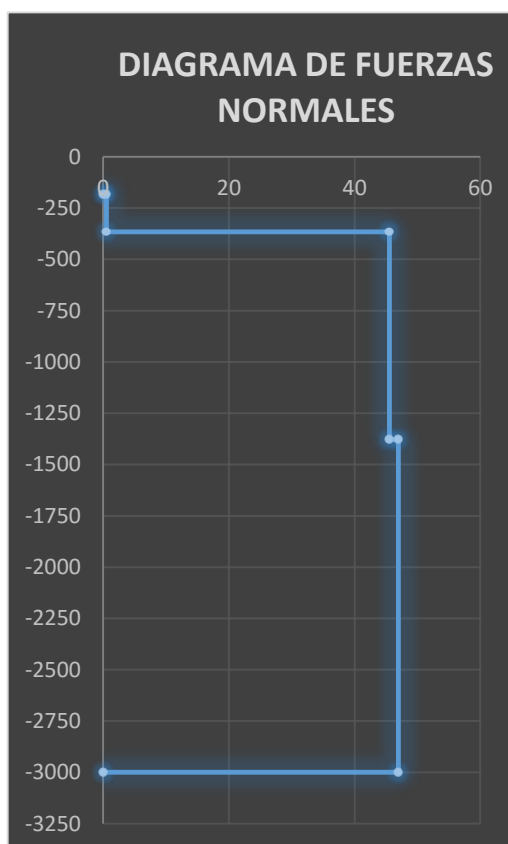
$$A_x = 0.6KN(\rightarrow)$$

$$A_x = 0.6 KN (\rightarrow)$$

$$B_x = 0.6 KN (\leftarrow)$$

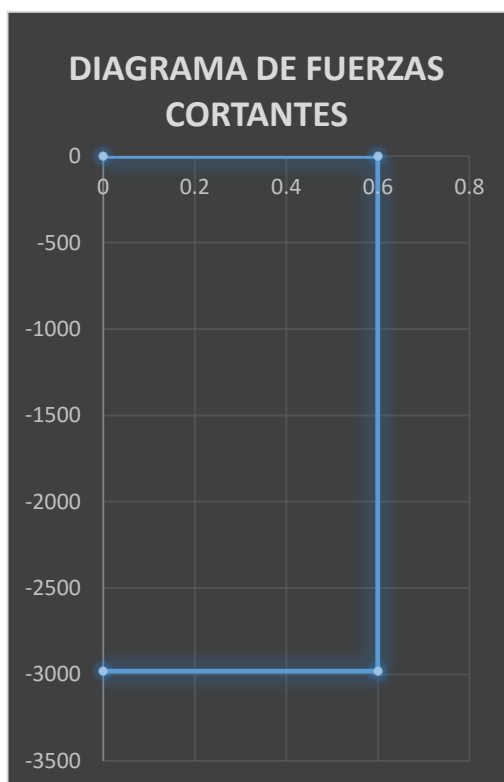
$$A_y = 46.9 KN (\uparrow)$$

Figura 19: Diagrama de fuerzas normales.



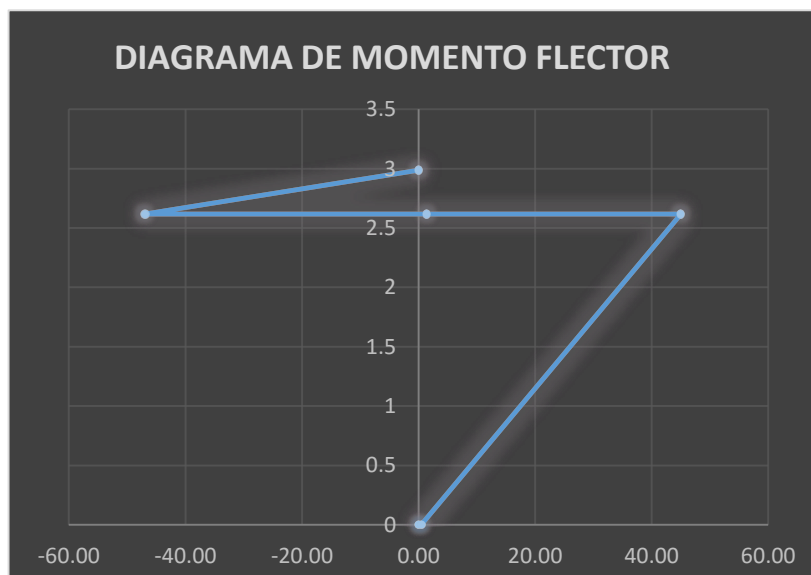
Elaboración: Propia.

Figura 20: Diagrama del momento flector.



Elaboración: Propia.

Figura 21: Diagrama de momento flector.



Elaboración: Propia.



- Cálculo del esfuerzo normal:

$$\sigma_n = \frac{N}{A_p} \quad \text{Ec. (14)}$$

$$\sigma_n = \frac{N}{A_p} = \frac{45.04 * 10^3}{2.026 * 10^{-3}}$$

$$\sigma_n = 22.23 \text{ MPa}$$

- Cálculo del esfuerzo cortante:

$$\tau_v = \frac{VQ}{It} \quad \text{Ec. (15)}$$

$$\tau_v = \frac{VQ}{It} = \frac{(0.6 * 10^3) * (2.68 * 10^{-5})}{(5.95 * 10^{-6}) * (4.763 * 10^{-3})}$$

$$\tau_v = 0.57 \text{ MPa}$$

- Cálculo de esfuerzo por flexión:

$$\sigma_f = \frac{M_f Y_p}{I_x} \quad \text{Ec. (16)}$$

$$\sigma_f = \frac{M_f Y_p}{I_x} = \frac{(2.61 * 10^3)(0.0762)}{5.95 * 10^{-6}}$$

$$\sigma_f = 33.47 \text{ MPa}$$

- Cálculo del esfuerzo equivalente por el método de Von Mises:

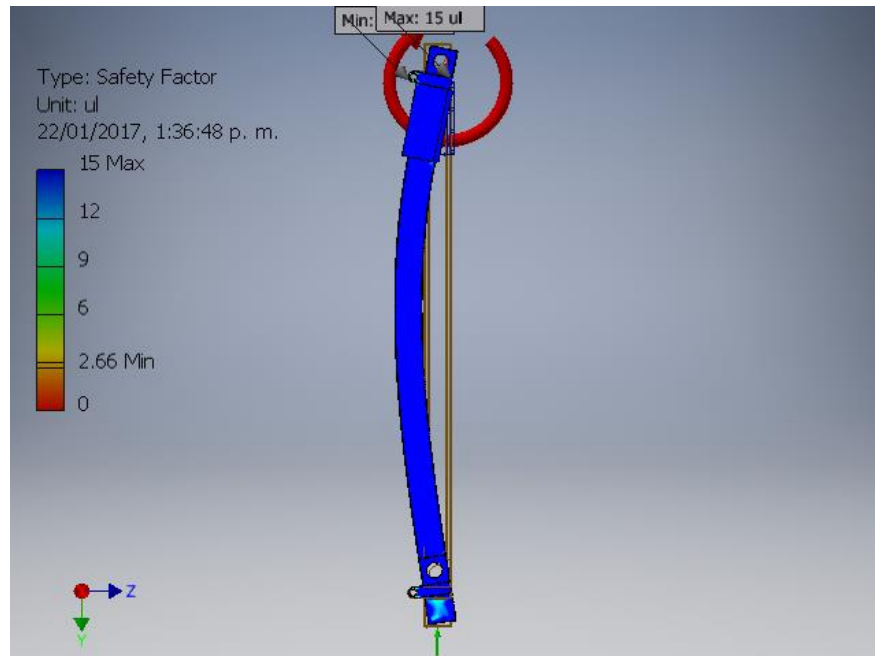
$$\sigma'_{eq} = \sqrt{(\sigma_f + \sigma_n)^2 + 3\tau_v^2} \quad \text{Ec. (17)}$$

$$\sigma'_{eq} = \sqrt{(33.47 + 22.23)^2 + 3(0.57)^2}$$

$$\sigma'_{eq} = 55.70 \text{ MPa}$$

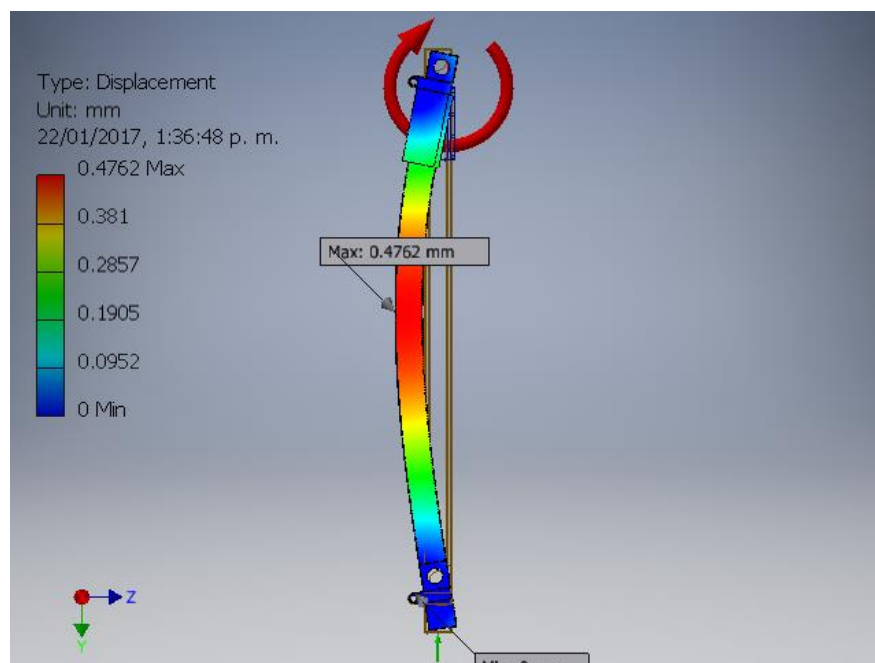
- Análisis cuando los esfuerzos se concentran en la parte superior de la viga, se consideró un Acero ASTM A36.

Figura 22: Factor de seguridad de la viga de acero ASTM A36.



Elaboración: Propia, (Autodesk Inventor 2015).

Figura 23: Desplazamiento debido al esfuerzo en la viga de perforación.



Elaboración: Propia, (Autodesk Inventor 2015).

#### 4.2.3.2 ESFUERZOS EN LA VIGA CUANDO EL CARRO DESLIZANTE SE ENCUENTRA EN EL CENTRO DE LA VIGA

Datos:

$$F_E = 26.8KN ; F_{cadena} = 71.84kN ; M_{EMR} = 3.34KN.m$$

$$W_{MR} = 200N ; W_{viga} = 1421N ; W_{MA} = 500N$$

$$M_C = 5.02KN.m ; F_n = 48.04KN$$

$$A_p = 2.026 * 10^{-3} m^2 ; Y_p = 0.0762 m$$

$$I_x = 5.95 * 10^{-6} m^4 ; Q = 2.68 * 10^{-5} m^3$$

Siendo:

$F_x$ : Fuerza de empuje debido a la reacción del suelo.

$F_{cadena}$ : Fuerza de arrastre desarrollada en la cadena.

$M_{EMR}$ : Momento de sumatoria de fuerzas aplicadas en el cabezal de rotación aplicado en el eje de la viga.

$W_{MR}$ : Peso del conjunto de rotación.

$W_{MA}$ : Peso del conjunto de arrastre.

$A_p$ : Área transversal de la viga.

$Y_p$ : Distancia del eje neutro al extremo de la viga respecto al eje "x".

$I_x$ : Momento de inercia de la viga respecto al eje "x".

$Q$ : Primer momento de área respecto al eje "x".

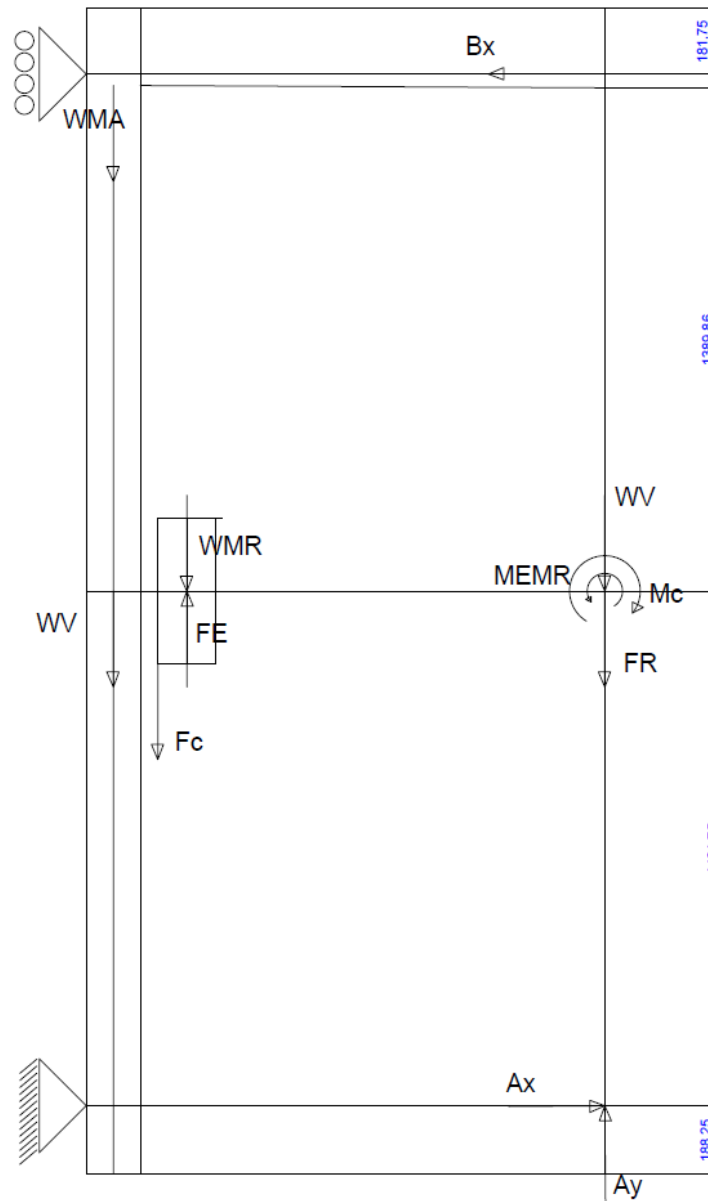
Utilizando las ecuaciones (9) y (10).

$$A_x = 0.6 KN (\rightarrow)$$

$$B_x = 0.6KN (\leftarrow)$$

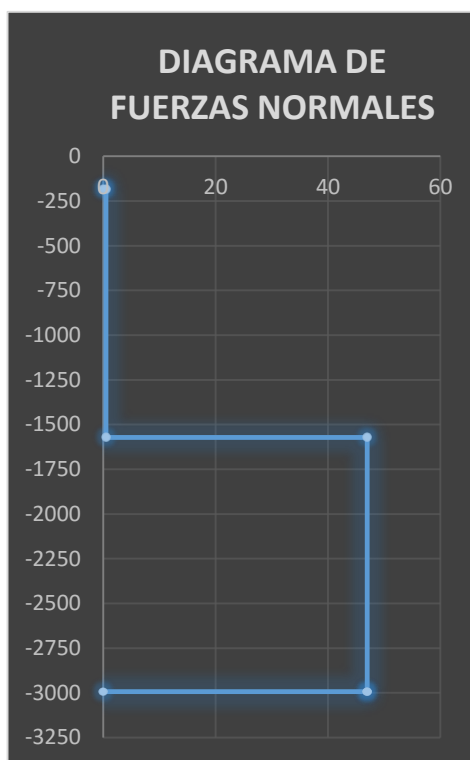
$$A_y = 46.96 KN (\uparrow)$$

Figura 24: Diagrama de cuerpo libre cuando el sistema de deslizamiento se encuentra en la parte central.



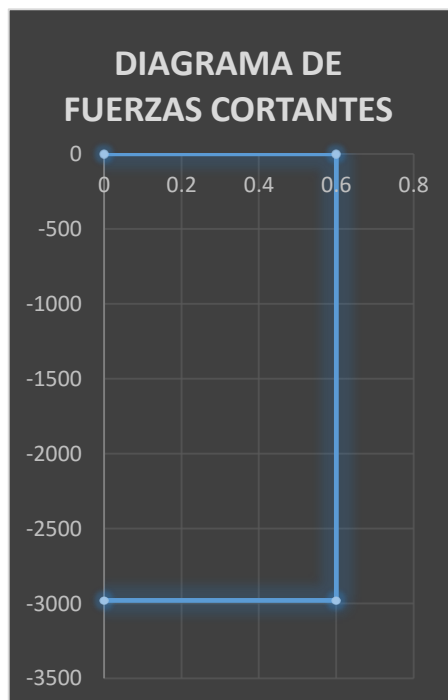
Elaboración: Propia.

Figura 25: Diagrama de fuerzas normales.



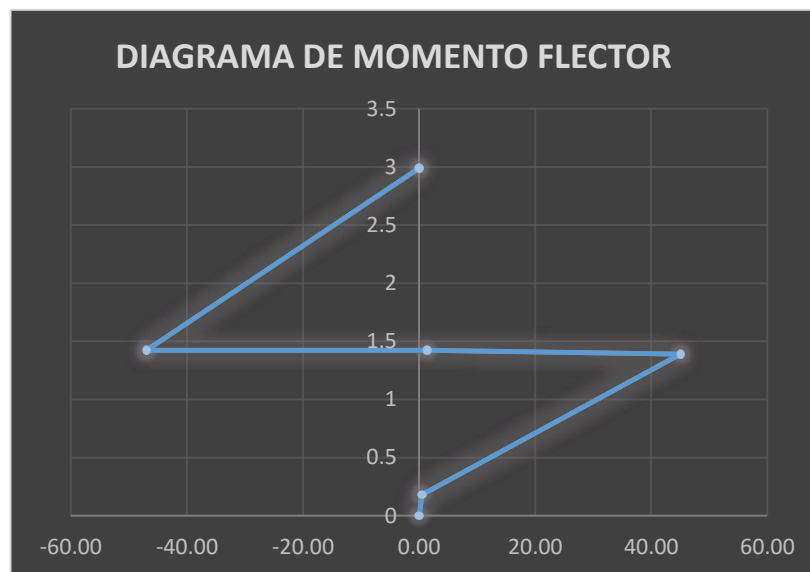
Elaboración: Propia.

Figura 26: Diagrama de fuerzas cortantes.



Elaboración: Propia.

Figura 27: Diagrama de momento flector.



Elaboración: Propia.

- Cálculo del esfuerzo normal: Utilizando la ecuación (14)

$$\sigma_n = \frac{N}{A_v} = \frac{46.96 * 10^3}{2.026 * 10^{-3}}$$

$$\sigma_n = 23.17 MPa$$

- Cálculo del esfuerzo cortante: Utilizando la ecuación (15)

$$\tau_v = \frac{VQ}{It} = \frac{(0.6 * 10^3) * (2.68 * 10^{-5})}{(5.95 * 10^{-6}) * (4.763 * 10^{-3})}$$

$$\tau_v = 0.57 MPa$$

- Cálculo del esfuerzo por flexión: Utilizando la ecuación (16)

$$\sigma_f = \frac{M_f Y_p}{I_x} = \frac{(1.49 * 10^3)(0.0762)}{5.95 * 10^{-6}}$$

$$\sigma_f = 19.02 MPa$$

- Cálculo del esfuerzo equivalente por el método de Von Mises: Utilizando la ecuación (17).

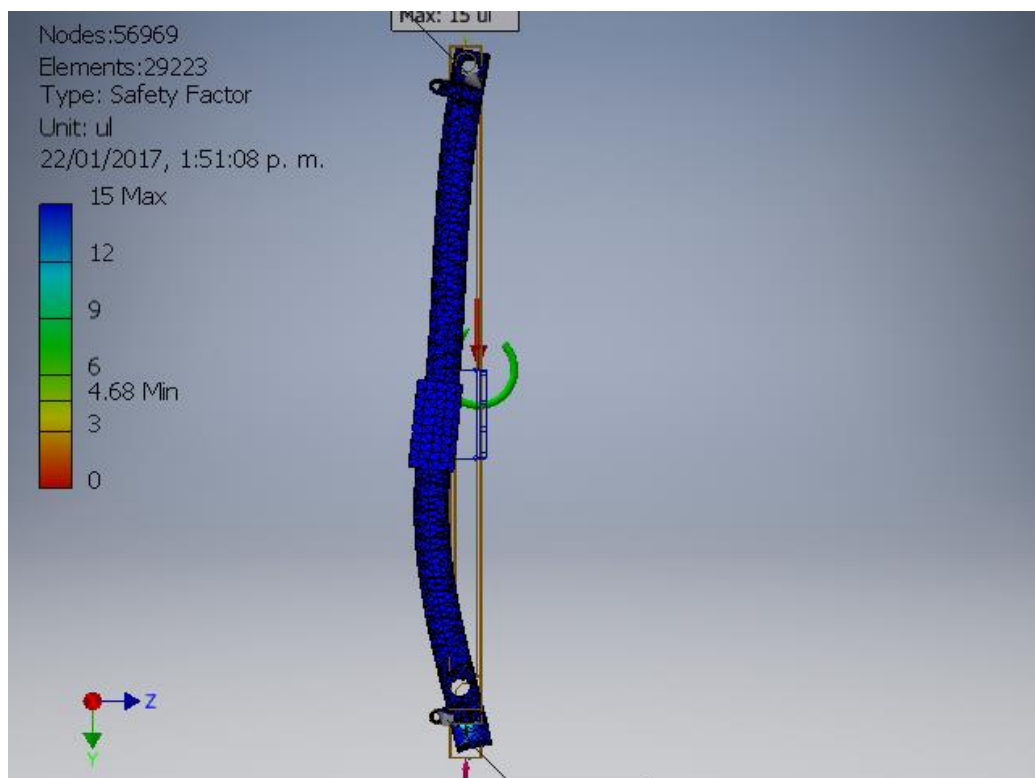
$$\sigma'_{eq} = \sqrt{(\sigma_f + \sigma_n)^2 + 3\tau_v^2}$$

$$\sigma'_{eq} = \sqrt{(19.02 + 23.17)^2 + 3(0.57)^2}$$

$$\sigma'_{eq} = 42.20 \text{ MP}$$

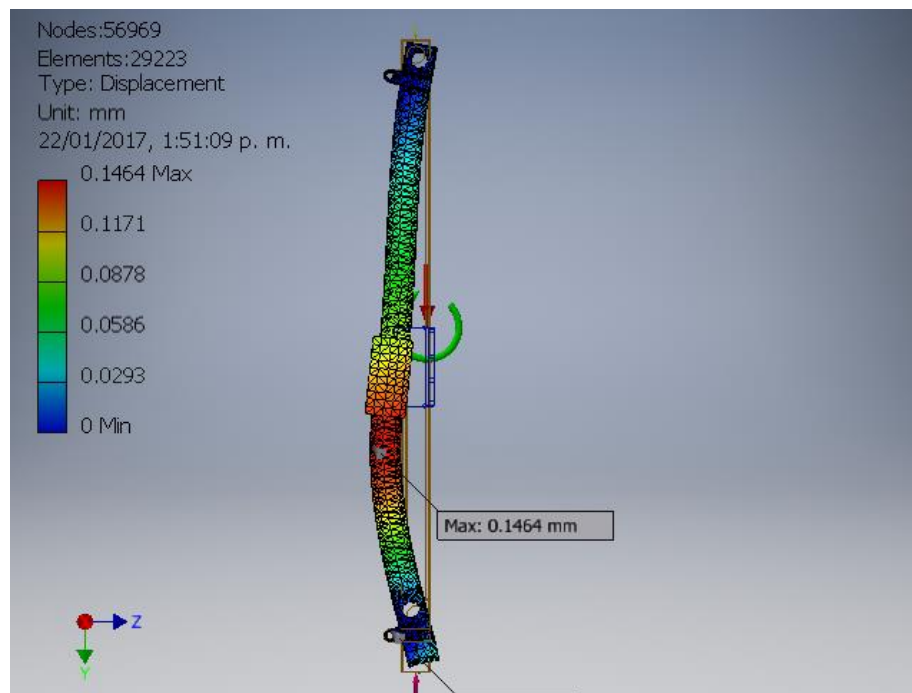
- Análisis con el inventor 2015, cuando la los esfuerzos se concentran en la parte central de la viga. Considerando también un Acero ASTM A36.

*Figura 28: Factor de seguridad de la viga, esfuerzos en la parte central.*



*Elaboración: Propia, (Autodesk Inventor 2015).*

Figura 29: Desplazamiento de la viga, debido a los esfuerzos.



Elaboración: Propia, (Autodesk Inventor 2015).

#### 4.2.3.3 ESFUERZOS EN LA VIGA CUANDO EL CARRO DESLIZANTE SE ENCUENTRA EN LA PARTE INFERIOR

Datos:

$$F_E = 26.8 \text{ kN} ; F_{\text{cadena}} = 71.84 \text{ kN.m}$$

$$W_{MR} = 200 \text{ N} ; W_{\text{viga}} = 1421 \text{ N} ; W_{MA} = 500 \text{ N}$$

$$M_C = 5.02 \text{ kN.m} ; F_R = 48.04 \text{ kN}$$

$$A_p = 2.026 * 10^{-3} \text{ m}^2 ; Y_p = 0.0762 \text{ m}$$

$$I_x = 5.95 * 10^{-6} \text{ m}^4 ; Q = 2.68 * 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$A_x = 0.6 \text{ kN}$$

$$B_x = 0.6 \text{ kN}$$

$$A_y = 46.9 \text{ kN}$$

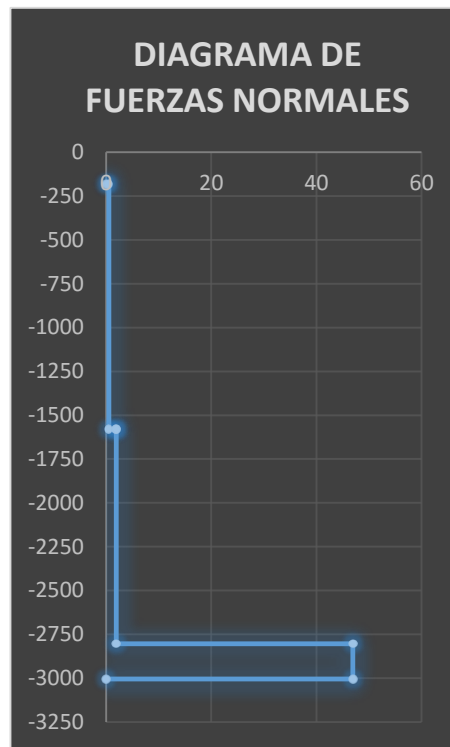


Figura 30: Diagrama de cuerpo libre cuando los esfuerzos se encuentran en la parte inferior.



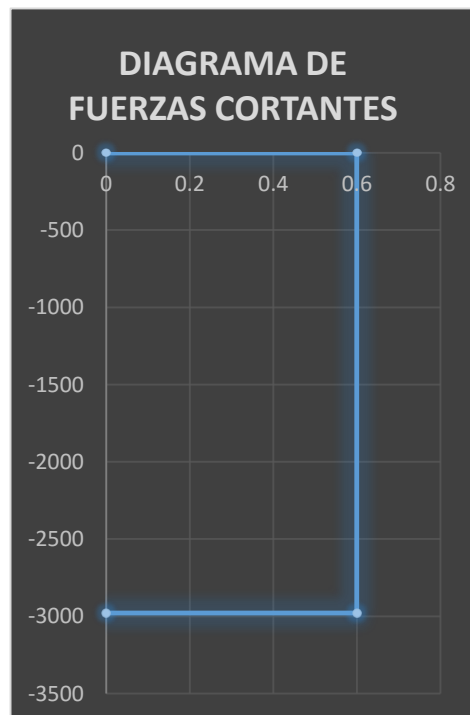
Elaboración: Propia.

Figura 31: Diagrama de fuerzas normales.



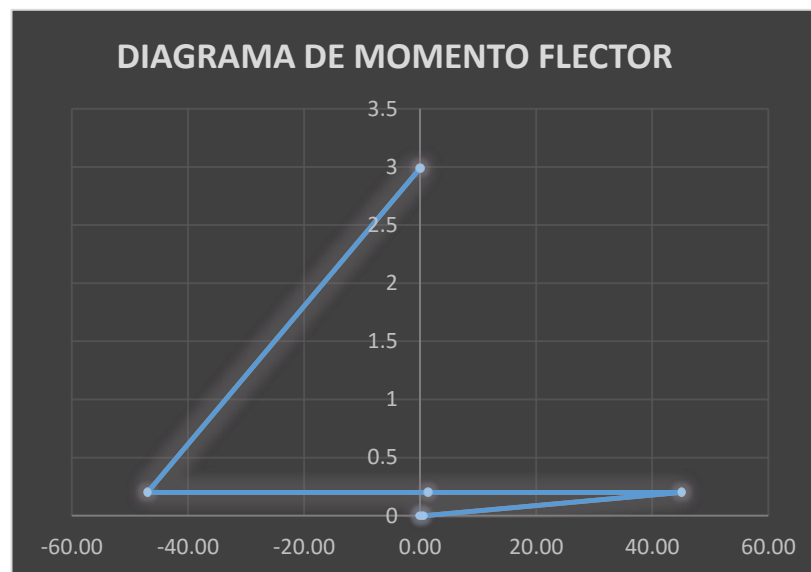
Elaboración: Propia.

Figura 32: Diagrama de fuerzas cortantes



Elaboración: Propia.

Figura 33: Diagrama de momento flector



*Elaboración: Propia.*

- Cálculo del esfuerzo normal: Utilizando la ecuación (14)

$$\sigma_n = \frac{N}{A} = \frac{46.96 * 10^3}{2.026 * 10^{-3}}$$

$$\sigma_n = 23.17 \text{ MPa}$$

- Cálculo del esfuerzo de cortante: Utilizando la ecuación (15)

$$\tau_v = \frac{VQ}{A_v} = \frac{(0.6 * 10^3) * (2.68 * 10^{-5})}{(5.95 * 10^{-6}) * (4.763 * 10^{-3})}$$

$$\tau_v = 0.56 \text{ MPa}$$

- Cálculo del esfuerzo por flexión: Utilizando la ecuación (16)

$$\sigma_f = \frac{M_f Y_p}{I_x} = \frac{(2.61 * 10^3)(0.0762)}{5.95 * 10^{-6}}$$

$$\sigma_f = 33.47 \text{ MPa}$$

- Cálculo del esfuerzo equivalente por el método de Von Mises: Utilizando la ecuación (17)

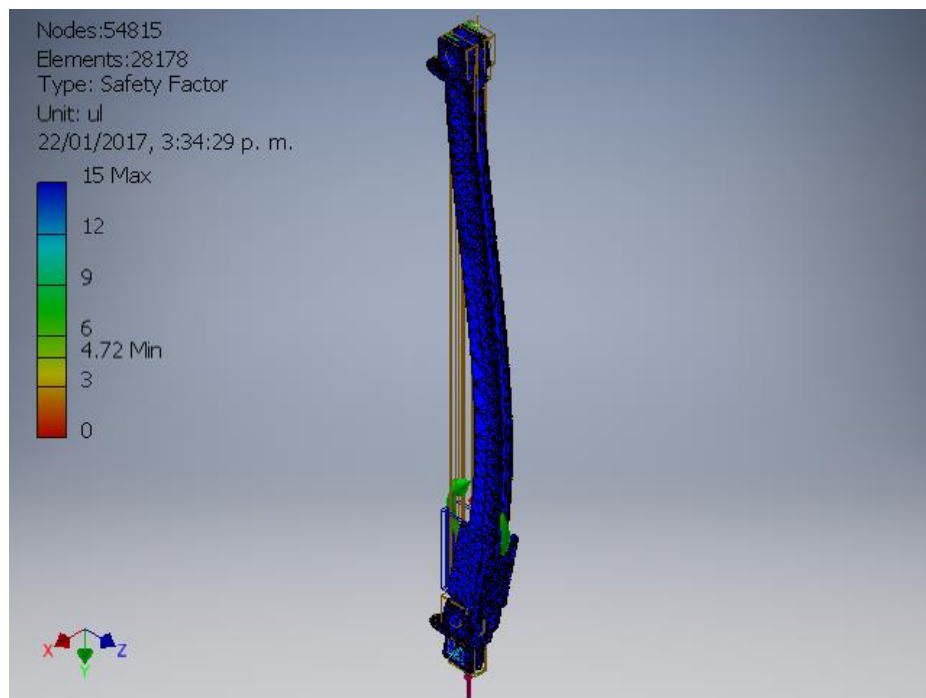
$$\sigma'_{eq} = \sqrt{(\sigma_f + \sigma_n)^2 + 3\tau_v^2}$$

$$\sigma'_{eq} = \sqrt{(33.47 + 23.17)^2 + 3(0.56)^2}$$

$$\sigma'_{eq} = 56.64MPa$$

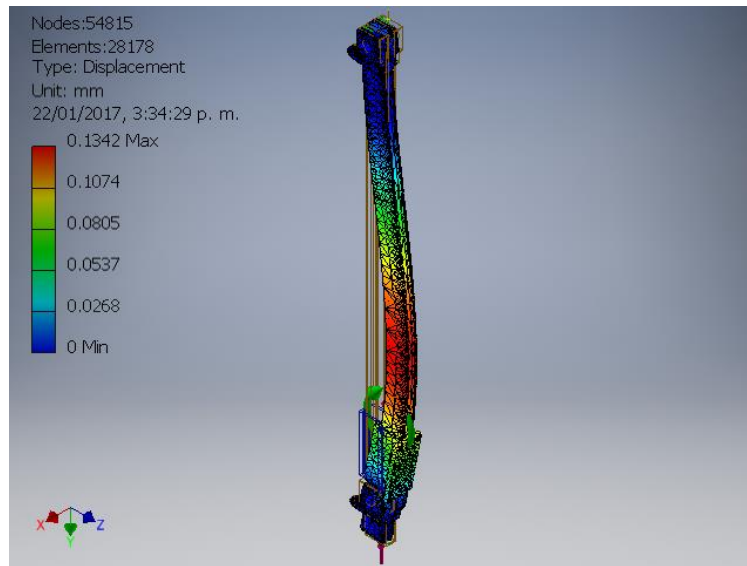
- Cálculo utilizando el Inventor 2015:

*Figura 34: Factor de seguridad de la viga cuando los esfuerzos se encuentran en la parte inferior.*



*Elaboración: Propia, (Autodesk Inventor 2015).*

Figura 35: Desplazamiento en la viga, debido a las fuerzas concentradas en parte inferior.

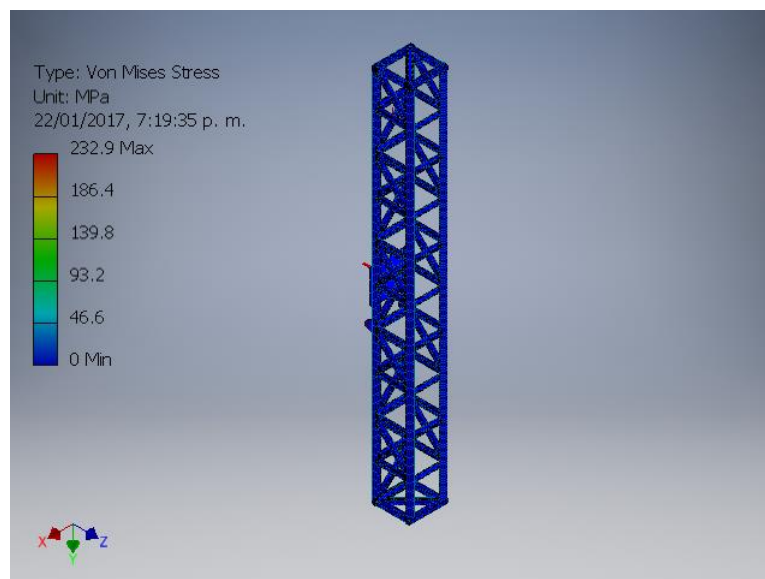


Elaboración: Propia, (Autodesk Inventor 2015).

#### 4.2.4 ANÁLISIS DE LA TORRE DE PERFORACIÓN

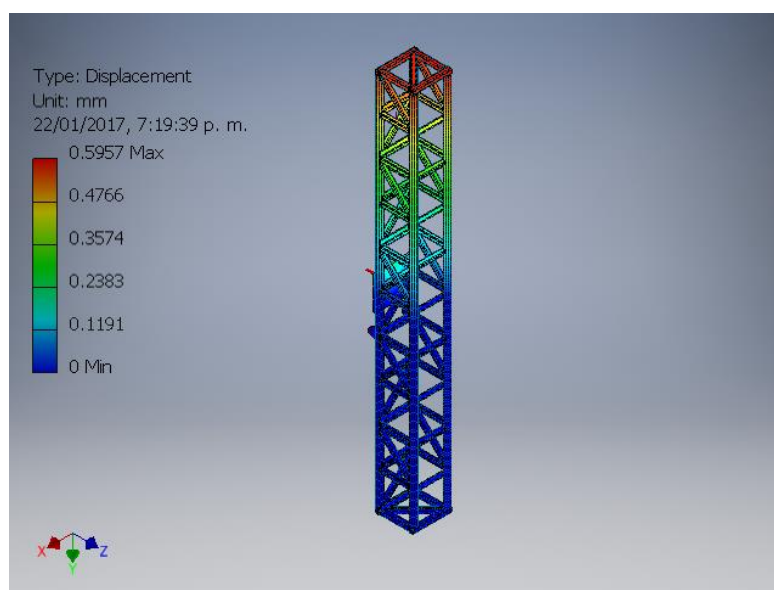
Este elemento consiste en una estructura metálica que será de soporte a la viga de perforación, se hizo un breve análisis con el programa Inventor 2015.

Figura 36: Esfuerzo de Von Mises



Elaboración: Propia, (Autodesk Inventor 2015).

Figura 37: Desplazamiento máximo será en la parte superior.



Elaboración: Propia, (Autodesk Inventor 2015).

#### 4.2.5 ANALISIS DEL PIN

Sabiendo de los cálculos anteriormente realizados en el momento más crítico de la perforación, ese caso se da cuando el cabezal está descendiendo ubicado en la parte superior. En esta parte se hace el cálculo de las fuerzas del Pin, de la estructura que soporta la viga de perforación.

Para ello se toman los cálculos de los esfuerzos en el punto A:

$$A_x = 0.6kN$$

$$A_y = 46.96 kN$$

Realizamos el diagrama de cuerpo libre para hallar las fuerzas en el Pin y para el cilindro hidráulico.

Siendo:

$C_x$  : Fuerza ejercida por el Pistón hidráulico en el eje "x".

$C_y$  : Fuerza ejercida por el Pistón hidráulico en el eje "y".

Utilizando las ecuaciones (12) y (13).

$$\sum F_x = 0$$

$$O_x = C_x$$

$$\sum F_y = 0$$

$$A_y + O_y = C_y$$

$$46.96 + O_y = C \sin(30^\circ)$$

$$O_y = 0.5C - 46.96$$

$$\sum M_0 = 0$$

$$1146A_x + 300A_y + 1340B_x = 300C_x$$

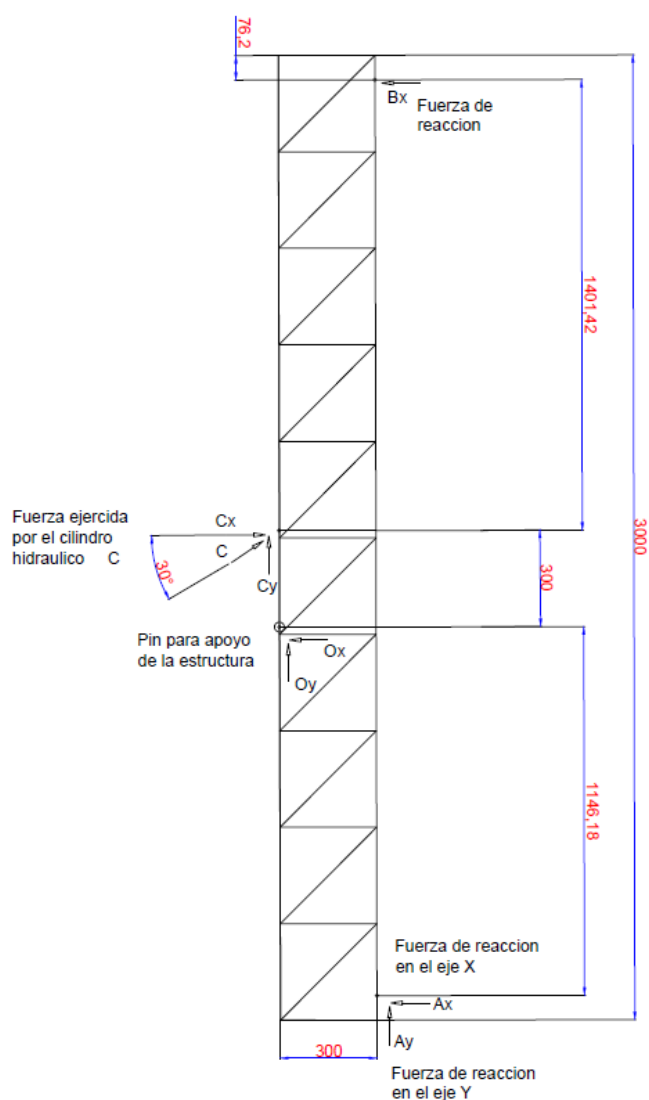
$$C_x = C \cos(30^\circ)$$

$$C = 63.75 \text{ kN}$$

$O_y = 51.87 \text{ kN}$  (↑) Fuerza vertical que actúa en el pin.

$O_x = 16.15 \text{ kN}$  (←) Fuerza horizontal que actúa en el pin.

Figura 38: Diagrama de cuerpo libre para el pin de apoyo de la estructura.



Elaboración: Propia.

#### 4.2.5.1 SELECCIÓN DE MATERIAL DEL PIN

El material seleccionado para soportar las fuerzas actuantes directamente sobre el pin pivotante es el 40NiCrMo7 según norma DIN o AISI/SAE 4340. Acero de buena templabilidad, tenacidad y resistencia a la fatiga. Se suministra en estado bonificado con una dureza aproximada de 260H a 320HB, ideal para fabricar piezas y herramientas expuestas a tracción, torsión, flexión y que además estén expuestas a altos esfuerzos dinámicos y mecánicos.



*Tabla 2: Composición química del acero AISI /SAE 4340*

**SAE 4340**

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	S	P
0,38 - 0,43	0,15 - 0,3	0,6 - 0,8	0,7 - 0,9	1,65 - 2	0,2 - 0,3	≤ 0,04	≤ 0,035

Fuente: <http://www.thyssenkrupp.cl/archivos/34CrNiMo6.pdf>, Catalogo comercial

*Figura 39: Pin de apoyo a la estructura de la torre.*



*Elaboración: Propia, (Autodesk Inventor 2015).*

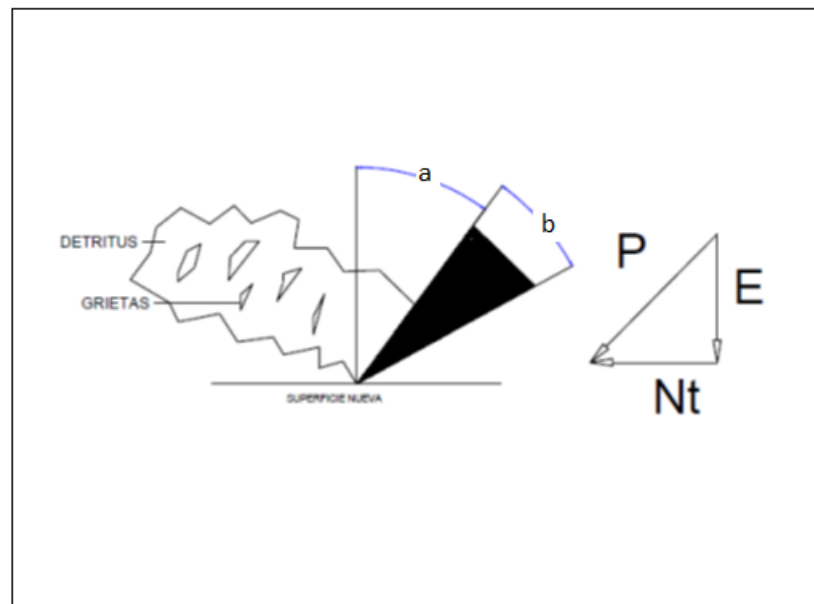
## 4.2.6 ANÁLISIS DE LA BROCA DE PERFORACIÓN

### 4.2.6.1 ANÁLISIS DE LA FUERZA DE CORTE APLICADA SOBRE LA ROCA

El análisis de la fuerza de corte en el campo de las perforaciones de pozos, es similar al análisis de la fuerza de corte aplicada en la perforación de elementos maquinados utilizando taladros de banco.

Esta fuerza se descompone en dos: una fuerza tangencial ( $N_t$ ) y otra vertical. Conocidas como fuerza de empuje ( $F_E$ )

*Figura 40: Fuerzas aplicadas al corte.*



*Elaboración: Propia.*

Como sabemos la fuerza de empuje es  $F_E = 20.8 \text{ kN}$  , la  $N_t$  está dada por la siguiente ecuación.

$$T_r = \frac{2}{3} \mu F_E \left( \frac{r_0^3 - r_i^3}{r_0^2 - r_i^2} \right) \quad \text{Ec. (18)}$$

Dónde:

$T_r$ : Par resistente.

$\mu$ : Coeficiente de fricción de la roca.

$F_E$ : Fuerza de empuje de la broca.

$r_0$ : Radio exterior de la broca.

$r_i$ : Radio interior de la broca.

Considerando un coeficiente de fricción de la roca igual a la tangente del ángulo de corte. El ángulo de fricción de las rocas varía entre 25° y 45° para las de mayor dureza. Para este análisis se tomará un ángulo de corte igual a 30°.

Tabla 3: Ángulos de corte.

Material	Peso KN/m3	Angulo	Material	Peso KN/m3	Angulo
Arena	14 a 19	30°	Carbon en leña de trozos	4	45°
Rena de piedra pomez	7	35°	Hulla		
Arena y grava	15 a 20	35°	Briquetas amontonadas	8	35°
Cal suelta	13	25°	Briquetas apiladas	13	-
Cemento clinker suelto	16	28°	En bruto de mina	10	35°
Cemento en sacos	15		Pulverizada	7	25°
Escoria de altos hornos			Leña	5.4	45°
Troceada	17	40°	Lignito		
Granulada	12	30°	Briquetas amontonadas	7.8	30°
Triturada de espuma	9	35°	Briquetas apiladas	12.8	-
Poliéster en resina	12	-	En bruto de mina	7.8 a 9.8	30° a 40°
Polietileno, poliestirol granulado	6.4	30°	Pulverizado	4.9	25° a 40°
Resinas y colas	13	-	Turbanegra y seca		
Yeso suelto	15	25°	Muy empaquetada	6 a 9	-
Agua dulce	10	-	Amontonada y suelta	3 a 6	45°

Elaboración: Propia

Se sabe que el diámetro de la broca de perforación será de 6 pulgadas, por lo tanto el radio interno será de 3 pulg. Por lo tanto el radio externo  $r_0$  de la broca será de 3 pulg. Para el diámetro interno  $2r_1$  se va considerar el diámetro de la tubería de perforación que es 2 pulg.

- Cálculo de coeficiente de fricción  $\mu$ :

$$\mu = \tan(\varphi) \mu = \tan(30^\circ) \quad \text{Ec. (19)}$$

$$\mu = 0.577$$

- Cálculo del par resistente  $T_r$ : Utilizando la ecuación 18

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

$$T_r = \frac{2}{3} * 0.577 * 20.8 \left( \frac{0.0762^3 - 0.0302^3}{0.0762^2 - 0.0302^2} \right)$$

$$T_r = 0.6782 \text{ kN.m} = 446.4 \text{ N.m}$$

- Cálculo de la fuerza tangencial  $N_t$ :

$$N_t = r_0 T_r \quad \text{Ec. (20)}$$

$$N_t = 446.4 * 0.0762$$

$$N_t = 34.02 \text{ N}$$

- Cálculo de la fuerza de corte  $P$

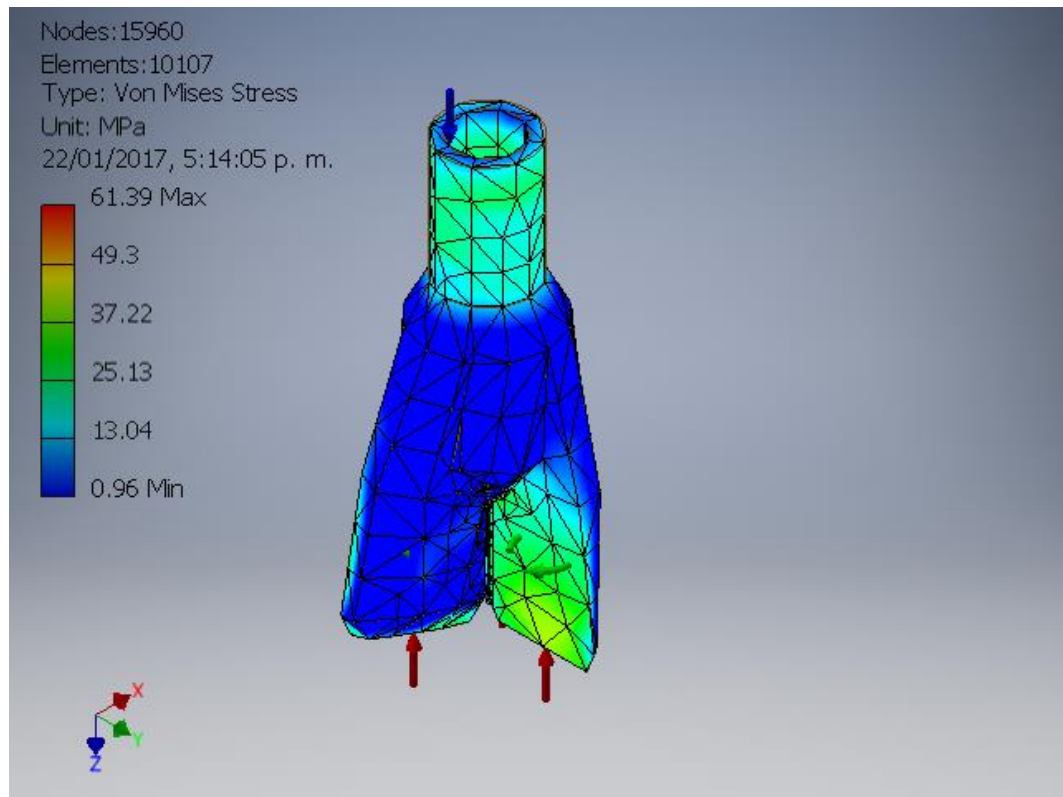
$$P = \sqrt{F_E^2 + N_t^2} \quad \text{Ec. (21)}$$

$$P = \sqrt{20800^2 + 34.02^2}$$

$$P = 20800.027 \text{ N}$$

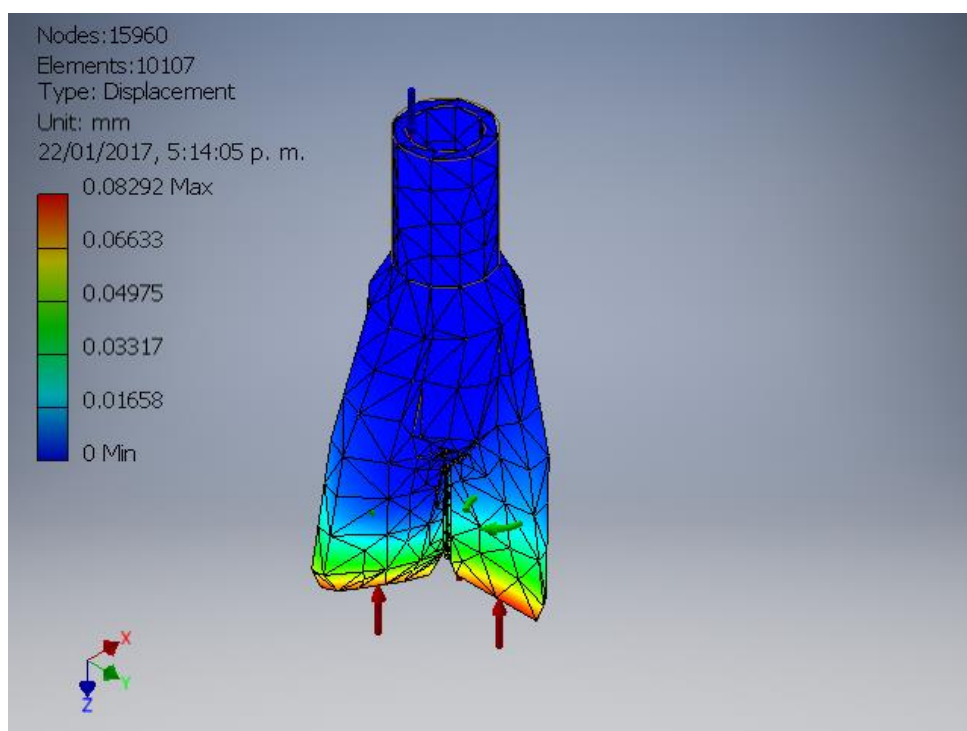
- Análisis de esfuerzos de la broca de perforación con el inventor 2015.

*Figura 41: Criterio de Von Mises para la broca de perforación.*



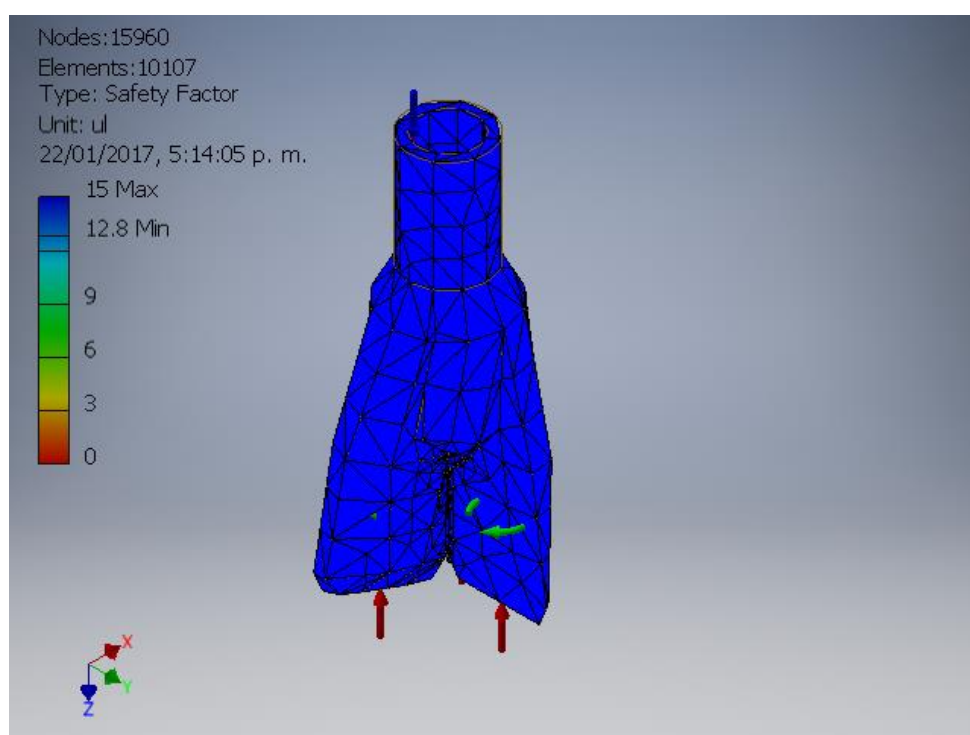
*Elaboración: Propia, (Autodesk Inventor 2015).*

Figura 42: Desplazamiento máximo debido a las fuerzas de empuje.



Elaboración: Propia, (Autodesk Inventor 2015).

Figura 43: Factor de seguridad de la broca de perforación.



Elaboración: Propia, (Autodesk Inventor 2015).

#### 4.2.6.2 POTENCIA DE ROTACIÓN

La potencia de rotación en HP, necesaria para hacer girar la broca, calcula utilizando la siguiente formula:

$$HP_r = 8.55 * 10^{-9} \phi^2 N_r F_E^2 \quad \text{Ec. (22)}$$

Dónde:

$HP_r$ : Potencia de rotación (HP).

$\phi$ : Diámetro de la broca (mm).

$N_r$ : Velocidad de rotación (RPM).

$F_E$ : Fuerza de empuje sobre roca (kN).

- Cálculo de la potencia de rotación: Utilizando la ecuación (22).

$$HP_r = 8.55 * 10^{-9} \phi^2 N_r F_E^2$$

$$HP_r = 8.55 * 10^{-9} * 152.4^2 * 100 * 20.8^2$$

$$.HP_r = 8.5 \text{ HP}$$

#### 4.2.6.3 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE PENETRACIÓN.

Para este cálculo se considerará la velocidad de rotación del equipo de perforación que es de 100 rpm, considerando la resistencia de compresión de rocas blandas de 18Mpa y el diámetro de la broca que es de 6 pulg.

Utilizando la Ecuación (2), de R. Praillet.

$$VP = \frac{63.9 * F_E * N_r}{S_C^2 * \phi^{0.9}}$$

Donde:

$VP$ : Velocidad de penetración (m/s).

$F_E$ : Fuerza de Empuje sobre la roca (Kg)

$N_r$ : Velocidad de rotación (RPM).

$S_C$ : Resistencia a compresión de las rocas (Mpa).

$\emptyset$ : Diámetro de la broca de perforación (mm).

Desarrollando esta ecuación.

$$VP = \frac{63.9 * 2122.4 * 100}{20.8^2 * 152.4^{0.9}}$$

$$VP = 340.02$$

$$VP = 5.66m/min.$$

#### 4.2.7 ANÁLISIS DE TUBERIAS DE PERFORACIÓN.

Para el varillaje de extensión, se ha seleccionado una tubería de diámetro externo de 2 pulgadas y 2.5 m de longitud.



Tabla 4: Propiedades Mecánicas de la tubería de perforación.

Propiedades de la tubería de perforación	Unidades
Diámetro Externo	50.8mm
Diámetro Interno	41.28mm
Espesor	9.52mm
Área transversal	1376.9mm <sup>2</sup>
Densidad	7.85g/cm <sup>3</sup>
Resistencia a Tracción	345Mpa
Módulo de Young	200Gpa
Coefficiente de poisson	0.3ul
Módulo de Corte	75.92Gpa
Esfuerzo permisible a la fluencia	517Mpa
Esfuerzos permisible a la rotura	689Mpa
Resistencia máxima a la torsión	8541.653N.m
Resistencia máxima a tensión	63000Kg
Resistencia máxima al colapso	107.6Mpa
Presión interna	106.7Mpa

*Elaboración: Propia.*

#### 4.2.7.1 FUERZAS APLICADAS A LA TUBERÍA DE PERFORACIÓN

La tubería de perforación estará sometida a cargas indirectas que se transmitirán por medio de la broca de perforación y por medio del motor hidráulico de rotación, así como cargas directas que aparecerán como resultado de la fricción entre ésta y las partículas de rocas que irán ascendiendo hacia la superficie. Para el análisis se considera el caso cuando la tubería de perforación se encuentra a la máxima profundidad.

**A. Fuerza de reacción al empuje sobre la roca**

Esta fuerza se producirá para un empuje máximo.

$$F_E = F_{min}$$

$$F_E = 26.8kN$$

**B. Fuerza debido al peso de la tubería y componentes**

Esta fuerza está compuesta por el peso de la tubería, el peso de la broca, el peso del terreno y el peso del lodo. De la ecuación (7).

$$F_{tc} = W_{tuberia} + W_{broca} + W_{terreno} + W_{lodo}$$

$$F_{tc} = 9.78 + 0.152 + 0.1 + 23.1$$

$$F_{tc} = 33.13 kN$$

**C. Fuerza de corte debido al par torsor aplicado por el motor de giro**

El par torsor aplicado sobre la tubería será el mismo que se aplica en el eje de la broca y que se calculó  **$Tr = 446.4 N m$**

$$F_c = Tr \phi_{tuberia} \quad Ec. (23)$$

$$F_c = 446.4 * 0.0508$$

$$F_c = 22.67 N$$

**D. Fuerza de corte debido al rozamiento de las partículas de la broca**

Para calcular la fuerza de corte, se supondrá una densidad de la tierra igual a 2500 kg/m<sup>3</sup>. Para hallar dicha fuerza por unidad de longitud, se debe calcular previamente el volumen de la tubería de perforación para una altura máxima de 150 m. Utilizando la ecuación de volumen en función de la longitud y área de la tubería.

$$V_{Tuberia} = L_{Tuberia} * \frac{\pi}{4} (\phi_0^2 - \phi_1^2) \quad Ec. (24)$$

$$V_{Tuberia} = 150 * \frac{\pi}{4} (0.05080^2 - 0.04128^2)$$

$$V_{Tuberia} = 0.103 m^3$$

Donde:

$V_{Tuberia}$  : Volumen de la tubería ( $m^3$ ).

$L_{Tuberia}$  : Longitud de la tubería (m).

$\emptyset_0$  : Diametro externo de la tubería (m).

$\emptyset_1$  : Diametro interno de la tubería (m).

Para calcular la masa de suelo que hace contacto con la tubería de perforación se hace uso de la siguiente ecuación de la densidad de la tubería:

$$M_t = \rho_{terreno} V_{tuberia} \quad \text{Ec. (25)}$$

$$M_t = 2500 * 0.103 = 257.5 \text{Kg}$$

Donde:

$M_t$ : Masa de roca triturada en contacto con la tubería (m)

$\rho_{terreno}$ : Densidad de la roca perforada ( $\text{Kg}/m^3$ )

La fuerza de corte va a estar dada por el peso de las partículas de roca repartido a lo largo de toda la tubería.

$$F_t = M_t * 9.81 \quad \text{Ec. (26)}$$

$$F_t = 2526.07 \text{N}$$

Dónde:

$F_t$ : Fuerza de corte sobre la tubería por efecto de la roca triturada (N).

### E. Fuerzas internas debido a la presión hidráulica del lodo de perforación

El lodo de perforación que fluye por el interior de la tubería con el fin de ser expulsado por las toberas de la broca al exterior, las partículas de roca que son removidas, produce que la pared interior de la tubería este sometida a fuerzas internas. Primero se calcula la presión hidráulica que ejerce el lodo sobre la tubería, para un lodo de perforación con una densidad igual a 1080 kg/m<sup>3</sup>.

$$P_{h,max} = \rho_{todo} * g * h_{tuberia} \quad Ec. (27)$$

$$P_{h,max} = 108 * 150 * 9.81$$

$$P_{h,max} = 1589220 \text{ N/m}^2 = 1589 \text{ kN/m}^2$$

Dónde:

$P_{h,max}$ : Presión hidráulica máxima en la tubería (N/m<sup>2</sup>).

$\rho_{todo}$ : Densidad del lodo de perforación (Kg/m<sup>3</sup>).

$g$ : Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>).

$h_{tuberia}$ : Altura de la tubería de perforación (m).

Conociendo la presión hidráulica y el área de la pared interna de la tubería, se puede calcular la fuerza interna debido a la presión hidráulica generada por el lodo.

### F. Torque a la fuerza de corte producida por el rozamiento de las partículas sobre la broca.

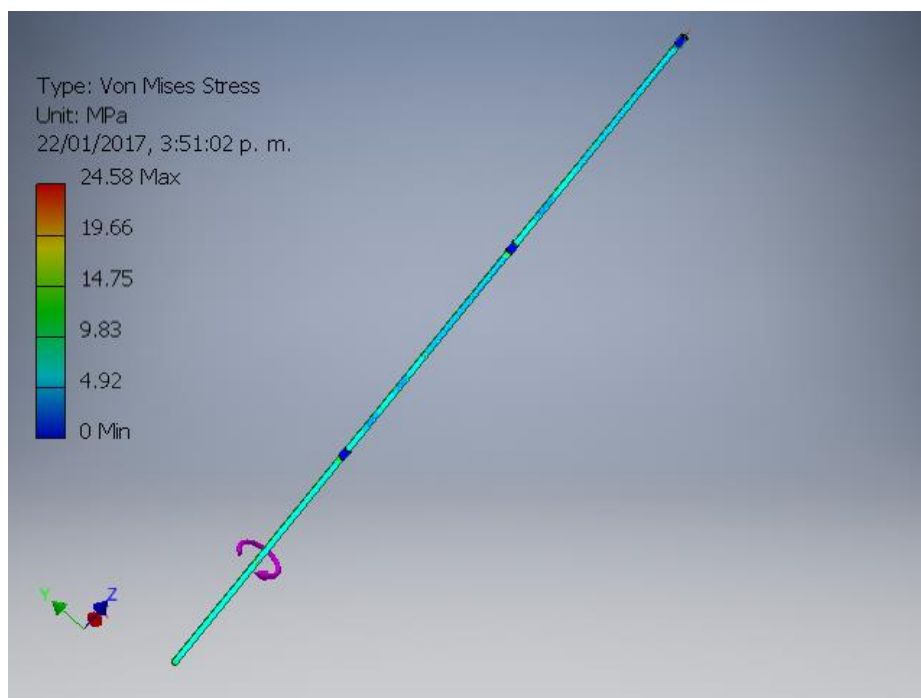
El torque que se produce será igual a la fuerza por el radio.

$$T_0 = r * F_t \quad Ec. (28)$$

$$T_0 = 0.0302 * 4365.45$$

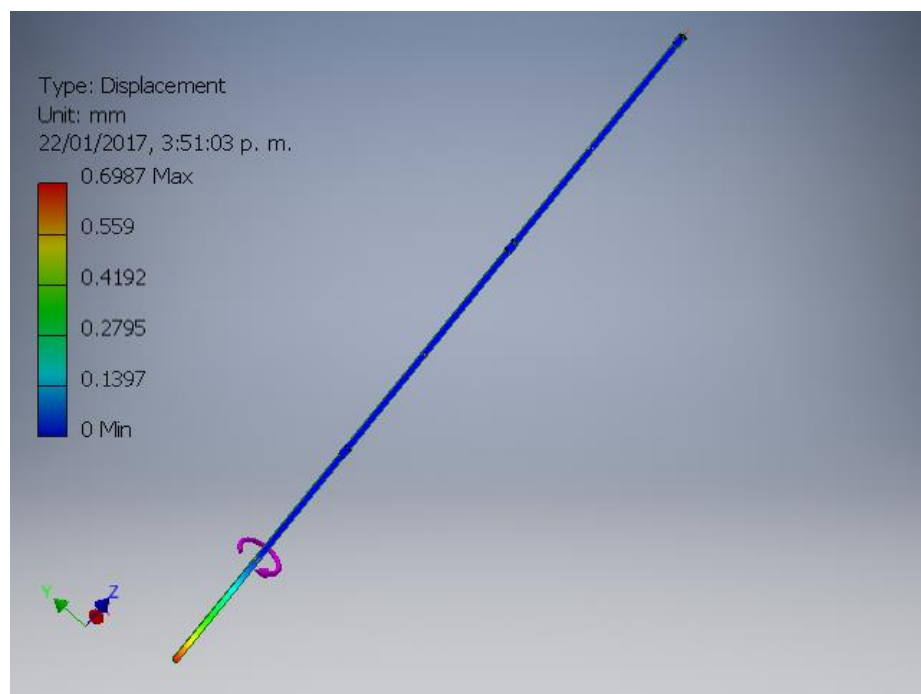
$$T_0 = 131.84 \text{ N.m}$$

Figura 44: Criterio de von mises.



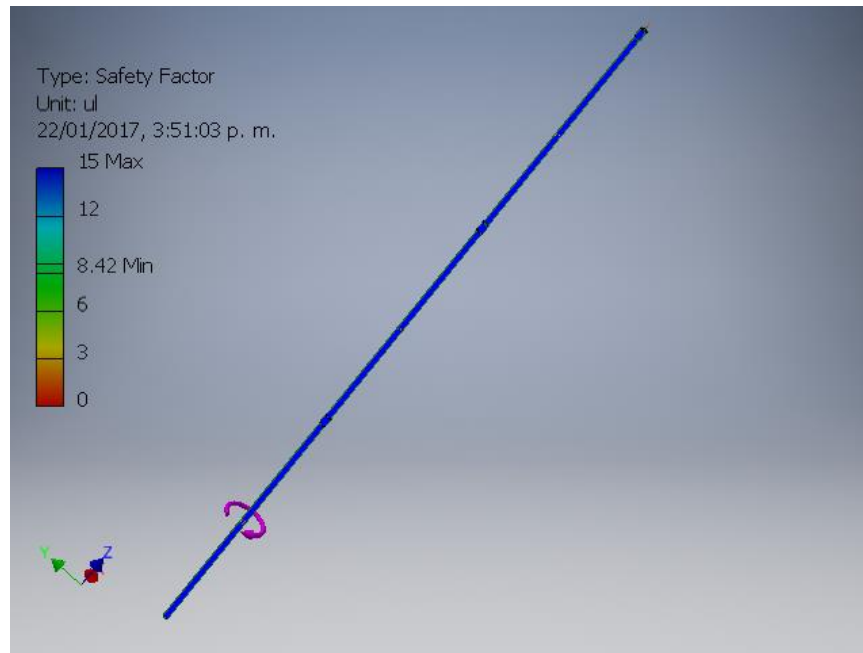
Elaboración: Propia, (Autodesk Inventor 2015).

Figura 45: Desplazamiento máximo debido a las fuerzas de rotación y empuje.



Elaboración: Propia, (Autodesk Inventor 2015).

Figura 46: Factor de seguridad en la tubería de perforación.



Elaboración: Propia, (Autodesk Inventor 2015).

#### 4.2.8 ANÁLISIS DE SISTEMA DE LOS PIÑONES Y LA CADENA

La transmisión de potencia mediante el accionamiento por cadena y piñón, constituye un sistema seguro y óptimo, cuando se hace una correcta selección de la cadena y piñones respectivos.

Ventajas de la transmisión de potencia por cadenas:

- No se produce deslizamiento,  $i = \text{cte}$ .
- La relación de velocidades es constante.
- El rendimiento del sistema es elevado: 98%
- Es compacta y no requiere tensión inicial como en el caso de las correas.
- La clásica elasticidad de la cadena, sumada a la película lubricante que se forma en las partes móviles, amortiguan los golpes por cargas intermitentes.

- Si está bien diseñada es mucho más duradera que las correas.
- Permite trabajar con menores distancias entre centros de poleas, con la consiguiente ventaja económica.
- Ante una rotura de uno o varios eslabones es de fácil arreglo.
- Son poco sensibles al medio en que trabajan
- Para seleccionar una cadena es preciso conocer:
- La potencia a transmitir.
- Las revoluciones por minuto del árbol motor y del conducido.

Las condiciones de trabajo, las cuales harán que la potencia a transmitir sea mayor con un coeficiente obtenido de la siguiente tabla:

*Tabla 5: Coeficiente de mayoracion de potencia transmitida.*

	Motor hidráulico	Motor eléctrico	Motor de combustion
Sin sacudidas	1	1	1.2
Sacudidas ligeras	1.2	1.3	1.4
Sacudidas violentas	1.4	1.5	1.7

*Elaboración: Propia*

Cálculo de Piñones y Cadena:

Potencia de entrada:  $H_{nom} = 3HP$ .

Velocidad de rotación:  $N = 50rpm$ .

Factor de Diseño:  $n_d = 1.5$ .

Condiciones de trabajo:

$K_d = 1.2$  (Motor Hidraulico segun la tabla anterior)

$$H_{tabla} = \frac{n_d K_s H_{nom}}{K_2} \quad \text{Ec. (29)}$$

$$H_{tabla} = \frac{5.4}{K_2}$$

Para 1 torón ( $K_2 = 1$ ) se tiene  $H_{tabla} = 5.4$

Para 2 torón ( $K_2 = 1.7$ ) se tiene  $H_{tabla} = 2.8$

Para 3 torón ( $K_2 = 2.5$ ) se tiene  $H_{tabla} = 1.88$

Para 4 torón ( $K_2 = 3.3$ ) se tiene  $H_{tabla} = 1$ .

Tabla 6: Selección de Piñones dentados.

PIÑONES DENTADOS 16B			Calidad, dimensiones y acabados según normas DIN-ASA-ANSI								
Z	$d_o$	$d_p$	SIMPLE			DOBLE			TRIPLE		
			$d_m$	$D_1$	A	$d_m$	$D_1$	A	$d_m$	$D_1$	A
8	77,0	66,37	42	16	35						
9	85,0	74,27	50	16	35						
10	93,0	82,19	55	16	35	55	20	70			
11	99,5	90,14	61	16	40	63	20	70	63	25	100
12	109,0	98,14	69	16	40	72	20	70	72	25	100
13	117,0	106,12	78	16	40	80	20	70	80	25	100
14	125,0	114,15	84	16	40	88	20	70	88	25	100
15	133,0	122,17	92	16	40	96	20	70	96	25	100
16	141,0	130,20	100	20	45	104	20	70	104	30	100
17	149,0	138,22	100	20	45	112	20	70	112	30	100
18	157,0	146,28	100	20	45	120	20	70	120	30	100
19	165,2	154,33	100	20	45	128	20	70	128	30	100
20	173,2	162,38	100	20	45	130	20	70	130	30	100
21	181,2	170,43	110	20	50	130	25	70	130	30	100
22	189,3	178,48	110	20	50	130	25	70	130	30	100
23	197,5	186,53	110	20	50	130	25	70	130	30	100
24	205,5	194,59	110	20	50	130	25	70	130	30	100
25	213,5	202,66	110	20	50	130	25	70	130	30	100
26	221,6	210,72	120	20	50	130	25	70	130	30	100
27	229,6	218,79	120	20	50	130	25	70	130	30	100
28	237,7	226,85	120	20	50	130	25	70	130	30	100
29	245,8	234,92	120	20	50	130	25	70	130	30	100
30	254,0	243,00	120	20	50	130	25	70	140	32	105
31	262,0	251,08	120	25	50						
32	270,0	259,13	120	25	50	145	32	75			
33	278,5	267,21	120	25	50						
34	287,0	275,28	120	25	50						
35	296,2	283,36	120	25	50	145	32	75	140	32	105
36	304,6	291,44	120	25	50	145	32	80	140	32	105
37	312,8	299,51	120	25	50						
38	320,7	307,59	110	25	65	140	39	70	152	32	114
39	328,8	315,67	120	25	50						
40	336,9	323,75	120	25	50						

**Piñón 1" x 17,02 mm**  
para cadena de rodillos según DIN 8187-8188 ISO/R 606 - ANSI B. 29.1

PIÑÓN	ISO mm	ASA-50 mm
Radio diente $r_3$	26	27
Ancho radio C	2,5	3,2
Ancho radio piñón $B_1$	16,2	14,6
Ancho radio piñón $b_1$	15,8	14,1
Ancho radio piñón $B_2$	47,7	43,4
Ancho radio piñón $B_3$	79,6	72,7

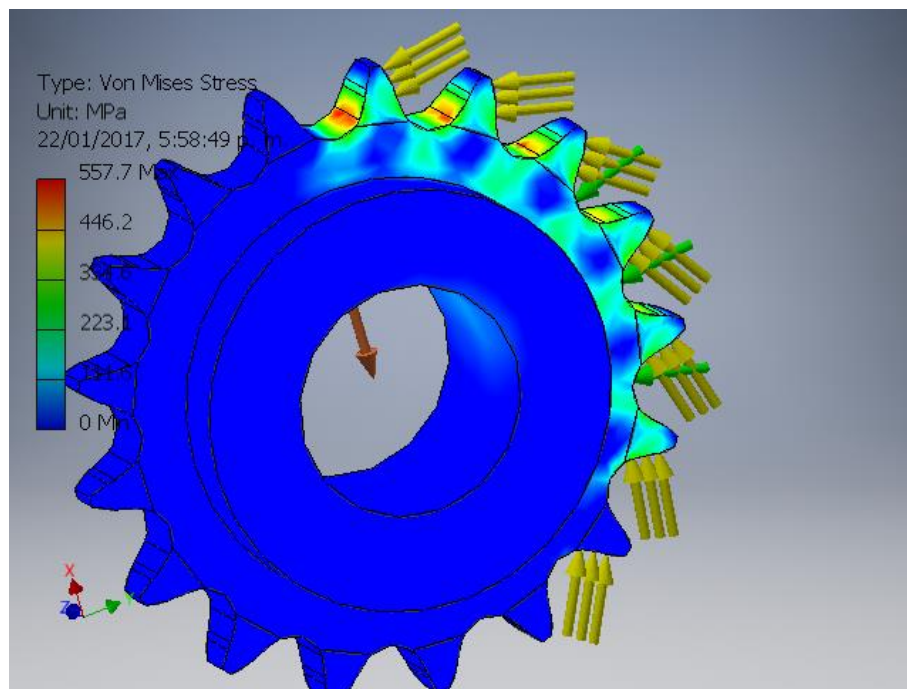
  

CADENA	mm	mm
Paso	25,4	25,4
Ancho interior	17,02	15,88
Ø Rodillo	15,88	15,88

Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn127.html>

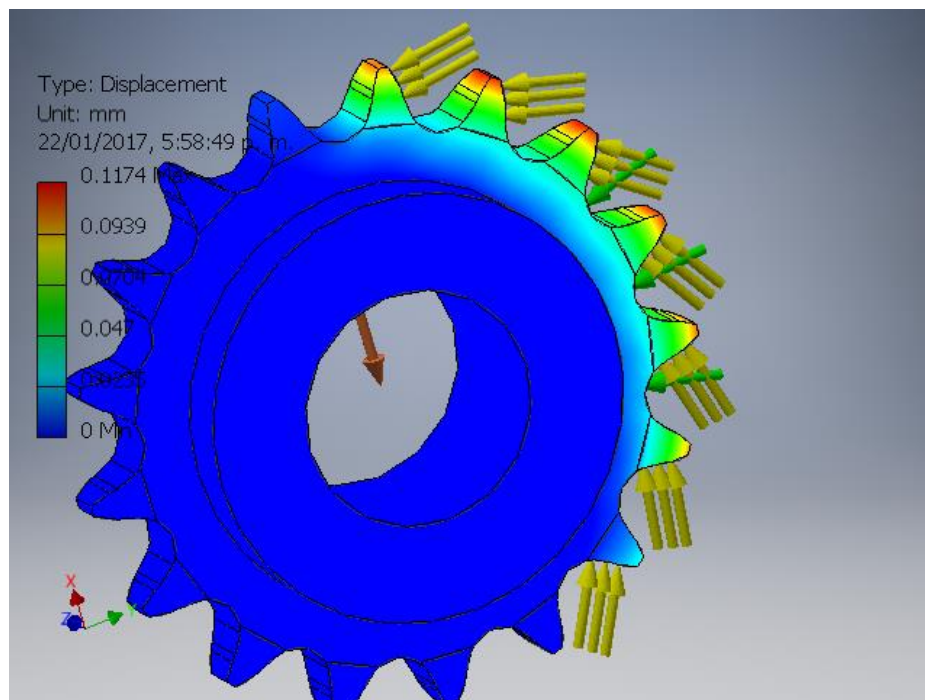


Figura 47: Criterio de von mises aplicado al sistema Piñón – cadena.



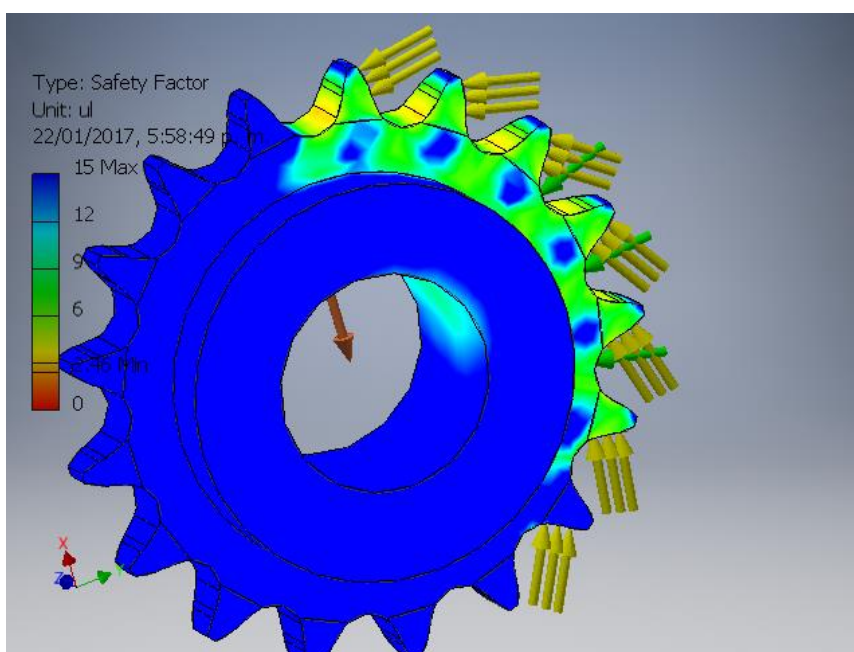
Elaboración: Propia, (Autodesk Inventor 2015).

Figura 48: Desplazamiento máximo debido a las fuerzas de elevación y empuje.



Elaboración: Propia, (Autodesk Inventor 2015).

Figura 49: Factor de seguridad del sistema Piñón – cadena.

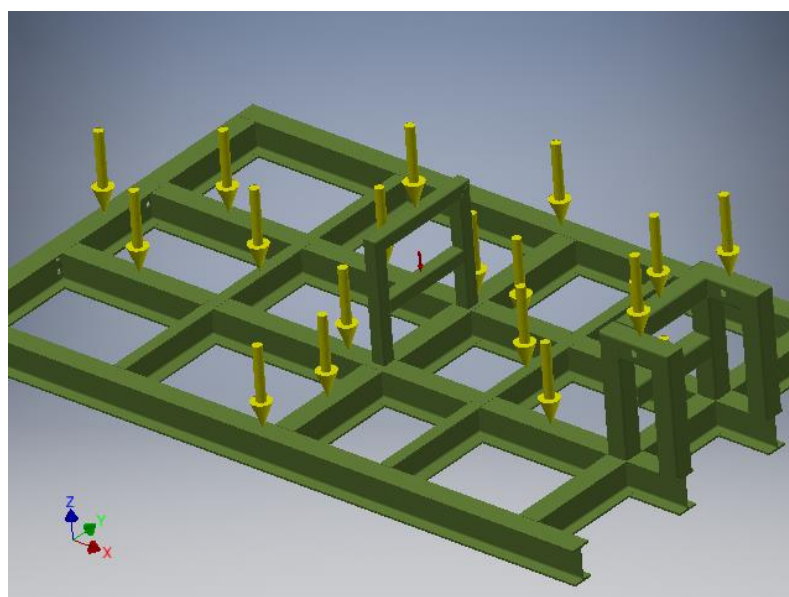


Elaboración: Propia, (Autodesk Inventor 2015).

#### 4.2.9 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DE PERFORACIÓN

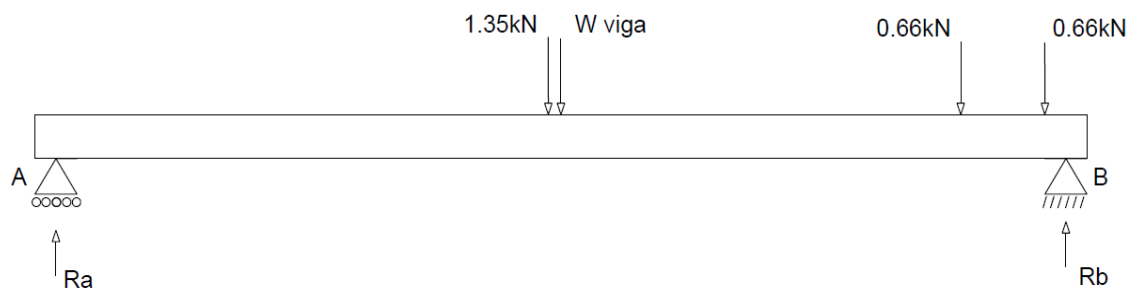
La estructura móvil que soportara el sistema consta de una base fija y una móvil.

Figura 50: Estructura de la máquina de perforación.



Elaboración: Propia, (Autodesk Inventor 2015).

Figura 51: Análisis de fuerzas de la estructura.



Elaboración: Propia.

- Cálculo de fuerzas ejercidas sobre la estructura:

$$\sum M_A = 0$$

$$1.22 \times 1.35 + 1.25 \times 2.36 + 2.06 \times 2.36 + 2.18 \times 0.66 = B_y (2.4)$$

$$B_y = \frac{7.35 \text{ KN} \cdot \text{m}}{2.4 \text{ m}}$$

$$B_y = 3.06 \text{ kN} (\uparrow)$$

$$\sum F_Y = 0$$

$$A_y = F_R + W_{viga}$$

$$A_y = 2.65 + 2.36 - 3.06$$

$$A_y = 2.04 \text{ kN} (\uparrow)$$

$$\sum F_x = 0$$

$$A_x = 0 \text{ KN}$$

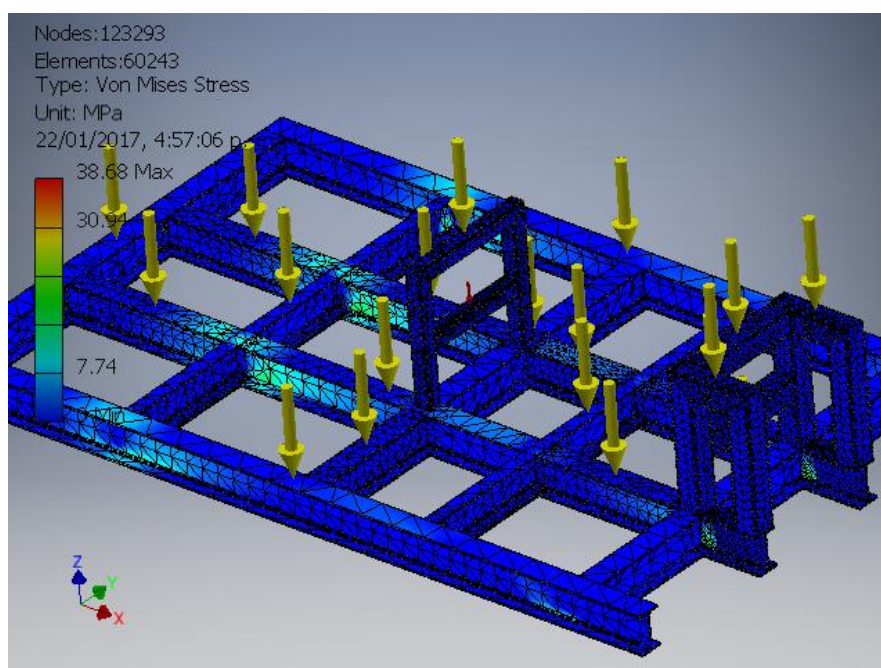
$$B_x = 0 \text{ KN}$$

$$A_y = 2.04 \text{ KN} (\uparrow)$$

$$B_y = 3.06 \text{ KN} (\uparrow)$$

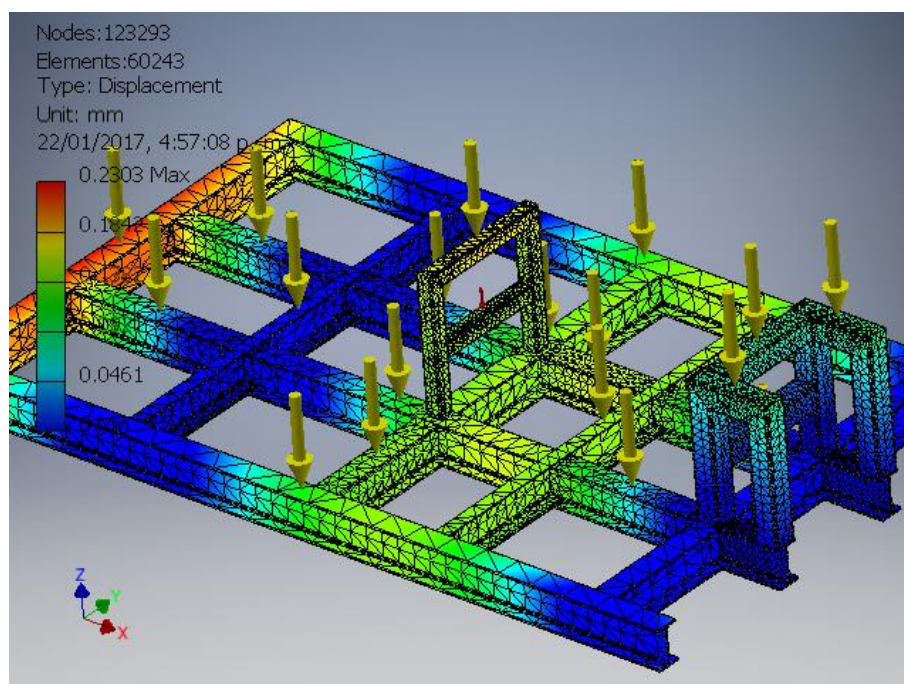
- Análisis de esfuerzos usando el inventor 2015:

Figura 52: Criterio de Von Mises para la estructura.



Elaboración: Propia, (Autodesk Inventor 2015).

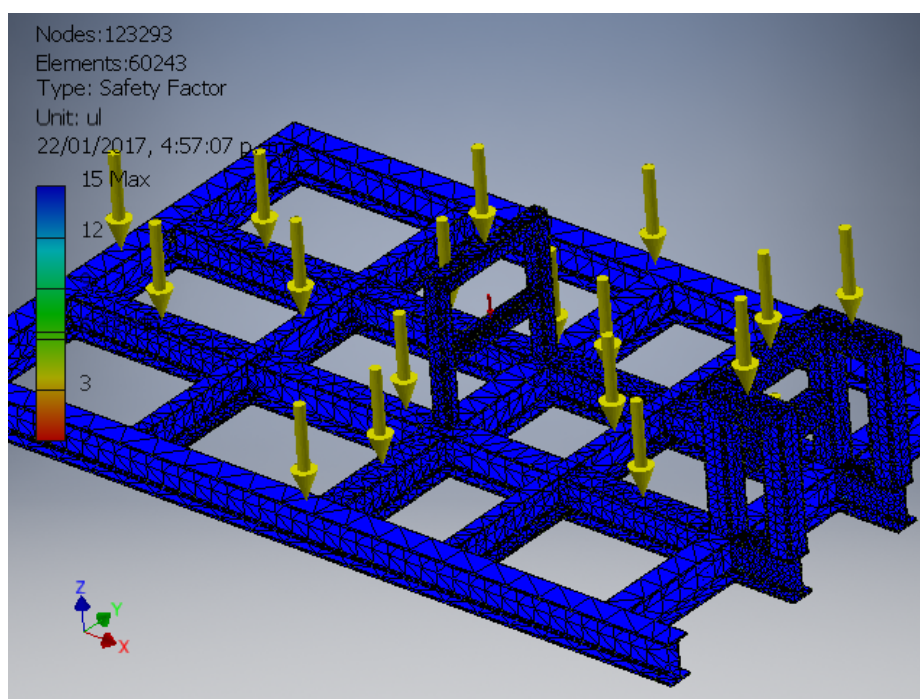
Figura 53: Desplazamiento máximo en el eje vertical.



Elaboración: Propia, (Autodesk Inventor 2015).



Figura 54: Factor de seguridad de la estructura de soporte.

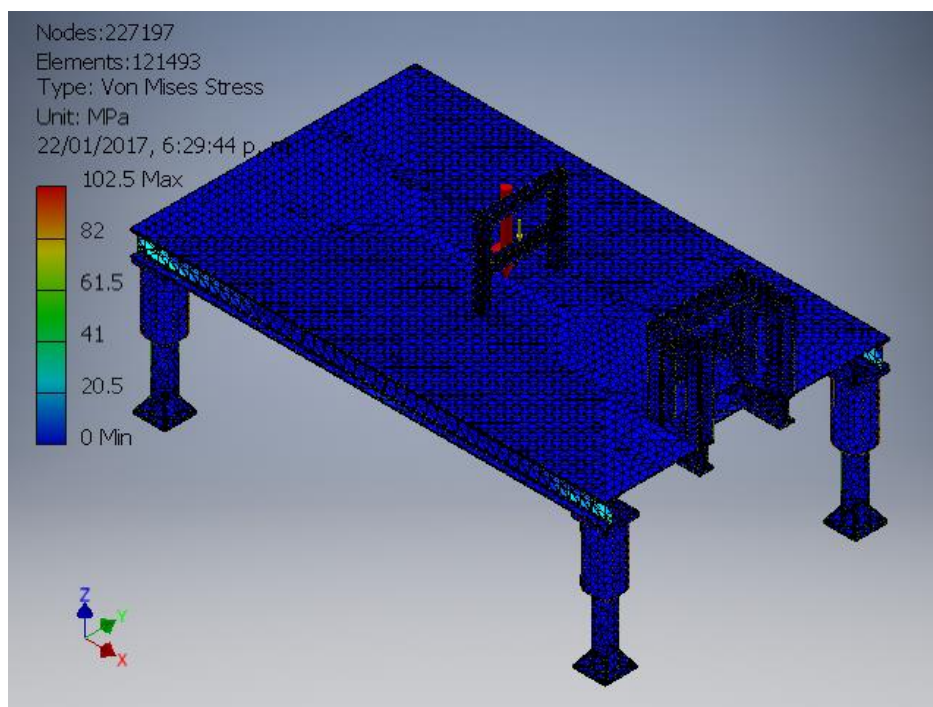


Elaboración: Propia, (Autodesk Inventor 2015).

#### 4.2.10 ANÁLISIS DE SOPORTE DE LA ESTRUCTURA

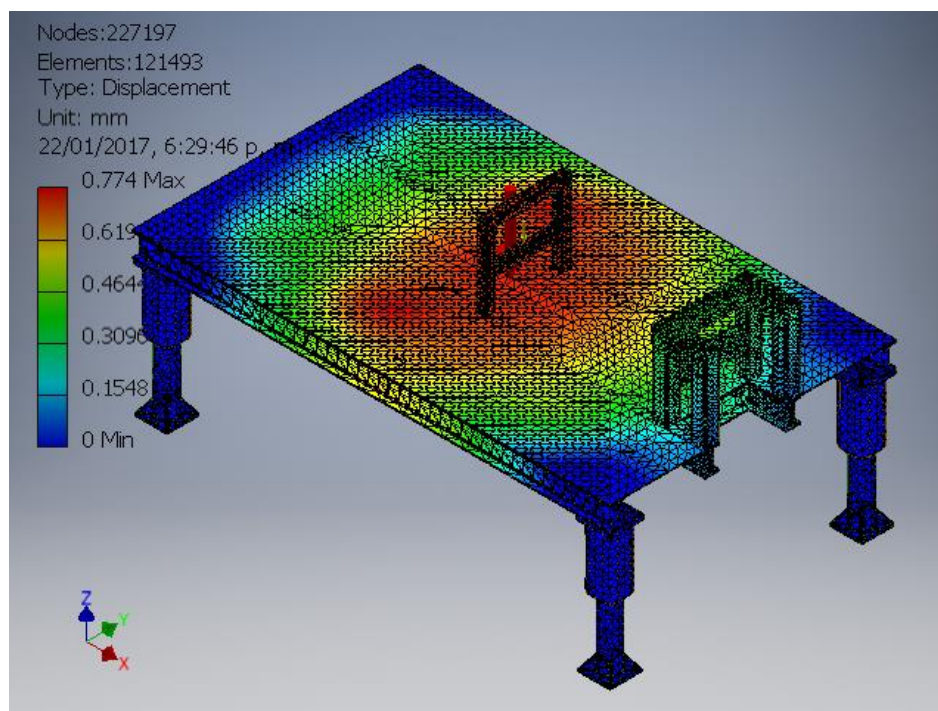
El soporte de la estructura lo conforma los gatos mecánicos en total 4, que son los que estabilizan a la estructura móvil, de forma horizontal. Se realizó este análisis con el programa inventor 2015.

Figura 55: Esfuerzo Von Mises.



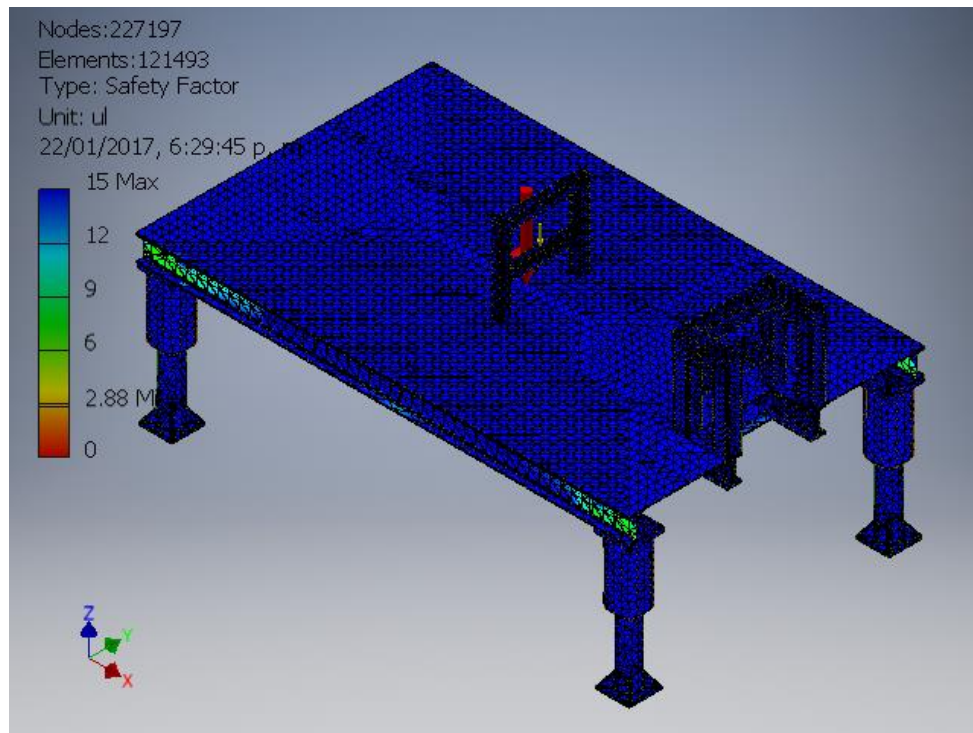
Elaboración: Propia, (Autodesk Inventor 2015).

Figura 56: Desplazamiento máximo en el eje vertical.



Elaboración: Propia, (Autodesk Inventor 2015).

Figura 57: Factor de seguridad.



*Elaboración: Propia, (Autodesk Inventor 2015).*

#### 4.2.11 ANALISIS DEL SISTEMA HIDRAULICO

Para la selección del cilindro hidráulico o pistón hidráulico de elevación y nivelación del bastidor, se parte de la fuerza de compresión que se calculó en el punto 4.1.3; donde, la fuerza de compresión es  $C = 63.75 \text{ kN}$ .

Para la selección del cilindro se ha hecho uso del Catálogo de los cilindros hidráulicos Marca Rexroth con serie constructiva CDM1/CGM1/CSM1.

Este tipo de cilindro trabaja con una presión nominal de  $16 \text{ MPa}$  ( $160 \text{ bar}$ ).

- Cálculo del diámetro mínimo del embolo

$$P_{max} = \frac{F_c}{A_e} \quad \text{Ec. (30)}$$

$$A_e = \frac{F_c}{P_{max}} = \frac{63750}{16} = 3984 \text{ mm}^2$$

$$A_e = \frac{\pi \times d_e^2}{4} \quad \text{Ec. (31)}$$

$$d_c = \sqrt{\frac{2421.88 \times 4}{\pi}} = 71.22 \text{ mm}$$

Según el catálogo de los cilindros Rexroth, se escoge un cilindro comercial con los siguientes diámetros de émbolo y vástago.

- Diámetro de émbolo:  $d_e = 100 \text{ mm}$

- Diámetro de vástago:  $d_v = 56 \text{ mm}$

Verificación de pandeo:

Partiendo de la fuerza de compresión aplicada sobre el cilindro para verificar que no exista pandeo, debe cumplir lo siguiente:

$$F_{pandeo} \geq F_{compresion}$$

$$F_{pandeo} = \frac{\pi^2 EI}{L_p^2 * FS} \quad \text{Ec. (32)}$$

Dónde:

$$E = 2.1 * 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$I = \frac{\pi d_v^4}{64} \quad \text{Ec. (33)}$$



$$I = \frac{\pi d_v^4}{64} = 482504 \text{ mm}^4$$

Utilizando un factor de seguridad de:  $FS = 3$

$$L_p = 2L_p = 1400 \text{ mm}$$

$$F_{pandeo} = \frac{\pi^2 * 2.1 * 10^5 * 482504}{1400^2 * 3}$$

$$F_{pandeo} = 170N$$

La presión de pandeo será:

$$P_{pandeo} = \frac{F_{pandeo}}{A_e} = \frac{39556.3}{(\pi * 63^2)/4} = 54.5 \text{ N/mm}^2$$

#### 4.2.11.1 SELECCIÓN DE LA UNIDAD DE PRESIÓN HIDRÁULICA

Previo a la selección de los componentes hidráulicos, se debe conocer los parámetros de funcionamiento para poder generar la presión hidráulica necesaria para poder activar los actuadores hidráulicos y generar el movimiento necesario para el trabajo de perforación.

- Cálculo de la velocidad de rotación

La velocidad de rotación que se asumió tenía un valor de **100 RPM**, para rocas blandas o semiduras. Considerando que el suelo de la Región Puno, principalmente está compuesto de roca blanda y también se llegó a demostrar mediante el cálculo, que este valor asumido de 100 RPM cubre las expectativas, por lo que será el necesario para llevar a cabo la perforación del suelo.

- Cálculo de la presión hidráulica

Debido a los cálculos de presión máxima hallados, debe ser 123 bar , ésta será la presión requerida por el sistema pero hay que tomar en cuenta las pérdidas a largo del recorrido del aceite hasta el cilindro hidráulico. Por lo que se considera una pérdida del 5%, con lo cual se tiene que la unidad de presión hidráulica debe generar una presión de 129.2 bar.

#### **4.2.11.2 SELECCIÓN DEL MOTOR HIDRÁULICO**

La perforadora de pozos para agua requiere del equipamiento de dos motores hidráulicos, cada uno de acuerdo con sus funciones principales, estos motores serán:

#### **4.2.11.3 MOTOR DE ROTACIÓN**

Para hacer la respectiva selección de este motor previamente se han realizado los cálculos necesarios a fin de tener algunos parámetros para proceder a su selección. El parámetro más importante ha sido detallar la potencia que debe ejercer el motor y como anteriormente se ha calculado la potencia  $HPr = 8.5HP$  , y comprobando este resultado en los cálculos de funcionamiento resultó satisfactorio. (Ver anexo 8)

#### **4.2.11.4 MOTOR DE AVANCE**

Para el caso del motor de rotación se ha tenido que hacer previos cálculos, para lo cual se obtuvo una potencia  $HPr = 8 HP$ . De igual manera que el caso anterior se utiliza el catálogo general de productos y servicios de Macnoa Limitada, donde se selecciona el motor hidráulico Eaton Serie 2000 104-1002 (Anexo 8).

#### 4.2.11.5 ACCIONAMIENTO DE MOTOR HIDRÁULICO

El accionamiento del motor hidráulico estará dado por medio de una bomba hidráulica, con la cual se distribuirá el fluido hidráulico dando variaciones de presión para el posterior desempeño de los motores hidráulicos.

La bomba que accione los motores hidráulicos tiene que tener una potencia mayor a la potencia de los motores hidráulicos, para ello la potencia será de 16 HP, y será una bomba de pistones de 60 cc.

Se ha optado por trabajar con una bomba hidráulica de pistón axial de la marca Sauer Danfoss. Serie 45, modelo J60B. (ver Anexo 6)

#### 4.2.11.6 PANEL DE CONTROL

El panel de control permite obtener el control sobre los movimientos de la unidad de perforación para este propósito, posee un banco de seis válvulas en línea, para un sistema de centro cerrado, con sistema de control de carga (L.S. "Load Sensing").

Está compuesto por:

- Válvula de Mando Rotación
- Carrete tipo motor, 3 posiciones con regulador manual de la rotación.
- Válvula de Mando Avance Rápido
- Carrete tipo cilindro, 3 posiciones.
- Manómetros:

Indicadores de presiones de trabajos:

Avance : 0 – 200 bar (0 – 2.900 psi)

Rotación : 0 – 200 bar (0 – 2.900 psi)

- Botón de Parada de Emergencia
- Uso solamente para Unidad de Fuerza.

#### **4.2.11.7 ELEMENTOS ADICIONALES DEL EQUIPO**

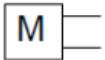
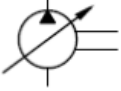
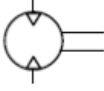
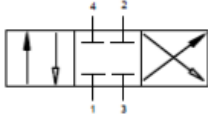
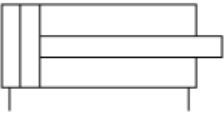
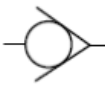

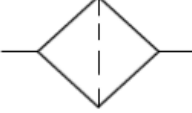

Dentro de los elementos adicionales del equipo se detallan las siguientes partes:

- Estanque hidráulico, será utilizado como almacenamiento del aceite hidráulico, tendrá una capacidad de 60 litros.
- Intercambiador de calor, necesario para poder mantener una temperatura adecuada próxima a la unidad de potencia.
- Batería de 75 amperios, la cual suministrara de energía eléctrica necesaria.
- Estructura de la unidad de fuerza, donde se ubicará el motor eléctrico
- Pileta de lodos, destinada a almacenar el lodo usado o de desecho.
- Mangueras hidráulicas

#### **4.2.12 DISEÑO DEL SISTEMA HIDRAULICO**

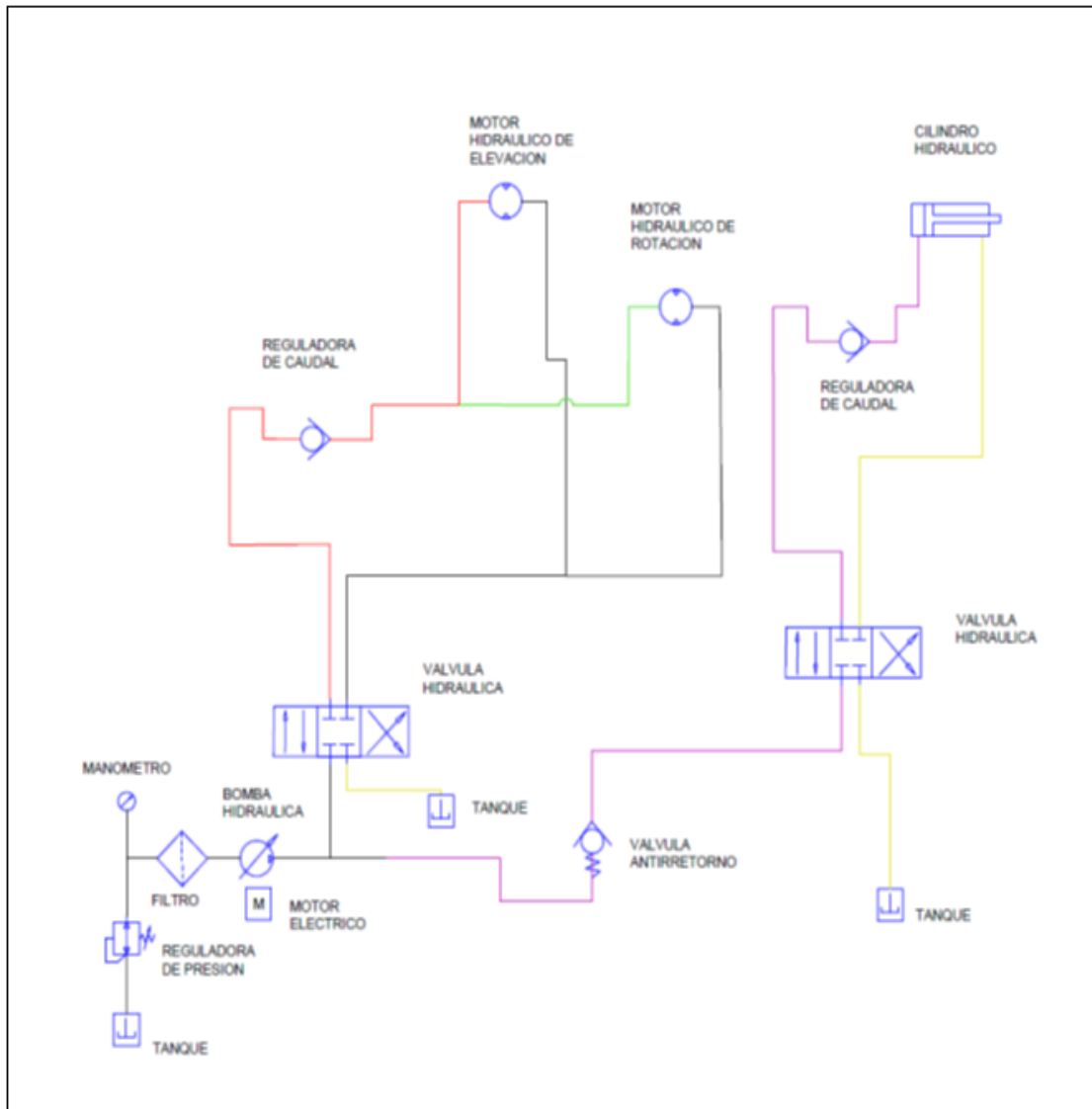
El sistema hidráulico está compuesto de los accionamientos hidráulicos como la bomba hidráulica, los dos motores hidráulicos, el cilindro de doble efecto, las válvulas de retorno, manómetros, filtros y el tanque de almacenamiento.

Figura 58: Simbología Hidráulica.

	<p>Generador de Energia</p>
	<p>Bomba hidraulica de caudal variable</p>
	<p>Motor hidraulico con doble sentido de giro</p>
	<p>Valvula 4/3 en posicion neutra normalmente cerrada</p>
	<p>Cilindro hidraulico de doble efecto, vastago simple</p>
	<p>Valvula de bloque ( antirretorno )</p>
	<p>Manometro</p>
	<p>Filtro</p>
	<p>Retorno a tanque</p>

Elaboración: Propia.

Figura 59: Circuito Hidráulico.



Elaboración: Propia.

## CONCLUSIONES

**PRIMERO:** Con los resultados obtenidos con los cálculos y el software inventor, determinan la posibilidad de realizar un diseño confiable. En sus partes y su conjunto de ensamblaje.

**SEGUNDO:** Se ha hecho posible el estudio de un sistema de perforación de una maquina adecuada para los procesos de perforación de suelos, mejorando así el conocimiento que se tenía sobre las máquinas de perforación hidráulica.

**TERCERO:** Se estudió con la teoría de estática para analizar el diagrama de fuerzas y hallar los esfuerzos concentrados en cada una de sus partes componentes, para lograr nuestros objetivos

**CUARTO:** Se estudió las diferentes etapas de perforación, la actuación de sus partes componentes de la máquina, el funcionamiento y caracterización en el momento de su operación, nos ha permitido optar por una nueva disposición de componentes que existen en el mercado y son funcionales, que cumple con los requisitos para lograr la perforación de suelos, y por ende extracción de agua subterránea.

**QUINTO:** El análisis con el software Inventor 2015, nos ha permitido ver el diseño de una máquina de perforación, adaptable para cualquier terreno, con un transporte adecuado, y una estabilización de su estructura garantizada.

**SEXTO:** Se ha simulado para investigar las características estructurales de esfuerzos, factor de seguridad, criterio de von mises y desplazamiento. Los cuales se realizaron a cada componente, para su análisis más exacto.

## RECOMENDACIONES

**PRIMERO:** Hemos encontrado muchos desafíos en el proceso de realizar el presente proyecto. Se recomienda llevar a cabo el diseño en base, a varios métodos de análisis, referidos a la transmisión hidráulica. Este diseño debe satisfacer necesidades propias para la aplicación de nuevos componentes como son la electrohidráulica o el control hidráulico computarizado.

**SEGUNDO:** Realizar los cálculos y análisis para esfuerzos de ruptura para rocas de más de 20Mpa, porque existen terrenos muy duros en zonas de alturas mayores a 4200msnm, los cuales están conformadas por rocas de tipo pizarra y caliza.

**TERCERO:** Se recomienda adaptar en un diseño realizado, según a los estándares de calidad en construcción de máquinas.



**BIBLIOGRAFÍA**

(SKF), S. K. (2006). *Catalogo General*. Suecia.

(SKF), S. K. (2006). *RETENES Y SOLUCIONES EN SELLADO SKF*. SUECIA.

Abinsur. (18 de 12 de 2015). *Estructuras metalicas Abinsur*. Obtenido de <http://www.abinsur.pe/>.

Agricultura, M. d. (2007). *Inventario de fuentes de agua subterranea en la cuenca del rio coata*. Puno: Ministerio de Agricultura.

Agricultura, M. d. (2017). *Inventario de fuentes de agua subterranea en la cuenca del rio Coata*. Puno: Informe tecnico.

ALT. (15 de enero de 2016). Autoridad Binacional Autónoma del Sistema Hídrico del Lago Titicaca. La Paz, La Paz, Bolivia.

AUTODESK. (2013). *MANUAL DE USUARIO DE AUTODESK INVENTOR*. CALIFORNIA: SDC PUBLICATIONS.

Budynas, R. G., & Keith Nisbett, J. (2008). *Diseño de Ingenieria Mecanica de Shigley*. Monterrey: McGraw Hill/Interamericana Editores S.A de C.V.

CIR. (1988). *Sistemas de abastecimiento de aguas para pequeñas comunidades*. Holanda: Centro internacional de agua y saneamiento de agua.

Davila, F. A. (2004). *Diseño de Elementos de Maquinas II*. Lima: Concejo Nacional de Ciencia y Tecnologia.

Deutschman, A. D., J. Michels, W., & E. Wilson, C. (1987). *Diseño de Maquinas*. Monterrey: Compañía Editorial Continental S.A de C.V.

FERDINAND P. BEER, E. R. (2008). *RESISTENCIA DE MATERIALES*.  
MEXICO: MC GRAU HILL/INTERAMERICANA EDITORES S.A.

ICG. (2013). *Metodos de exploracion*. Moquegua: Internet.

Internet. (15 de 2 de 2013). *AHMSA*. Obtenido de  
[http://www.ahmsa.com/Acero/Complem/Manual\\_Construccion\\_2013/Capitulo\\_1.pdf](http://www.ahmsa.com/Acero/Complem/Manual_Construccion_2013/Capitulo_1.pdf)

Internet. (20 de 1 de 2016). *MOTORES REXROTH*. Obtenido de  
<HTTP://BOSCHREXRITH.COM/ES/PE/>

Jimeno, C. L. (1979). *Manual de perforacion y voladura de rocas*. Madrid: Instituto tecnologico Geominero de España.

Mott, R. L. (2006). *Diseño de Elementos de Maquinas*. Mexico: Pearson Educacion de Mexico S.A de C.V.

PIMIENTA, J. (1980). *LA CAPTACION DE AGUAS SUBTERRANEAS*.  
BARCELONA: EDITORES TECNICOS ASOCIADOS.

PRORRIDRE. (06 de 05 de 2013). *Estudio para la perforacion de pozos en la zona de Santiago de Pupuja*. Puno: GRAP.

Quijorna, A. J. (2007). *Elementos de Maquinas*. España: Editorial planeta.

RAYMOND A. SERWAY, J. W. (2005). *FISICA PARA CIENCIAS E INGENIERIA*. MEXICO: THOMSON.

Ruiz, M. A. (2008). *Reductor de Velocidad*. Mexico D.F: Esime.

S.J., N. (12 de 08 de 2008). *Tablas de referencia*. Obtenido de <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/tablas-de-referencia.pdf>

Salud, O. P. (2004). *Perforacion manual de pozos de agua subterranea*.

Sánchez, J. M. (2010). *Diseño de un reductor de velocidad de engranajes cilíndricos con dientes helicoidales*. La Habana: Neo Club Ediciones .

Serway, R. A. (1997). *Fisica, Tomo I*. Mexico: McGraw Hill/Interamericana Editores S.A de C.V.

TECSUP. (2014). *MANTENIMIENTO DE EQUIPOS INDUSTRIALES I Y II*. LIMA.

W., C. (20 de 11 de 2012). *Rocas Sedimentarias*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos94/rocas-sedimentarias/rocas-sedimentarias.shtml>

## ANEXOS

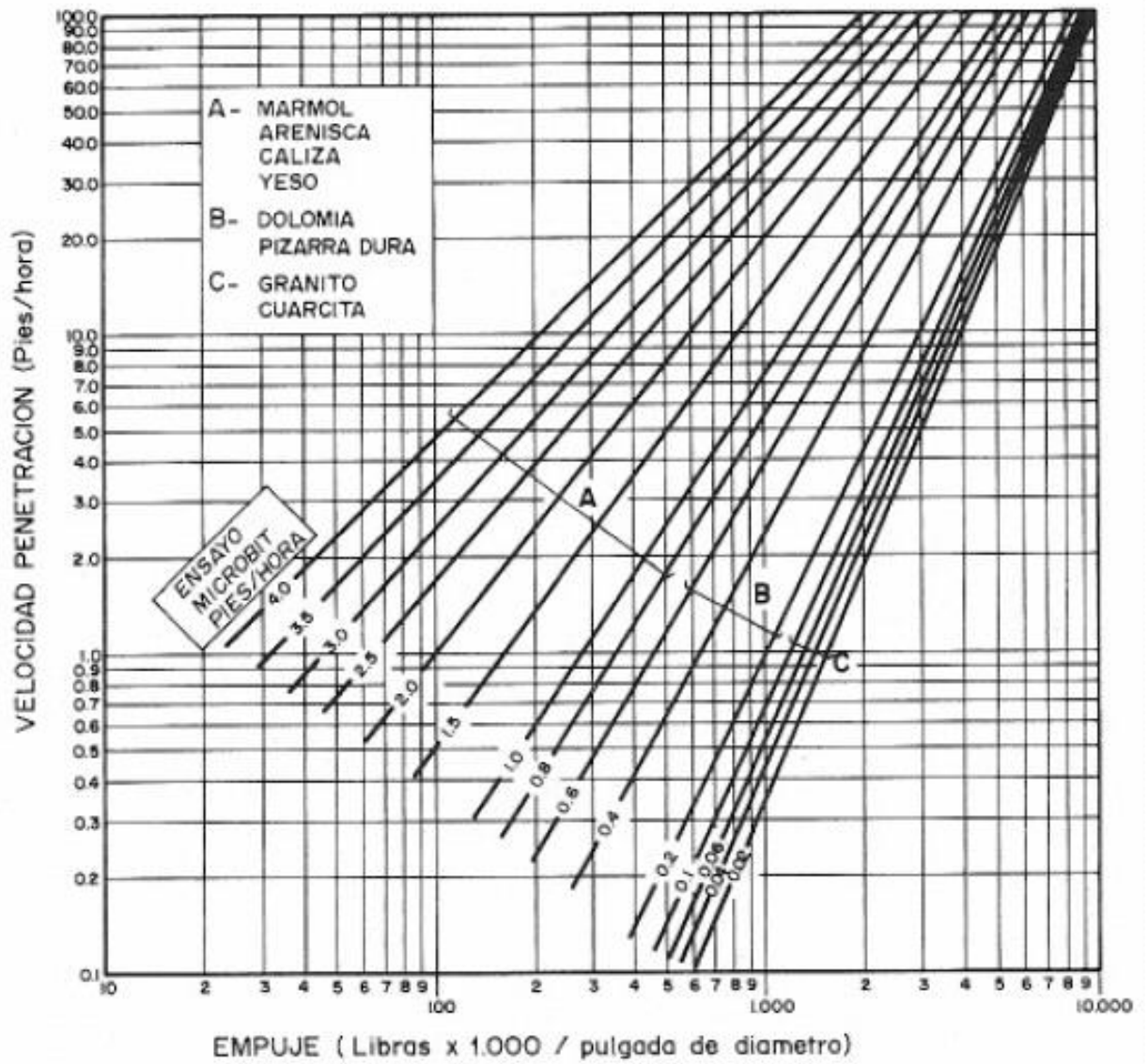
Anexo 1: Formación de rocas sedimentarias.

ORIGEN	AGENTE	DEPOSITO	ROCA
Mecánico	Agua	Canto rodado	Conglomerados
		Guijarro	Brechas, aglomerados
	Arena	Areniscas	
		Limo	Limolitas, lodolitas
		Arcilla	Arcillolitas, lutitas
	Viento	Médanos o dunas	Areniscas
		Loess (limo)	Limolitas
	Hielo	Till (peñascos en una matriz fina)	Morrenas y otras tillitas (peñascos en una matriz fina pero consolidados)

ORIGEN	NATURALEZA	SEDIMENTO CONSOLIDADO
Químico	Calcárea	Caliza, dolomía, travertino
	Calcárea-arcillosa	Marga
	Silicosa	Pedernal, geiserita
Orgánico	lina	Sal, yeso, bórax
	Carbonosa (% de C	Turba C<50%: carbón compresible y de formación reciente
		Lignito C 50%: carbón de formación Intermedia

**Fuente:** <http://www.monografias.com/trabajos94/rocas-sedimentarias/rocas-sedimentarias.shtml>, Chaupi W. (2012).

Anexo 2 Velocidad de Perforación.



Fuente: López Jimeno, (1979).

Anexo 3: Profundidad de la napa freática.

Distrito	Sector	Nivel Freático (m)
Lampa	C.C. Marno	0.59 – 4.06
	C.C. Moquegache Japo	0.10 – 1.02
	C.C. Tusini	0.93 – 5.70
	C.C. Cantería	0.02 – 5.18
	C.C. Lenzora	0.20 – 4.80
	Asentamiento Juan Velasco Alvarado	0.68 – 1.85
	C.C. Huayllani	0.34 – 3.38
	C.C. Huayta Central	0.22 – 3.53
	C.C. Orcco Huayta	0.62 – 2.58
	C.C. Pias Huayta	0.15 – 20.0
	C.C. Sutura Urinsaya	0.50 – 8.27
	Canchiuro	0.53 – 5.75
	C.C. Ccatacha	0.36 – 8.51
C.C. Chañocahua	0.57 – 3.67	
Cabanilla	C.C. Lizacia	0.02 – 4.16
	Urbano Marginal Cabanilla	1.05 – 1.87
	C.C. Collana	0.25 – 5.75
	C.C. Tancuaña	0.07 – 10.80
	C.C. Quimsachata	0.15 – 15.11
	C.C. Rosario	0.24 – 4.32
	C.C. Cullillaca	0.03 – 2.01
	C.C. Cullillaca Joven	0.12 – 3.74
	C.C. San Juan Cullillaca	0.05 – 7.66
	C.C. Miraflores	0.07 – 8.03
	C.C. Néstor Cáceres V.	0.20 – 4.50
	C.C. Curisuyo	0.45 – 1.47
	C.C. Sacasco	1.43 – 4.75
	C.C. Sucapaya	0.90 – 3.20
C.C. Cocha Quinrray	0.60 – 2.60	
C.C. Villa Florida	1.15 – 1.90	
Juliaca	C.C. Isla	0.40 – 5.00
	C.C. Curisuyo	1.00 – 4.60
	C.C. Rancho	0.98 – 4.80
Cabana	C.C. Collana	1.59 – 1.64
	C.C. Ayagachi	0.93 – 3.30
	C.C. Cuinchaca	0.79 – 12.28
	C.C. Seneguillas	0.93 – 6.00
	C.C. Silarani	0.63 – 5.24
	C.C. Yapuscachi	1.79 – 21.74
Caracoto	Parcialidad Caracoto	2.05 – 3.47
	C.C. San Antonio de Chujura	1.43 – 3.82
	Cercado Caracoto	2.05 – 2.20

**Fuente:** *Inventario de fuentes de agua subterránea de la cuenca del río coata (2007).*



Anexo 4: Propiedades del acero Astm A36, perfil en U.



ABASTECIMIENTOS INDUSTRIALES DEL SUR S.A

**Canales "U"**  
Estándar Americano Norma ASTM A-36

**Descripción y Usos**

Producto de sección transversal en forma de U, que se obtiene por Laminación de Tochos de Acero Estructural que han sido previamente precalentados a una temperatura de 1250 °C. Se emplean la fabricación de carrocerías y estructuras metálicas tales como viguetas, vigas, etc.

**Composición química**

Norma Técnica	C %	Mn %	P %	S %	Si %
ASTM A-36	0.25	0.8	0.04 máx.	0.05 máx.	0.40 máx.
		1.2			

**Propiedades Mecánicas**

Norma Técnica	Límite de Influencia (kg/mm2)	Resistencia la Tracción (Kg/mm2)	Alargamiento (%)	Norma Equivalente
ASTM A-36	25.3 min	41 min	20 min	DIN 17100 St 37-2 / St 44-2

**Dimensiones, Pesos Unitarios y Características de la Sección**

Designación pulg x lb pie *	Área de Sección A		Espesor ALA tf	Espesor ALMA tw	Ancho bf	Altura d	Peso Kg/m	Eje X - X			Eje Y - Y			X
	pulg.2	pulg.						I	S	r	I'	S'	r'	
			pulg.4	pulg.3	pulg.	pulg.4	pulg.3							pulg.
2"	2.58	0.76	0.187	0.187	1.000	2.00	3.82	0.38	0.38	0.74	0.06	0.09	0.30	0.32
3"	4.1	1.19	0.273	0.170	1.410	3.00	6.10	1.80	1.10	1.17	0.20	0.21	0.41	0.44
	5	1.46	0.273	0.258	1.498	3.00	7.44	1.80	1.10	1.12	0.25	0.24	0.41	0.44
4"	5.4	1.56	0.296	0.180	1.580	4.00	8.00	3.80	1.90	1.56	0.32	0.29	0.45	0.46
	6.25	1.82	0.296	0.247	1.647	4.00	9.30	4.19	2.09	1.51	0.37	0.31	0.45	0.45
	7.25	2.12	0.296	0.320	1.720	4.00	10.80	4.50	2.30	1.47	0.44	0.35	0.46	0.46
5"	6.7	1.95	0.32	0.190	1.750	5.00	10.00	7.40	3.00	1.95	0.48	0.38	0.50	0.49
	9	2.63	0.32	0.325	1.885	5.00	13.40	8.80	3.50	1.83	0.64	0.45	0.49	0.48
6"	8.2	2.39	0.343	0.200	1.920	6.00	12.20	13.00	4.30	2.34	0.70	0.50	0.54	0.52
	10.5	3.07	0.343	0.314	2.034	6.00	15.63	15.10	5.00	2.22	0.87	0.57	0.53	0.50
7"	9.8	2.85	0.366	0.210	2.090	7.00	14.60	21.10	6.00	2.72	0.98	0.63	0.59	0.55
8"	11.5	3.36	0.390	0.220	2.260	8.00	17.10	32.30	8.10	3.10	1.30	0.79	0.63	0.58
	13.75	4.02	0.390	0.303	2.343	8.00	20.50	35.80	9.00	2.99	1.50	0.86	0.62	0.56
9"	13.4	3.89	0.413	0.230	2.430	9.00	19.90	47.30	10.50	3.49	1.80	0.97	0.67	0.61
	15.3	4.47	0.436	0.240	2.600	10.00	22.80	66.90	13.4	3.87	2.30	1.20	0.72	0.64
10"	20.0	5.86	0.436	0.379	2.739	10.00	29.80	78.50	15.7	3.66	2.80	1.30	0.70	0.61
	20.7	6.03	0.501	0.280	2.940	12.00	30.80	128.10	21.4	4.61	3.90	1.70	0.81	0.70
12"	25.0	7.32	0.501	0.387	3.047	12.00	37.20	143.50	23.9	4.43	4.50	1.90	0.79	0.68
	30.0	8.79	0.501	0.510	3.170	12.00	44.65	181.20	28.9	4.28	5.20	2.10	0.77	0.68
15"	33.9	9.96	0.650	0.400	3.400	15.00	50.44	315.00	42.0	5.62	8.13	3.11	0.90	0.79

Fuente: <http://www.abinsur.pe/es/productos-planos-abinsur.php?url=4>.

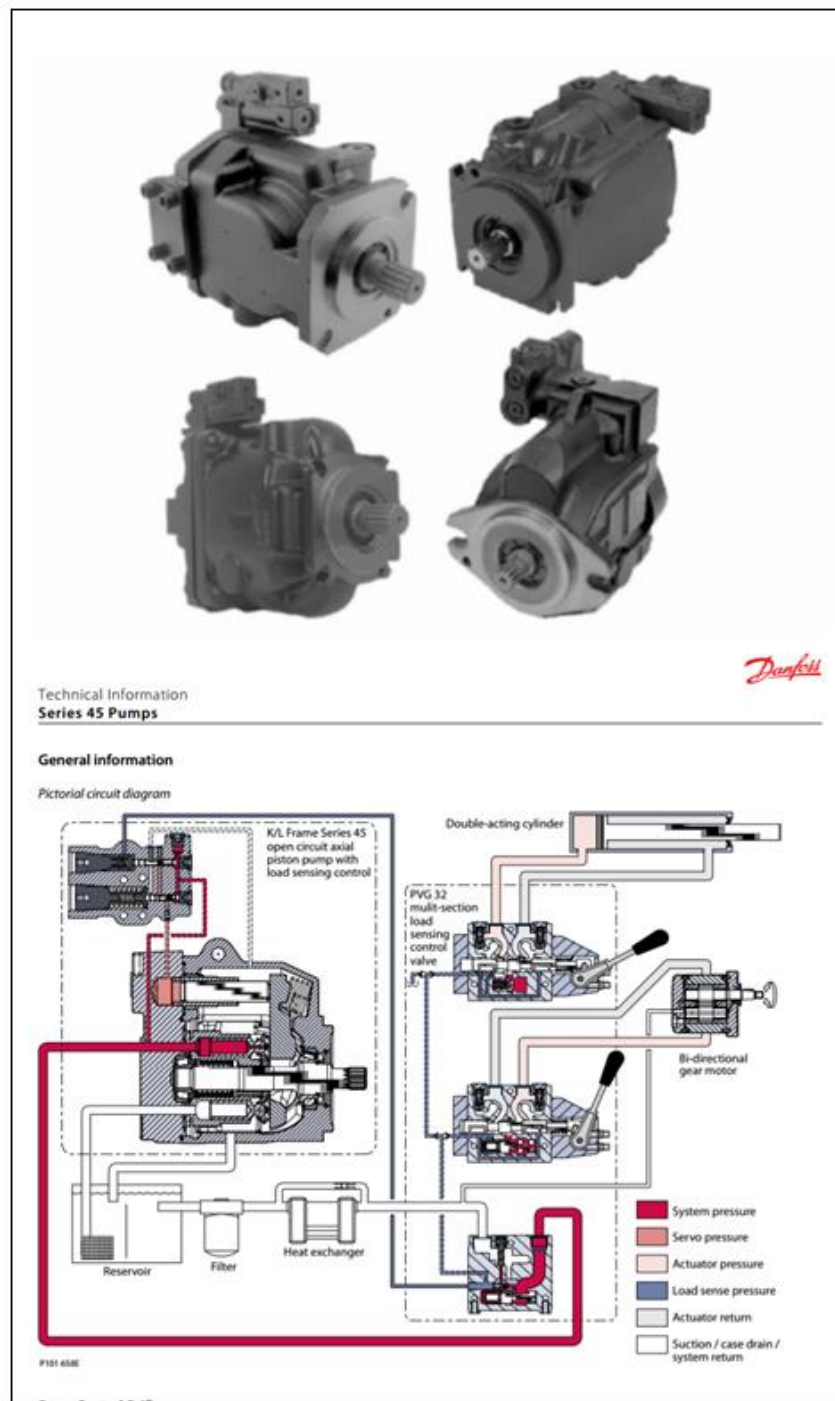


Anexo 5: Composición de acero para denominaciones SAE y AISI.

Número límite de la composición química en la olla en % No. ASI.					
SAE	C	Mn	P. max.	S. max.	Correspondiente
1006	0.08 máx.	0.30 - 0.40	0.040	0.050	C1006
1008	0.10 máx.	0.25 - 0.50	0.040	0.050	C1008
1010	0.08 - 0.13	0.30 - 0.60	0.040	0.050	C1010
1012	0.10 - 0.15	0.30 - 0.60	0.040	0.050	C1012
1015	0.13 - 0.18	0.30 - 0.60	0.040	0.050	C1015
1016	0.13 - 0.18	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1016
1017	0.15 - 0.20	0.30 - 0.60	0.040	0.050	C1017
1018	0.15 - 0.20	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1018
1019	0.15 - 0.20	0.70 - 1.00	0.040	0.050	C1019
1020	0.18 - 0.23	0.30 - 0.60	0.040	0.050	C1020
1021	0.18 - 0.23	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1021
1022	0.18 - 0.23	0.70 - 1.00	0.040	0.050	C1022
1023	0.20 - 0.25	0.30 - 0.60	0.040	0.050	C1023
1024	0.19 - 0.25	1.35 - 1.65	0.040	0.050	C1024
1025	0.22 - 0.28	0.30 - 0.60	0.040	0.050	C1025
1026	0.22 - 0.28	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1026
1027	0.22 - 0.29	1.20 - 1.50	0.040	0.050	C1027
1030	0.28 - 0.34	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1030
1035	0.32 - 0.38	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1035
1036	0.30 - 0.37	1.20 - 1.50	0.040	0.050	C1036
1037	0.32 - 0.38	0.70 - 1.00	0.040	0.050	C1037
1038	0.35 - 0.42	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1038
1039	0.37 - 0.44	0.70 - 1.00	0.040	0.050	C1039
1040	0.37 - 0.44	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1040
1041	0.36 - 0.44	1.35 - 1.65	0.040	0.050	C1041
1042	0.40 - 0.47	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1042
1043	0.40 - 0.47	0.70 - 1.00	0.040	0.050	C1043
1045	0.43 - 0.50	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1045
1046	0.43 - 0.50	0.70 - 1.00	0.040	0.050	C1046
1048	0.44 - 0.52	1.10 - 1.40	0.040	0.050	C1048
1049	0.46 - 0.53	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1049
1050	0.46 - 0.55	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1050
1052	0.47 - 0.55	1.20 - 1.50	0.040	0.050	C1052
1055	0.50 - 0.60	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1055
1060	0.55 - 0.65	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1060
1064	0.60 - 0.70	0.50 - 0.80	0.040	0.050	C1064
1065	0.60 - 0.70	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1065
1070	0.65 - 0.75	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1070
1074	0.70 - 0.80	0.50 - 0.80	0.040	0.050	C1074
1078	0.72 - 0.85	0.30 - 0.60	0.040	0.050	C1078
1080	0.75 - 0.88	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1080
1084	0.80 - 0.93	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1084
1085	0.80 - 0.93	0.70 - 1.00	0.040	0.050	C1085
1086	0.80 - 0.93	0.30 - 0.50	0.040	0.050	C1086
1090	0.85 - 0.98	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1090
1095	0.90 - 1.03	0.30 - 0.50	0.040	0.050	C1095
1534	0.19 - 0.25	1.10 - 1.40	0.040	0.050	C1524
1527	0.22 - 0.29	1.20 - 1.50	0.040	0.050	C1527
1536	0.30 - 0.37	1.20 - 1.50	0.040	0.050	C1536
1541	0.36 - 0.44	1.35 - 1.65	0.040	0.050	C1541
1548	0.44 - 0.52	1.10 - 1.40	0.040	0.050	C1548
1552	0.47 - 0.55	1.20 - 1.50	0.040	0.050	C1552

Fuente: <http://www.ahmsa.com>.

Anexo 6: Bomba hidráulica de pistones Marca danfos serie 45.



Fuente: <http://files.danfoss.com/documents/52010519.pdf>.

Anexo 7: Cilindro hidráulico.

RD/E/S 17 328/01.96

Flächen, Kräfte, Volumenstrom			Areas, forces, flow			Areas, fuerzas, caudal					
Kolben	Kolbenstange	Flächenverhältnis	Flächen			Kraft bei 160 bar <sup>1)</sup>			Volumenstrom bei 0,1 m/s <sup>2)</sup>		
			Kolben	Stange	Ring.	Druck	Diff.	Zug	Aus	Diff.	Ein
Piston	Piston rod	Area ratio	Piston	Rod	Annulus	Push	Regen.	Pull	Out	Regen.	In
Pistón	Vástago	Relac. de áreas	Pistón	Vástago	Anular	Fuerza a 160 bar <sup>1)</sup>			Caudal a 0,1 m/s <sup>2)</sup>		
AL	MM	φ	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	q <sub>v1</sub>	q <sub>v1</sub>	q <sub>v3</sub>
Ø mm	Ø mm	A1/A3	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	kN	kN	kN	l/min	l/min	l/min
25	14 18	1,46 2,08	4,91	1,54 2,54	3,37 2,36	7,85	2,44 4,07	5,37 3,76	2,9	0,9 1,5	2,0 1,4
32	18 22	1,46 1,90	8,04	2,54 3,80	5,50 4,24	12,80	4,07 6,08	8,78 6,76	4,8	1,5 2,3	3,3 2,5
40	22 28	1,43 1,96	12,56	3,80 6,16	8,76 6,41	20,00	6,08 9,82	14,03 10,24	7,5	2,3 3,7	5,2 3,8
50	28 36	1,46 2,08	19,63	6,16 10,18	13,47 9,46	31,30	9,82 16,29	21,55 15,10	11,7	3,7 6,1	8,1 5,6
63	36 45	1,48 2,04	31,17	10,18 15,90	20,99 15,27	49,80	16,29 25,40	33,56 24,41	18,7	6,1 9,5	12,6 9,2
80	45 56	1,46 1,96	50,26	15,90 24,63	34,36 25,63	80,30	25,40 39,30	54,96 40,99	30,2	9,5 14,8	20,7 15,4
100	56 70	1,46 1,96	78,54	24,63 38,48	53,91 40,06	125,00	39,30 61,50	86,22 64,04	47,1	14,8 23,1	32,3 24,0
125	70 90	1,46 2,08	122,72	38,48 63,62	84,24 59,10	196,00	61,50 101,00	134,7 94,49	73,6	23,1 38,2	50,5 35,4
160	90 110	1,46 1,90	201,06	63,62 95,06	137,00 106,00	321,00	101,00 151,00	219,8 169,5	120,6	38,2 57,0	82,4 63,6
200	110 140	1,43 1,96	314,16	95,06 153,96	219,09 160,20	502,6	152,00 246,30	350,6 256,3	188,5	57,0 92,4	131,5 96,1
250	140 180	1,46 2,08	490,8	153,96 254,4	336,9 236,4	785,4	246,30 407,2	539,1 378,2	294,5	92,4 152,7	202,1 141,8
320	180 220	1,46 1,90	804,2	254,4 380,1	549,8 424,2	1286,8	407,2 608,2	879,6 678,6	482,5	152,7 228,1	329,8 254,4
400	220 280	1,43 1,96	1256,6	380,1 615,7	876,5 640,9	2010,6	608,2 985,2	1402,4 1025,4	754,0	228,1 369,5	525,9 384,5
500	280 360	1,46 2,08	1963,4	615,7 1017,8	1347,7 945,6	3141,6	985,2 1628,6	2156,4 1513,0	1178,0	369,5 610,8	808,5 567,2

<b>Bemerkungen:</b>	<b>Notes:</b>	<b>Observaciones:</b>
1) Theoretische Kraft (ohne Berücksichtigung des Wirkungsgrades)	1) Theoretical force (without consideration of efficiency)	1) Fuerza teórica (sin considerar rendimiento)
2) Hubgeschwindigkeit	2) Stroke velocity	2) Velocidad del vástago
1MPa → 10 bar 1 kN → 102 kp	1MPa → 10 bar 1 kN → 102 kp	1MPa → 10 bar 1 kN → 102 kp

MANNESMANN REXROTH 3/32

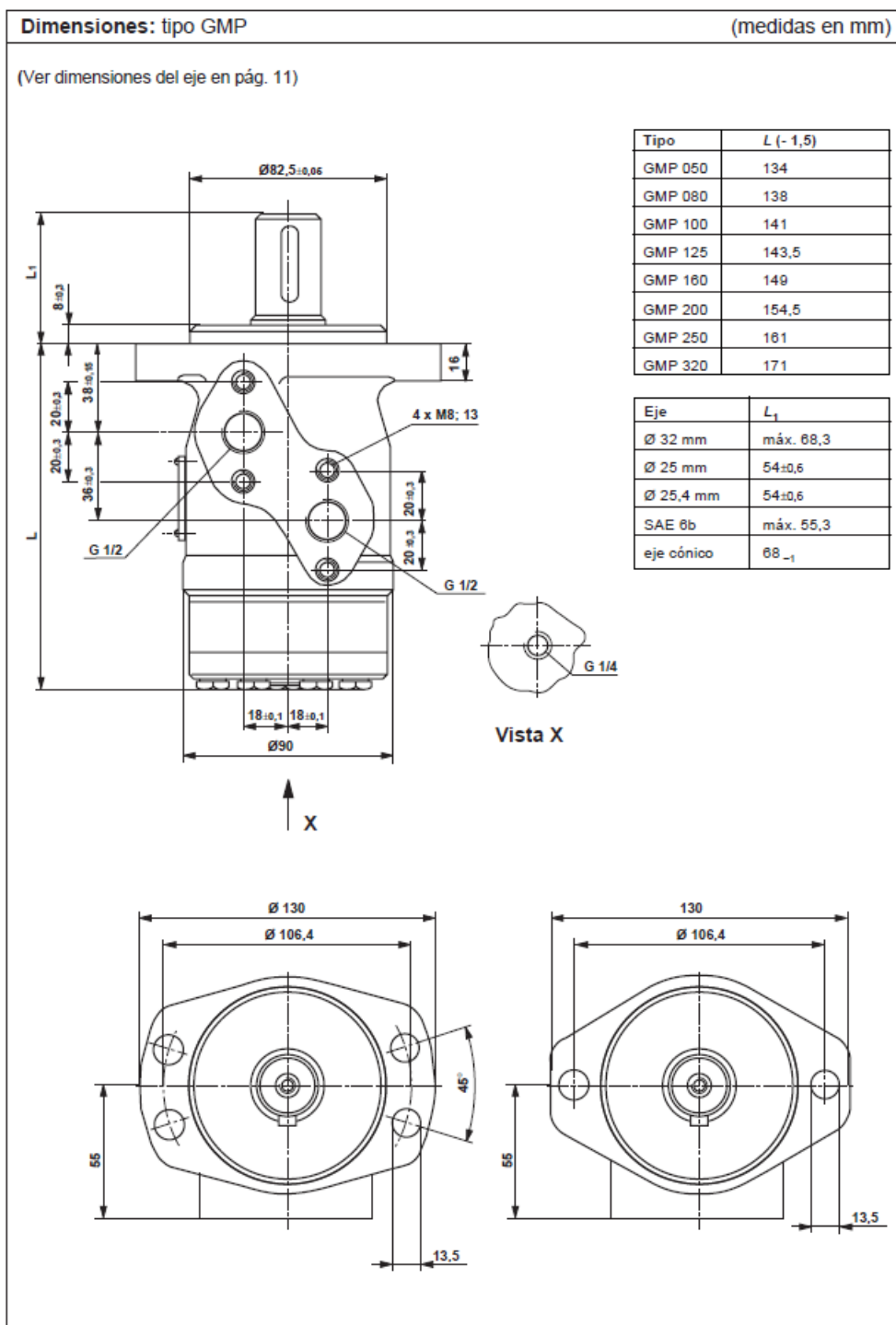
Fuente: Catálogo de productos rexroth.

Anexo 8: Motor hidráulico de marcha lenta.

<p><b>MANNESMANN REXROTH</b> Hydraulik Nord</p>	<p>Motores de marcha lenta Gerotor tipo GMS, GMSS, GMSW, GMT, GMTS, GMTW</p>	<p><b>RS</b> 14 060/03.96</p>																																															
<p>Motor estándar tipo GMS</p>	<p>Motor estándar tipo GMT</p>																																																
<p>Motor corto tipo GMTS</p>	<p>Motor para rueda tipo GMTW</p>																																																
<p><b>Índice</b></p> <table border="0"> <tr> <td><b>Contenido</b></td> <td><b>Página</b></td> </tr> <tr> <td>Características, áreas de aplicación</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td><b>Motor tipo: GMS, GMSS y GMSW</b></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Función, variantes, corte, símbolo</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Código de pedido, peso, ejemplo de pedido</td> <td>3,4</td> </tr> <tr> <td>Datos técnicos</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Curvas características</td> <td>6-9</td> </tr> <tr> <td>Sentido de rotación</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>Carga del eje, dimensiones del eje</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Dimensiones GMS</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td>Dimensiones GMSW</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>Dimensiones GMSS</td> <td>13</td> </tr> <tr> <td>Montaje GMSS, conex. de fugas y componentes</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td><b>Motor tipo: GMT, GMTS y GMTW</b></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Código de pedido, peso, ejemplo de pedido</td> <td>15,16</td> </tr> <tr> <td>Datos técnicos</td> <td>17</td> </tr> <tr> <td>Curvas características</td> <td>18-20</td> </tr> <tr> <td>Sentido de rotación</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>Carga del eje</td> <td>21</td> </tr> <tr> <td>Dimensiones del eje</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>Dimensiones GMT</td> <td>23</td> </tr> <tr> <td>Dimensiones GMTW</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>Dimensiones GMTS</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Montaje GMTS, conex. de fugas y componentes</td> <td>26</td> </tr> </table>	<b>Contenido</b>	<b>Página</b>	Características, áreas de aplicación	1	<b>Motor tipo: GMS, GMSS y GMSW</b>		Función, variantes, corte, símbolo	2	Código de pedido, peso, ejemplo de pedido	3,4	Datos técnicos	5	Curvas características	6-9	Sentido de rotación	9	Carga del eje, dimensiones del eje	10	Dimensiones GMS	11	Dimensiones GMSW	12	Dimensiones GMSS	13	Montaje GMSS, conex. de fugas y componentes	14	<b>Motor tipo: GMT, GMTS y GMTW</b>		Código de pedido, peso, ejemplo de pedido	15,16	Datos técnicos	17	Curvas características	18-20	Sentido de rotación	20	Carga del eje	21	Dimensiones del eje	22	Dimensiones GMT	23	Dimensiones GMTW	24	Dimensiones GMTS	25	Montaje GMTS, conex. de fugas y componentes	26	<p><b>Características:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Buena marcha uniforme aún a rotaciones reducidas</li> <li>- Mayor rango de velocidades</li> <li>- Momento constante de accionamiento en un amplio rango de velocidades</li> <li>- Elevado par de arranque</li> <li>- Robusto, aún bajo severas condiciones de utilización</li> <li>- Óptima relación masa / potencia</li> <li>- Servicio sin conexión de fugas, aún para elevadas presiones de retorno</li> <li>- Es posible la conexión en serie</li> </ul> <p><b>Áreas de aplicación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Máquinas agrícolas y forestales</li> <li>- Instalaciones de transporte</li> <li>- Grúas y equipos de transporte</li> <li>- Máquinas de uso municipal (barredoras, fresadoras de nieve, regadoras, ...)</li> <li>- Máquinas para la construcción</li> <li>- Máquinas para obras en montaña</li> <li>- Cabrestantes</li> <li>- Máquinas para la industria plástica</li> <li>- Máquinas para carpinterías</li> <li>- Máquinas herramientas</li> <li>- Construcción naval</li> </ul>
<b>Contenido</b>	<b>Página</b>																																																
Características, áreas de aplicación	1																																																
<b>Motor tipo: GMS, GMSS y GMSW</b>																																																	
Función, variantes, corte, símbolo	2																																																
Código de pedido, peso, ejemplo de pedido	3,4																																																
Datos técnicos	5																																																
Curvas características	6-9																																																
Sentido de rotación	9																																																
Carga del eje, dimensiones del eje	10																																																
Dimensiones GMS	11																																																
Dimensiones GMSW	12																																																
Dimensiones GMSS	13																																																
Montaje GMSS, conex. de fugas y componentes	14																																																
<b>Motor tipo: GMT, GMTS y GMTW</b>																																																	
Código de pedido, peso, ejemplo de pedido	15,16																																																
Datos técnicos	17																																																
Curvas características	18-20																																																
Sentido de rotación	20																																																
Carga del eje	21																																																
Dimensiones del eje	22																																																
Dimensiones GMT	23																																																
Dimensiones GMTW	24																																																
Dimensiones GMTS	25																																																
Montaje GMTS, conex. de fugas y componentes	26																																																

Fuente: Catálogo de productos Rexroth.

Anexo 9: Motor con geromotor lento.



Fuente: Catálogo de productos Rexroth.



Anexo 10: Válvulas direccionales.

RS 22 371/03.98

Reemplaza a: 22 370



**Válvulas direccionales de 4/3 y 4/2 vías con accionamiento manual por palanca Tipo WMM**

Tamaño nominal 16 y 25  
 Serie 7X  
 Presión máxima de servicio 350 bar  
 Caudal máximo 450 L/min



HA05914 98

Tipo H-4WMM 16 E7X...

**Indice**

<b>Contenido</b>
Características
Código de pedido
Símbolos
Función, corte
Características técnicas
Curvas características
Límites de potencia
Dimensiones

**Características**

<b>Página</b>	– Válvula direccional de corredera, de mando directo con accionamiento manual por palanca
1	
2	– Perforaciones según DIN 24 340 forma A, ISO 4401 y CETOP-RP 121 H
2	
3	– A elección con resorte de retorno o enclavamiento
4	– Mecanismo de accionamiento protegido contra la entrada de suciedad y humedad
5, 6	– Cabezal con mecanismo de accionamiento, intercambiable sin desmontaje de la válvula
5, 6	
7, 8	– Otras informaciones:
	Placas de conexión TN 16 RS 45 056
	Placas de conexión TN 25 RS 45 058

**Fuente:** Catálogo de productos Rexroth.

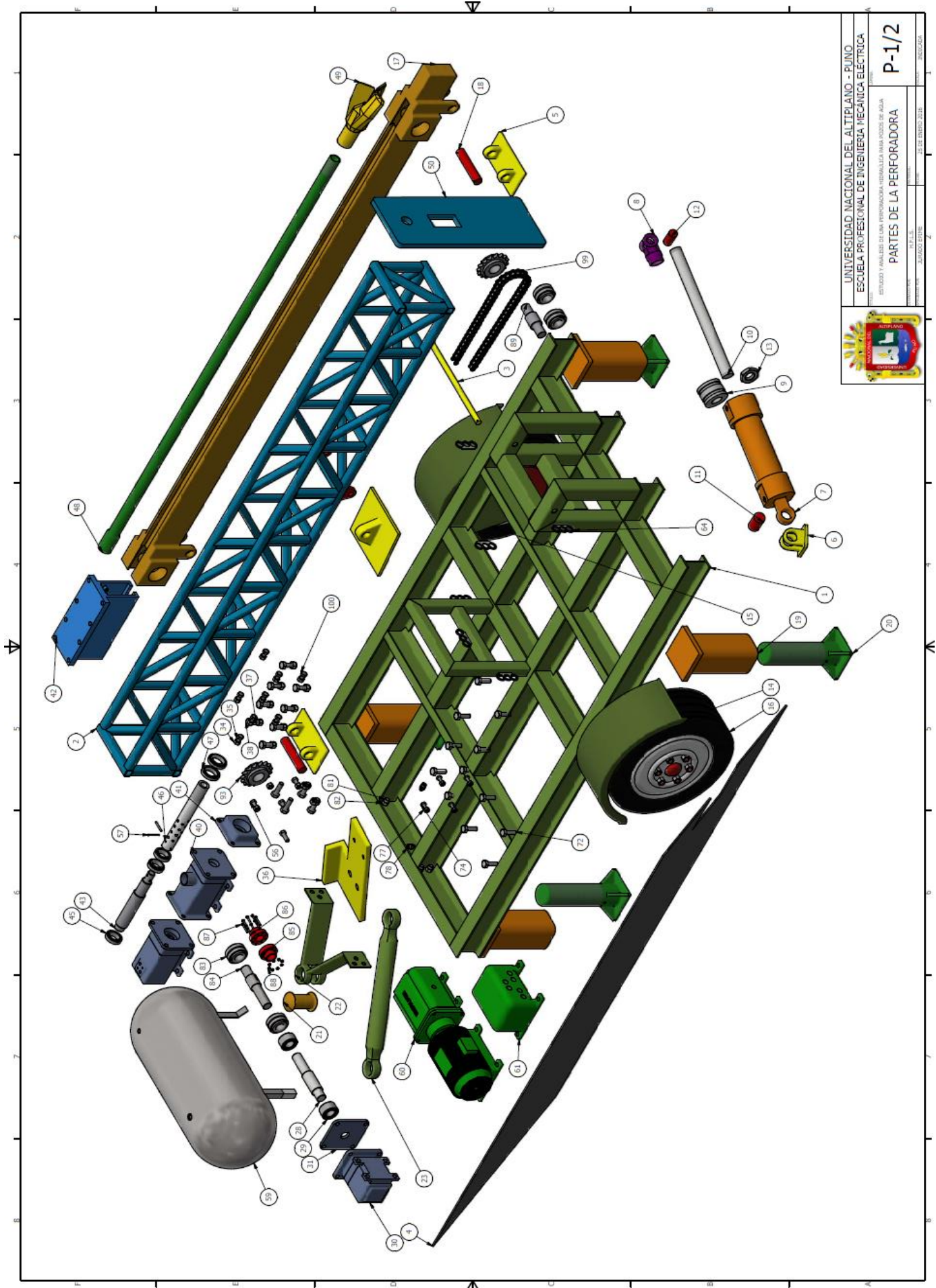
## Anexo 11: Peso Unitario de Suelos

Tipos de suelos.	Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )
Arcilla compactada.	1900
Arenisca compacta.	1600
Caliza blanda.	1900
Caliza dura.	2500
Marga.	2200
Serpentina.	2560
Yeso.	2300
Arcilla seca.	1700
Arcilla húmeda.	1760
Arena natural suelta.	1430
Arena natural compacta.	1620
Arena artificial suelta.	1450
Arena artificial compacta.	1650
Gravas.	1700
Tierra seca suelta.	1500
Tierra seca compacta.	1700
Tierra húmeda suelta.	1600
Tierra mojada compacta.	1800
Fango (fluido).	1750
Mármoles.	2640
Pizarra metamórfica.	2800
Granito.	2750

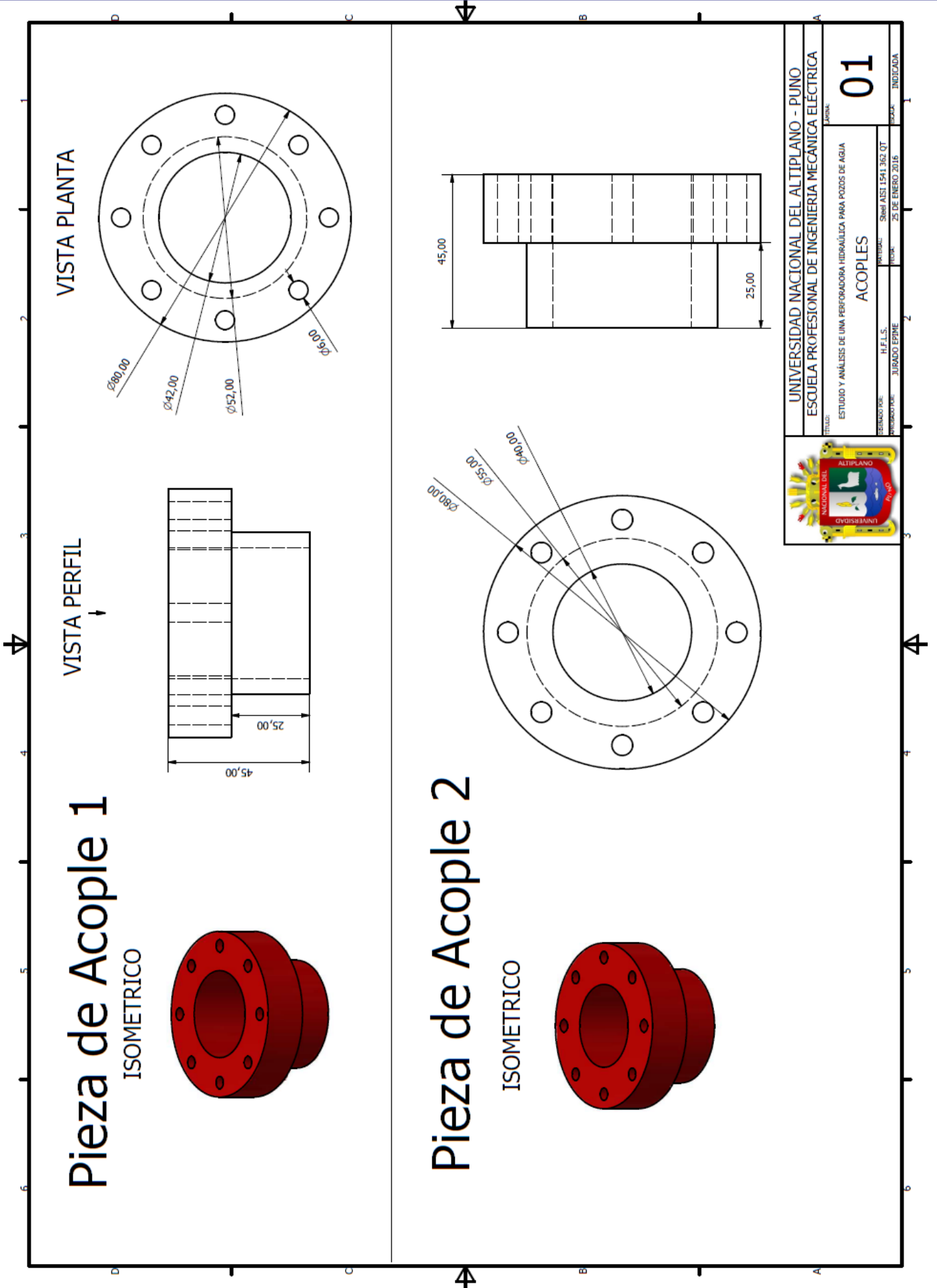
**Fuente:** <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/tablas-de-referencia.pdf>

## PLANOS DE DETALLE



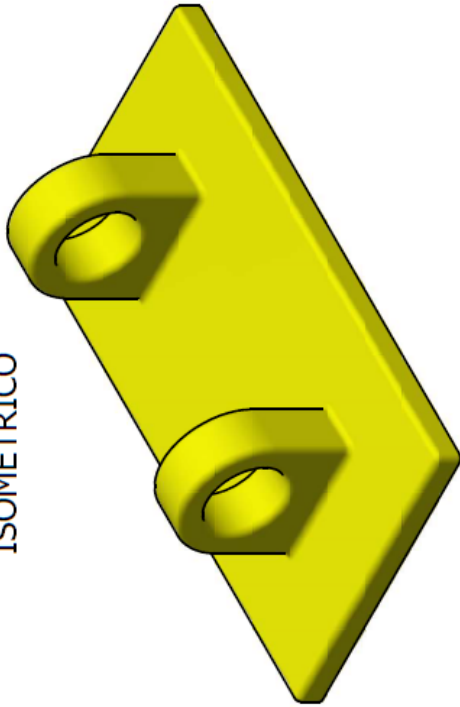


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA	
ESTUDIO Y ANALISIS DE UNA PERFORADORA HIDRAULICA PARA POZOS DE AGUA	
PARTES DE LA PERFORADORA	
P-1/2	
FECHA DE ENTREGA	
LABORANTE	
PROFESOR	

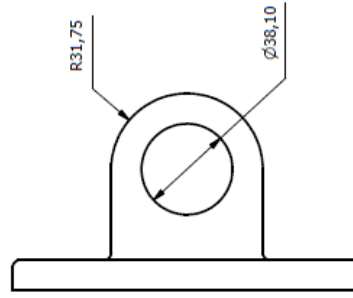


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA	
TITULO: ESTUDIO Y ANALISIS DE UNA PERFORADORA HIDRAULICA PARA POZOS DE AGUA	
Tema: <b>ACOPLES</b>	
FECHA DE ENTREGA: 25 DE ENERO 2016	INDICADA
<b>01</b>	

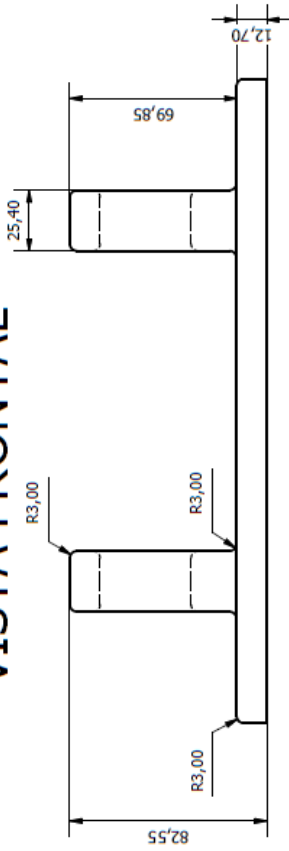
ISOMETRICO



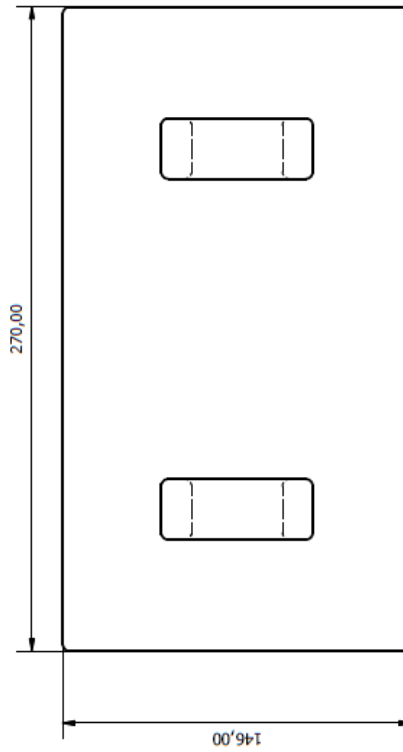
VISTA DE PERFIL



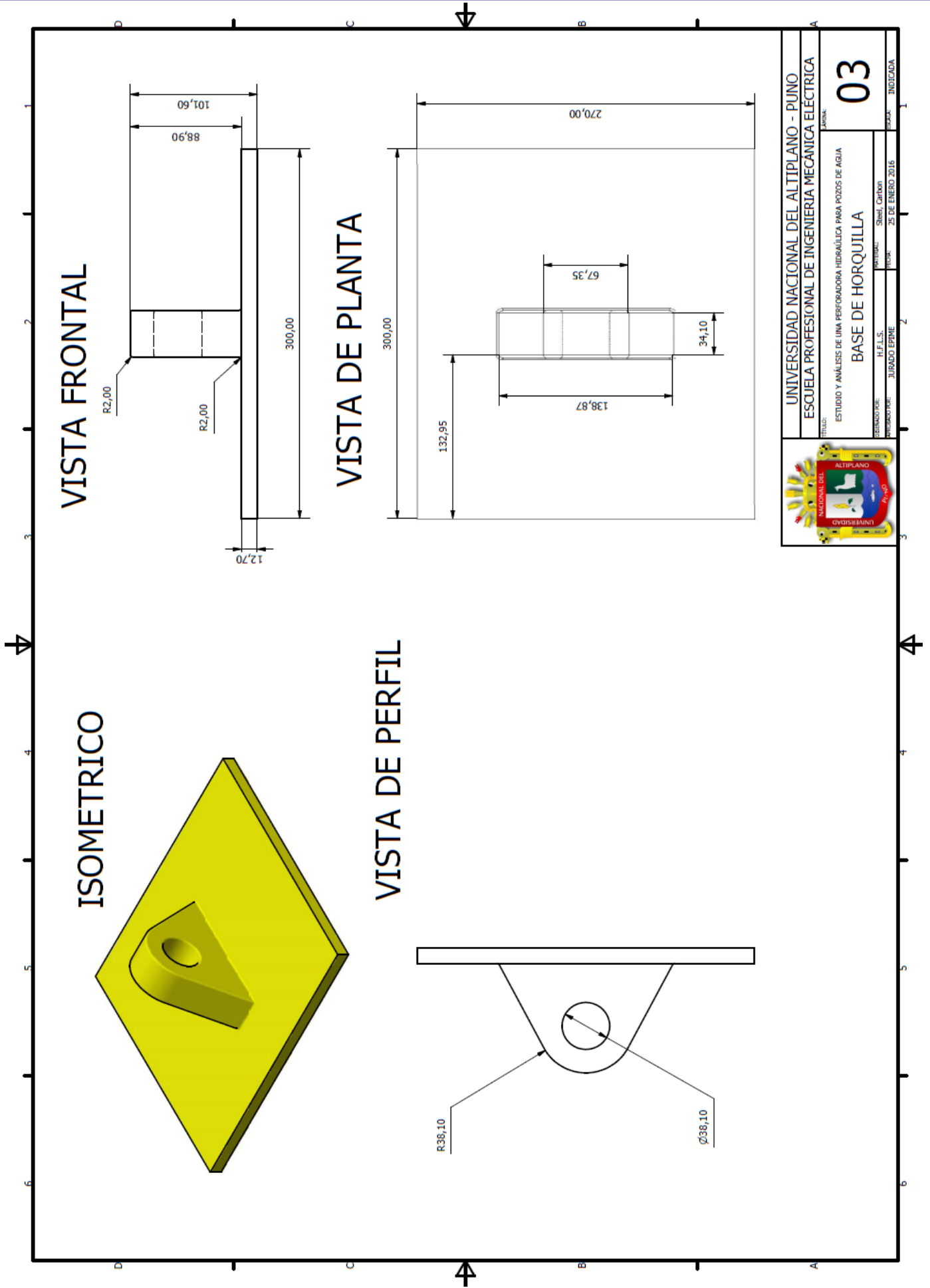
VISTA FRONTAL



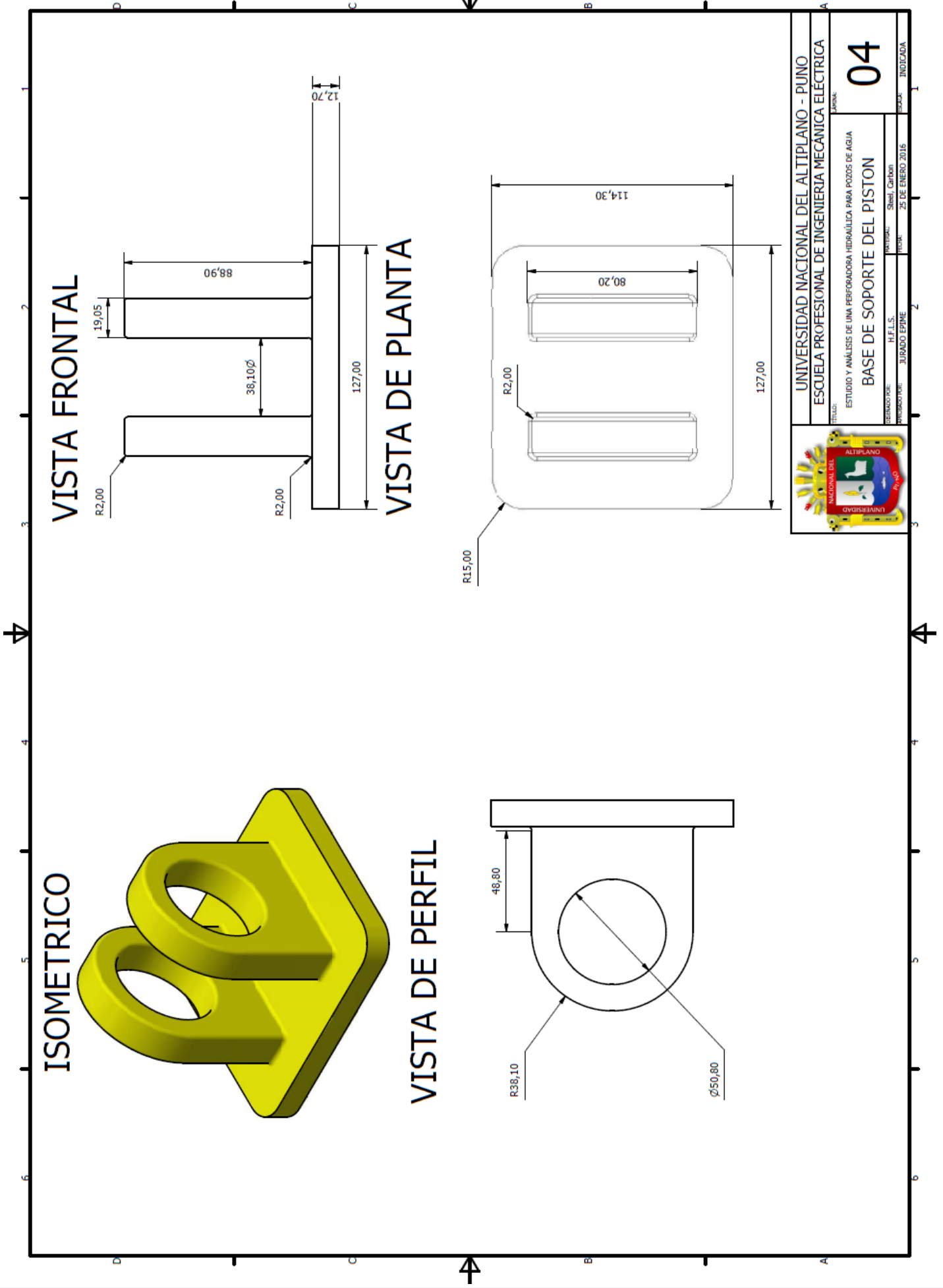
VISTA DE PLANTA



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA ELÉCTRICA	
TÍTULO: ESTUDIO Y ANÁLISIS DE UNA PERFORADORA HIDRAULICA PARA POZOS DE AGUA	
BASE DE PIN DE BASTIDOR	
REFERENCIAL: H.F.E.L.S.	ENTRADA: SIMEL CHIRÓN
PROFESOR TUTOR: JURADO EPRIE	FECHA: 25 DE ENERO 2016
02	
PÁGINA INDICADA	

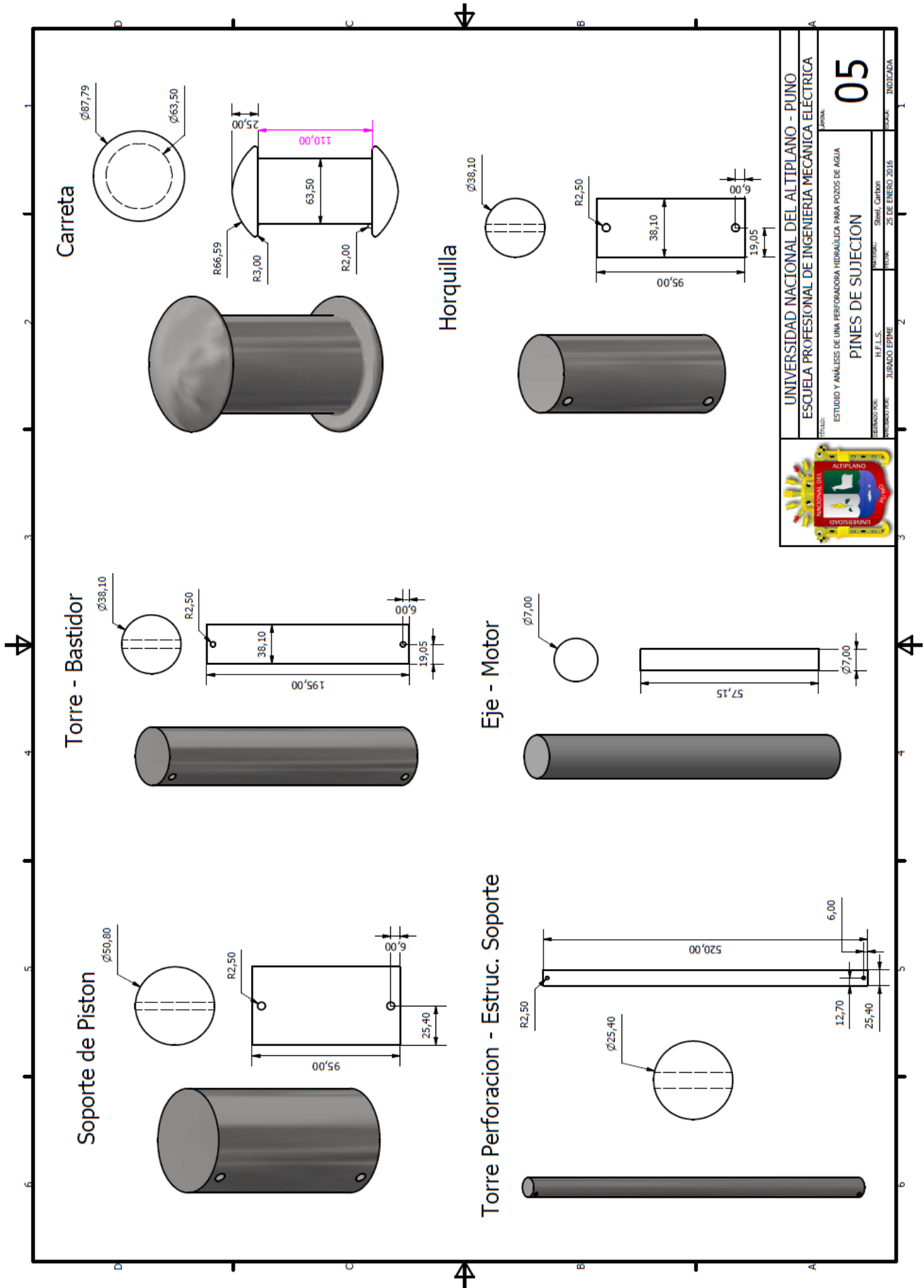


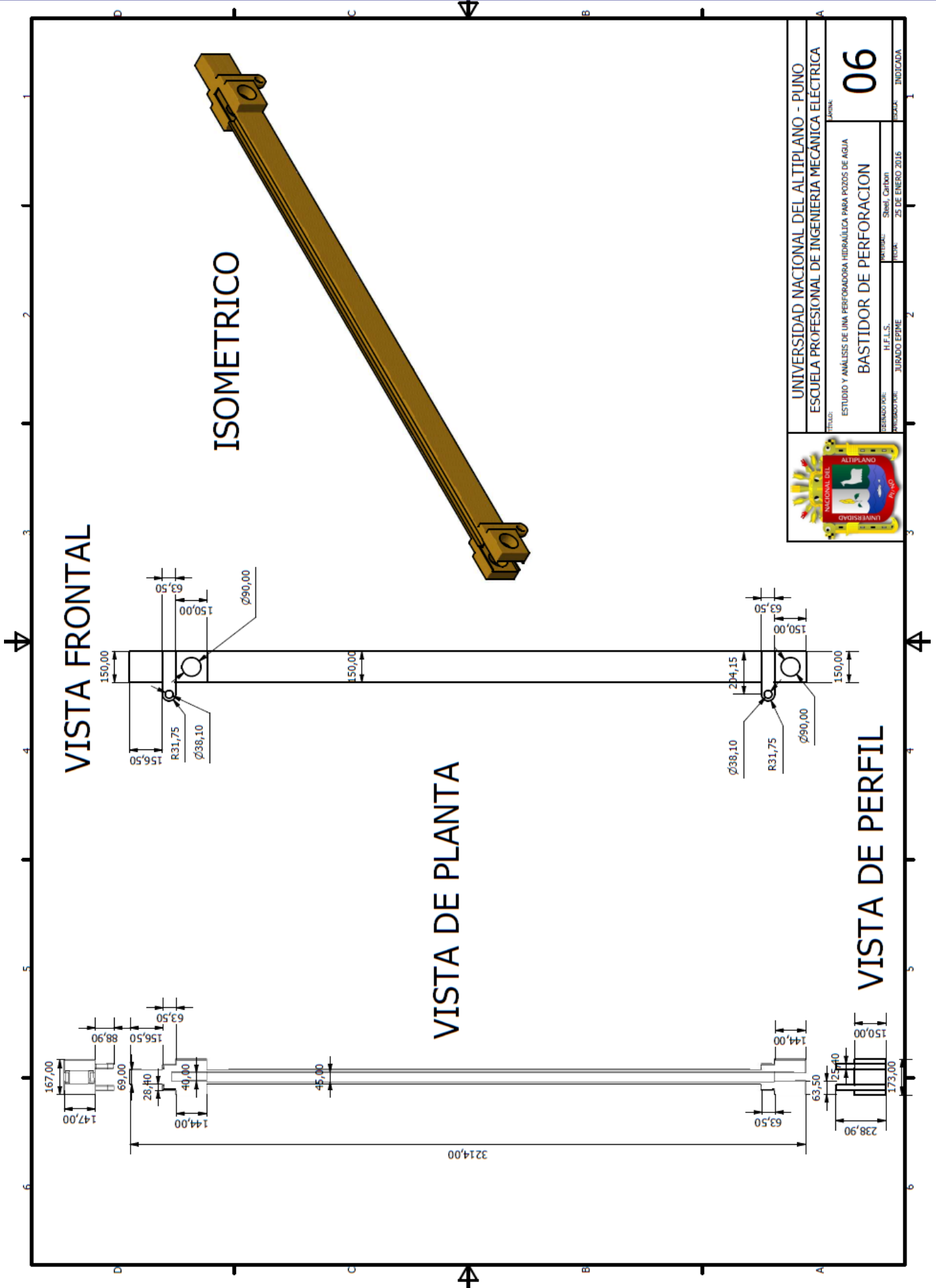
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA	
TITULO: ESTUDIO Y ANALISIS DE UNA PERFORADORA HIDRAULICA PARA POZOS DE AGUA	
TITULO: BASE DE HORQUILLA	
DESARROLLADO POR: H.F.L.S.	ENTREGA: SIMON CARHUAN
PROFESOR TUTOR: JURADO EPIME	FECHA: 25 DE ENERO 2015
MARK	03
INDICADA	INDICADA



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA	
TITULO: ESTUDIO Y ANALISIS DE UNA PERFORADORA HIDRAULICA PARA POZOS DE AGUA	SEMESTRE: 04
ESTUDIANTE: H.F.L.S.	TUTOR: Silesi, Carlos
JURADO EPIME: 25 DE ENERO 2015	ESCALA: INDICADA

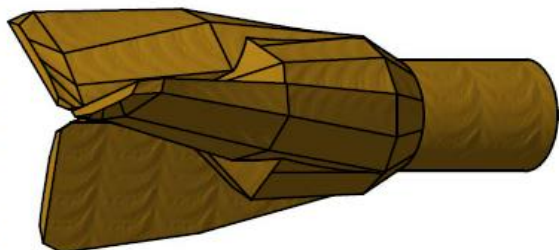




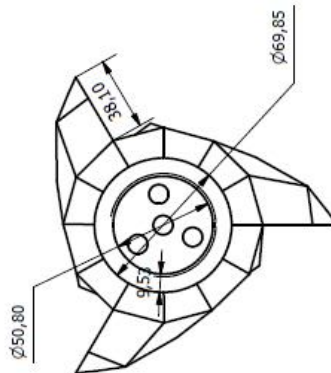


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO		06
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA		
ESTUDIO Y ANALISIS DE UNA PERFORADORA HIDRAULICA PARA POZOS DE AGUA		
BASTIDOR DE PERFORACION		
DESIGNADO POR:	ELI S. SERRA	FECHA:
PROYECTADO POR:	JURADO EPIME	25 DE ENERO 2015
TITULO:		ESCALA:
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO		INDICADA

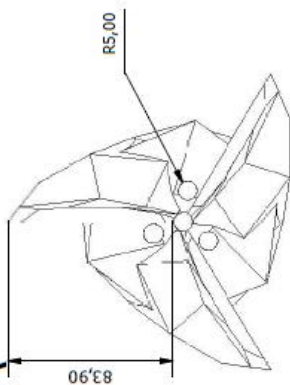
ISOMETRICO



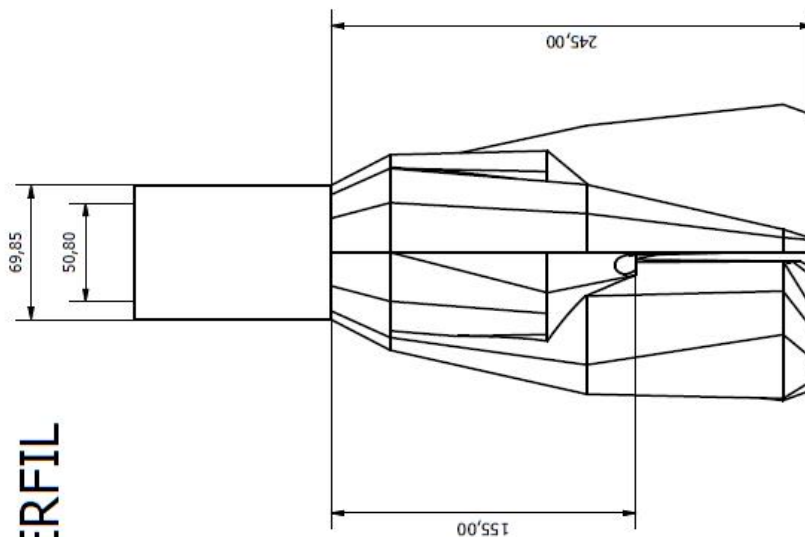
VISTA FRONTAL



VISTA DE PLANTA

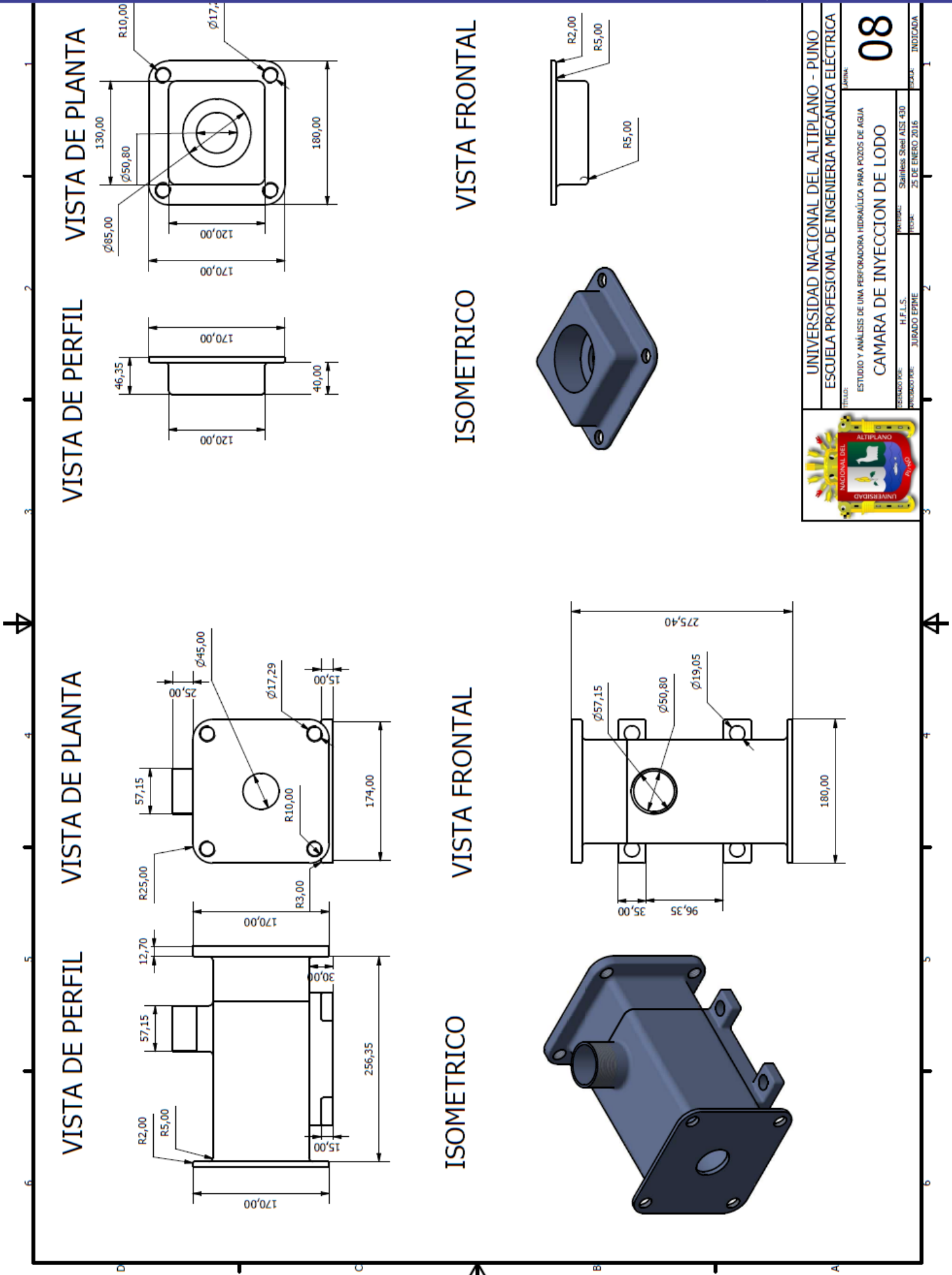


VISTA DE PERFIL

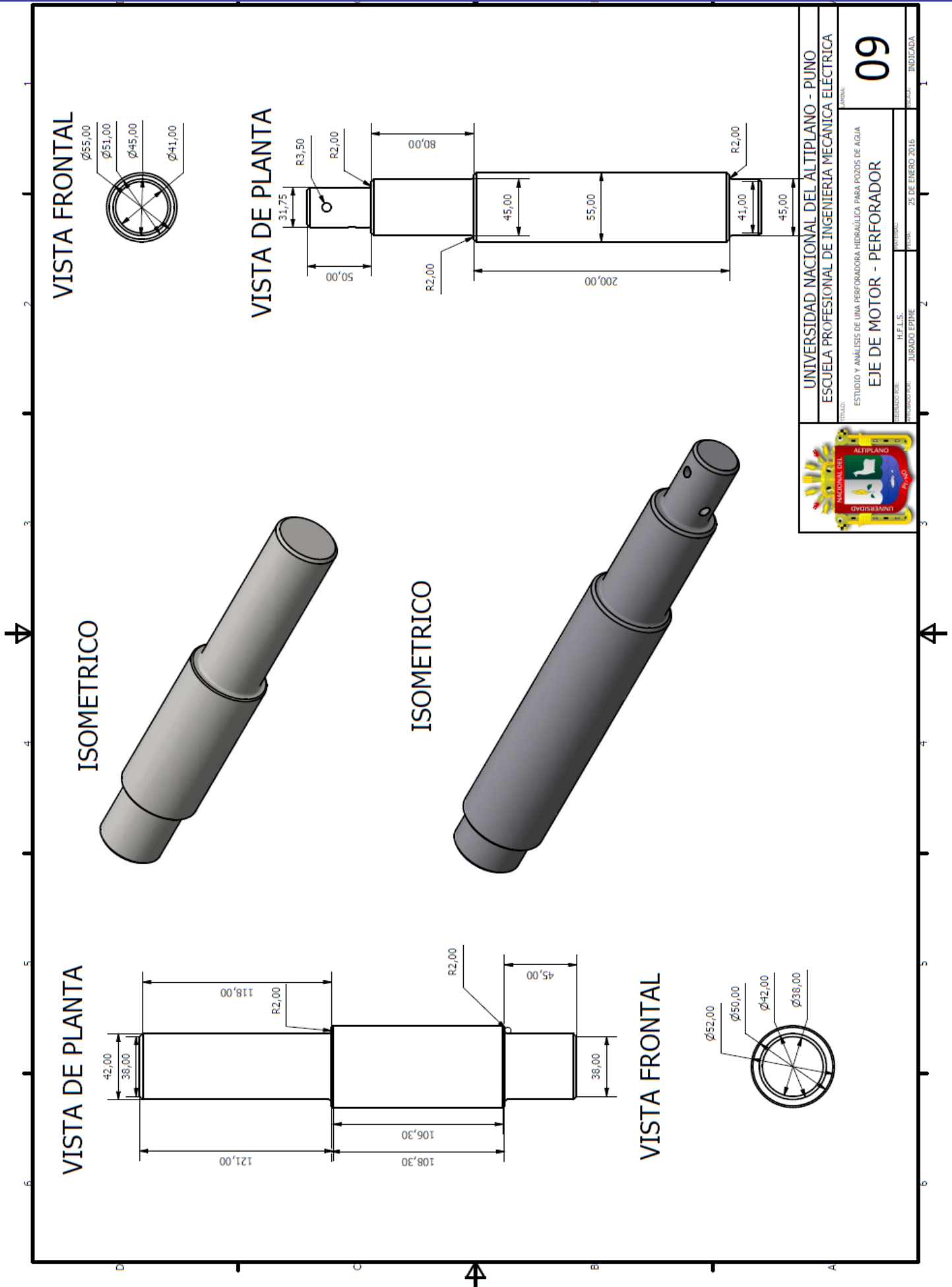


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA	
TITULO: ESTUDIO Y ANALISIS DE UNA PERFORADORA HIDRAULICA PARA POZOS DE AGUA	
TITULO: BROCA DE PERFORACION	
SEMESTRE: II F.L.S.	ANIO: 2016
PROFESOR: JURADO EPIME	FECHA: 25 DE ENERO 2016
07	
INDICADA	

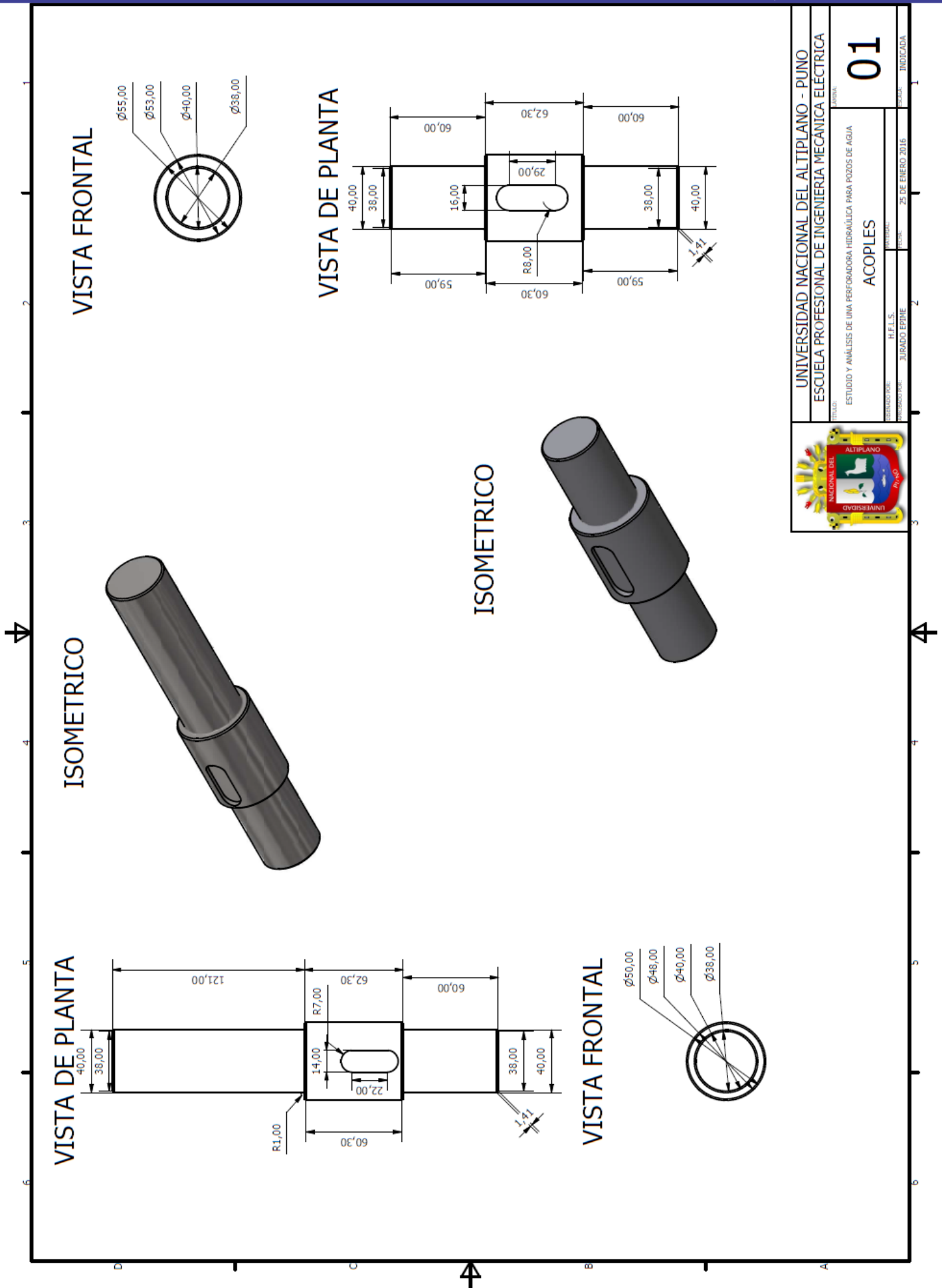




		UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA	
ESTUDIO Y ANÁLISIS DE UNA PERFORADORA HIDRAULICA PARA POZOS DE AGUA CAMARA DE INYECCION DE LODO		08	
TITULAR: H.F.L.S.	AUTOR: SANTIAGO SORIANO ALBI EDO	INSTITUCION: JUJAGUO EPIME	FECHA: 25 DE ENERO 2016
		INDICADA	



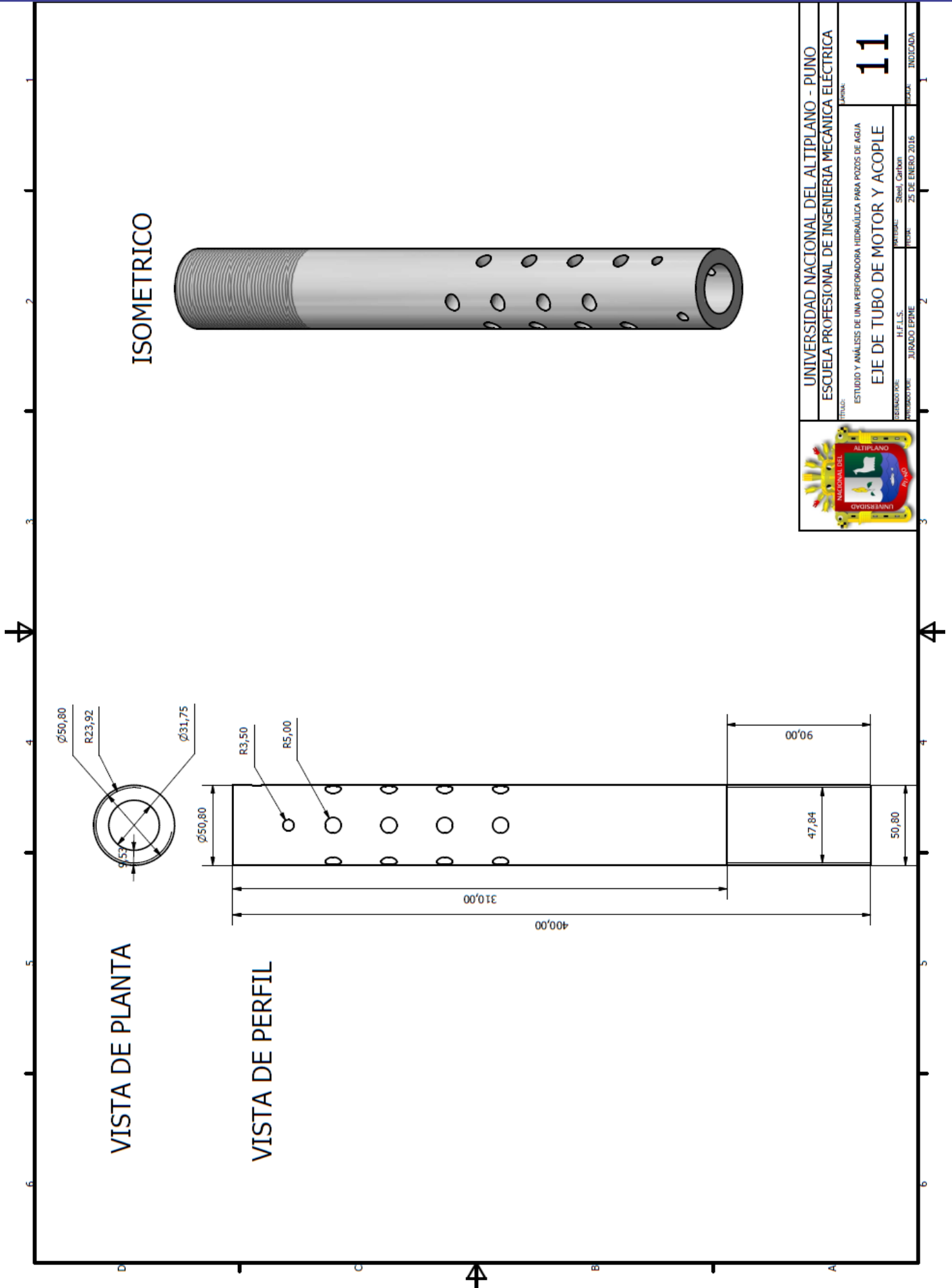
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA		
ESTUDIO Y ANÁLISIS DE UNA PERFORADORA HIDRÁULICA PARA POZOS DE AGUA		TÍTULO: <b>09</b> INDICADA
EJE DE MOTOR - PERFORADOR		
ESTUDIANTE: JURADO EPRIE	RI.F.L.S.	FECHA: 25 DE ENERO 2016



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

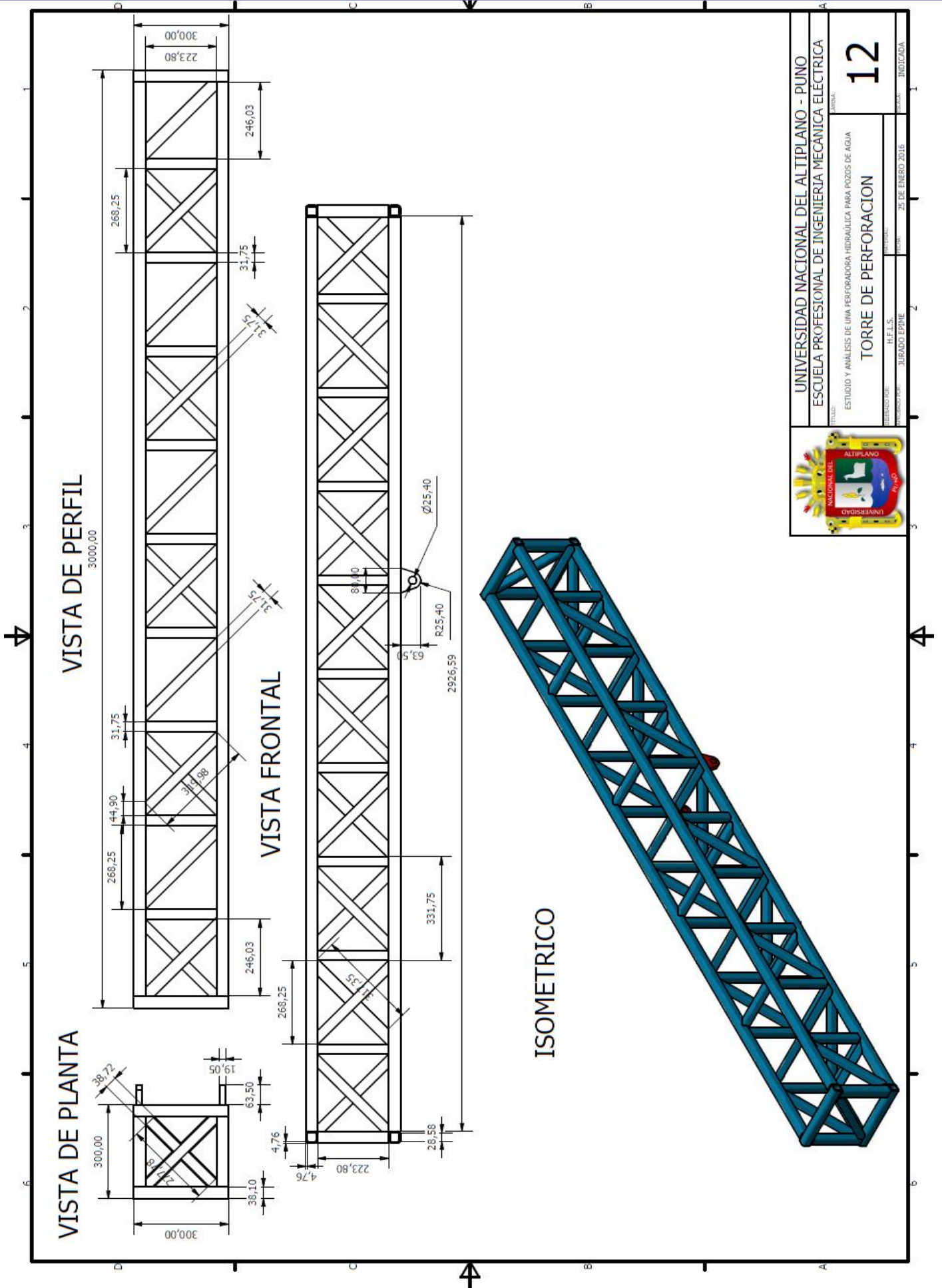
TITULO: ESTUDIO Y ANALISIS DE UNA PERFORADORA HIDRAULICA PARA POZOS DE AGUA  
 ASIGNATURA: ACOPLES  
 SEMESTRE: I F.E.S.  
 FECHA: 25 DE ENERO 2016  
 PUNTA: INDICADA

01



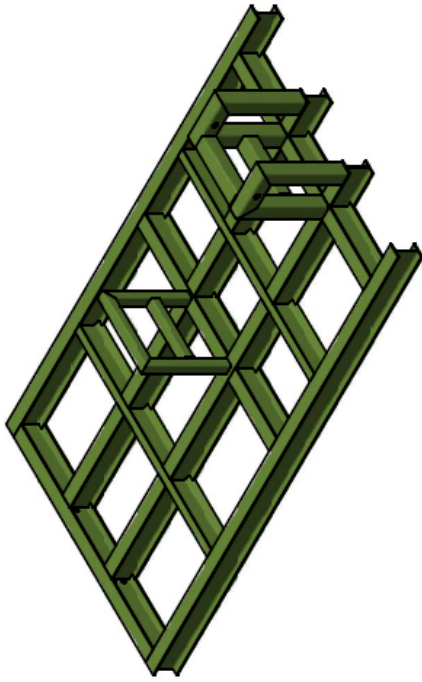
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA	
TITULO:	ESTUDIO Y ANALISIS DE UNA PERFORADORA HIDRAULICA PARA POZOS DE AGUA
TITULO:	EJE DE TUBO DE MOTOR Y ACOPLE
SEMESTRE:	VI
FECHA:	25 DE ENERO 2016
JURADO PROMOTOR:	JURADO EPIME
FECHA:	25 DE ENERO 2016
INDICADA:	INDICADA

11

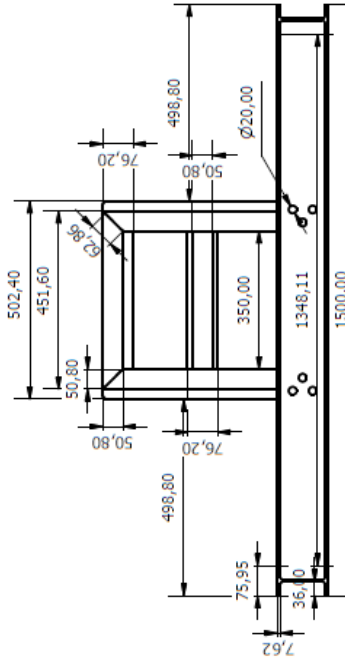


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO		CURSO: <b>12</b>
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA		
TITULO: ESTUDIO Y ANALISIS DE UNA PERFORADORA HIDRAULICA PARA POZOS DE AGUA		
TITULO: <b>TORRE DE PERFORACION</b>		
ELABORADO POR: H.F.A.S.	FECHA: 25 DE ENERO 2016	OTRO:
PROFESOR TUTOR: JURADO EPDME		OTRO:

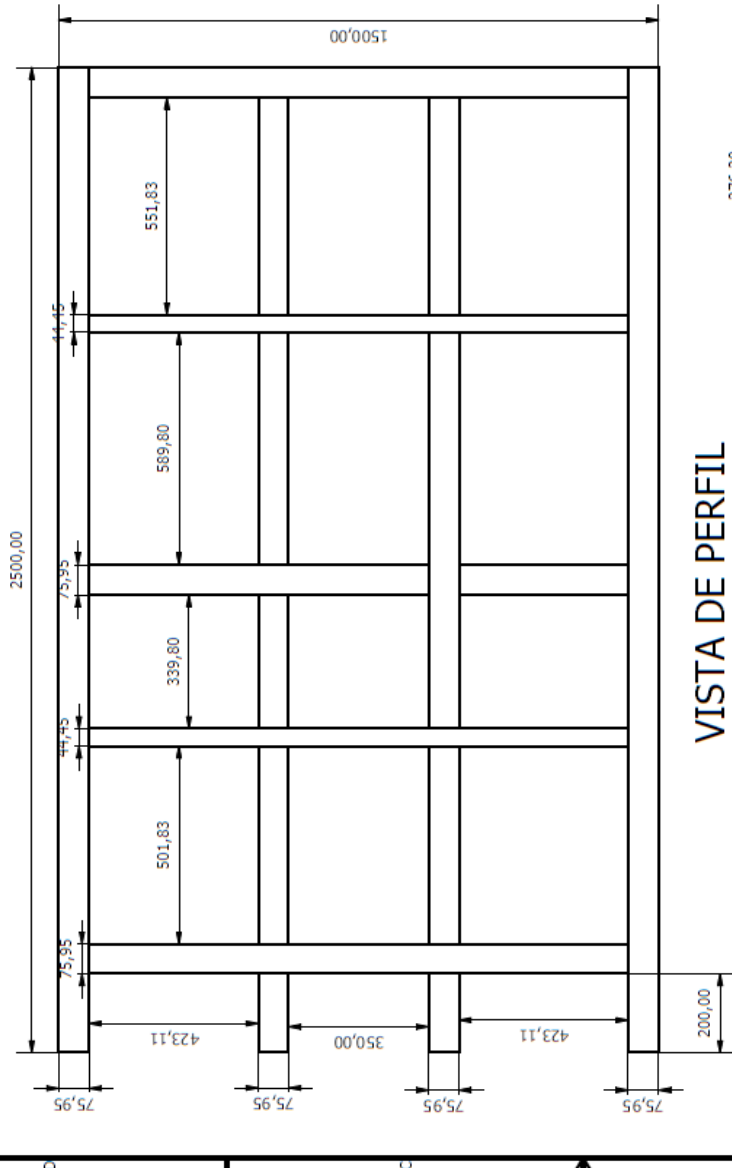
ISOMETRICO



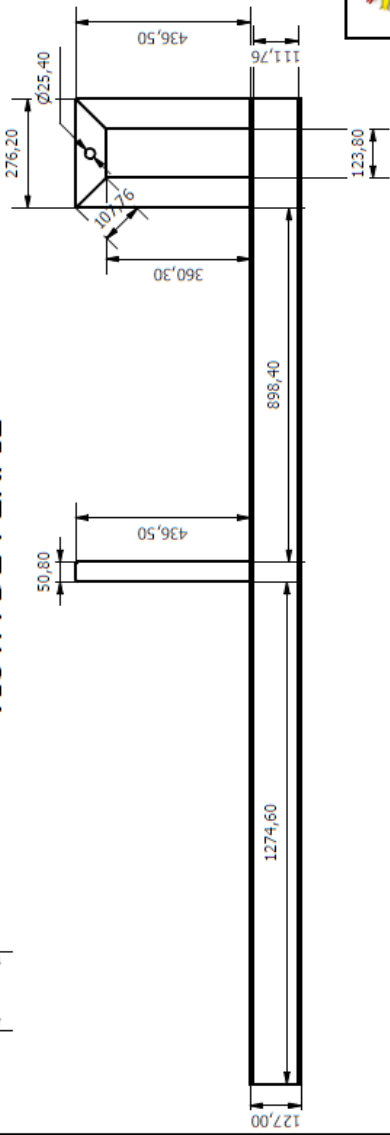
VISTA FRONTAL



VISTA DE PLANTA



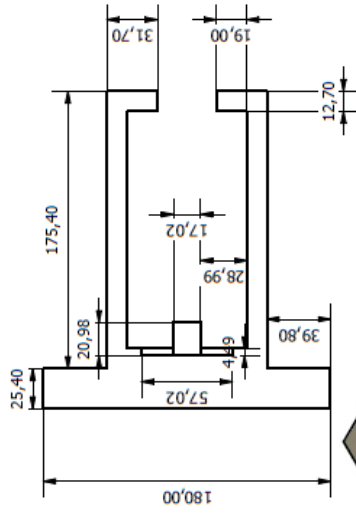
VISTA DE PERFIL



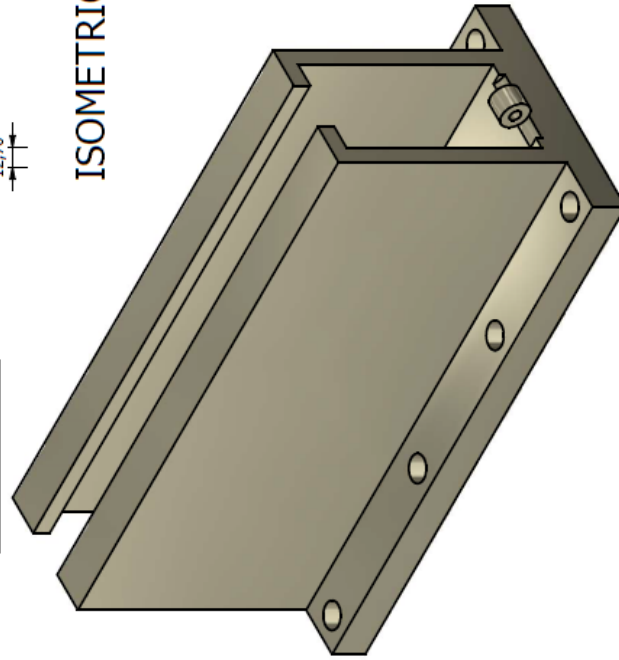
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA	
TITULO:	ESTUDIO Y ANALISIS DE UNA PERFORADORA HIDRAULICA PARA POZOS DE AGUA
ESTRUCTURA DE SOPORTE	
PROFESOR:	H.F.L.S.
PROFESOR PDI:	JURADO EPIME
FECHA:	25 DE ENERO 2016
13	
INDICADA	



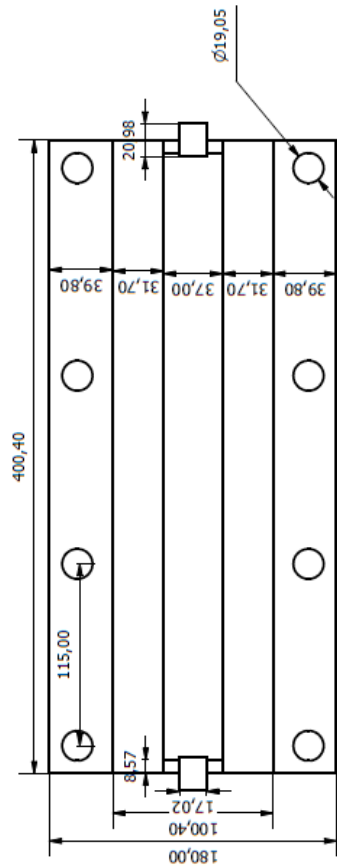
VISTA FRONTAL



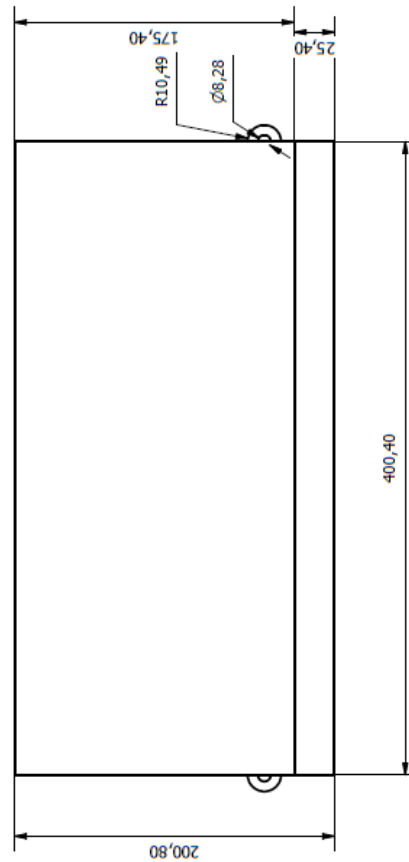
ISOMETRICO



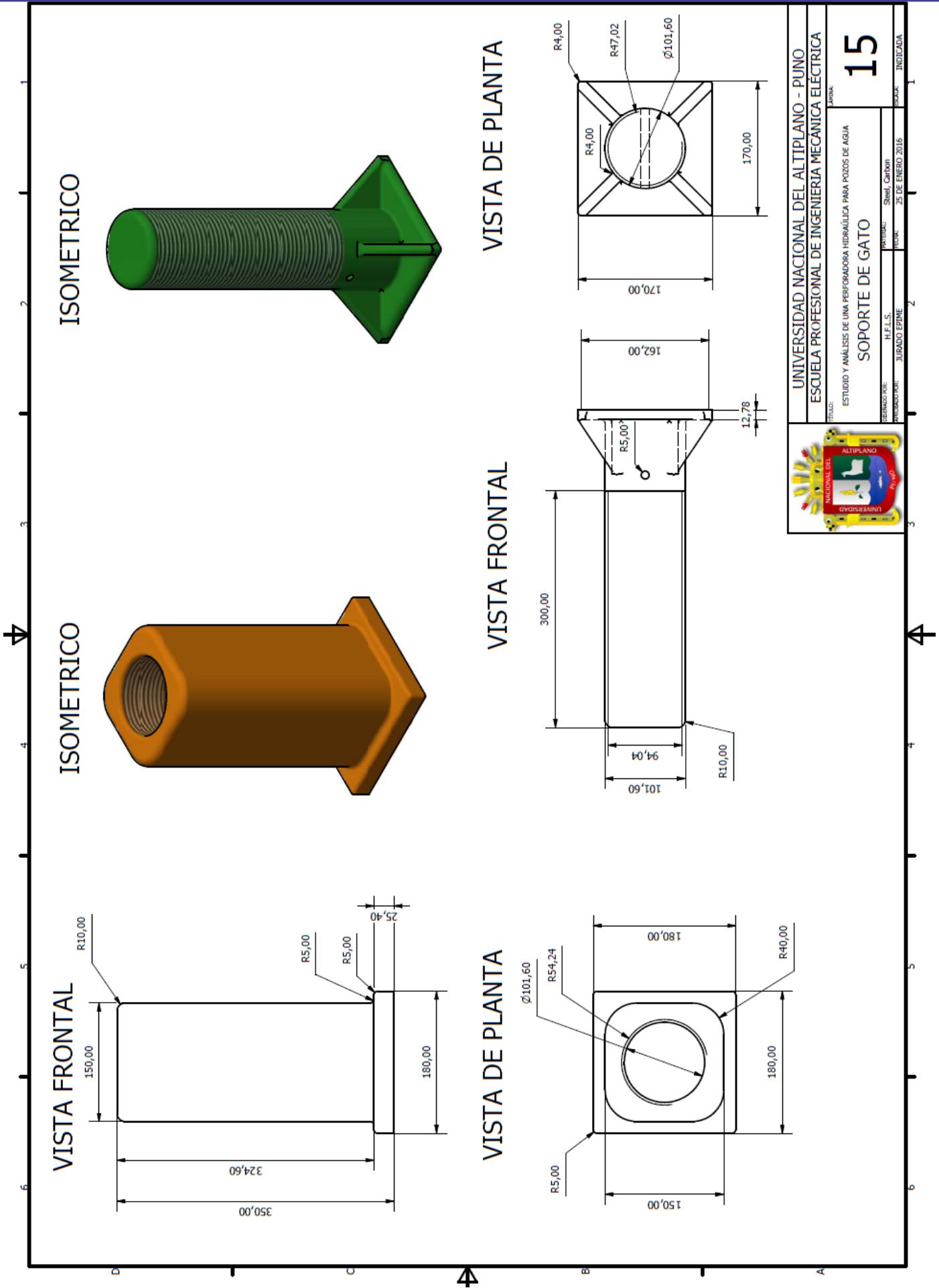
VISTA DE PLANTA



VISTA DE PERFIL

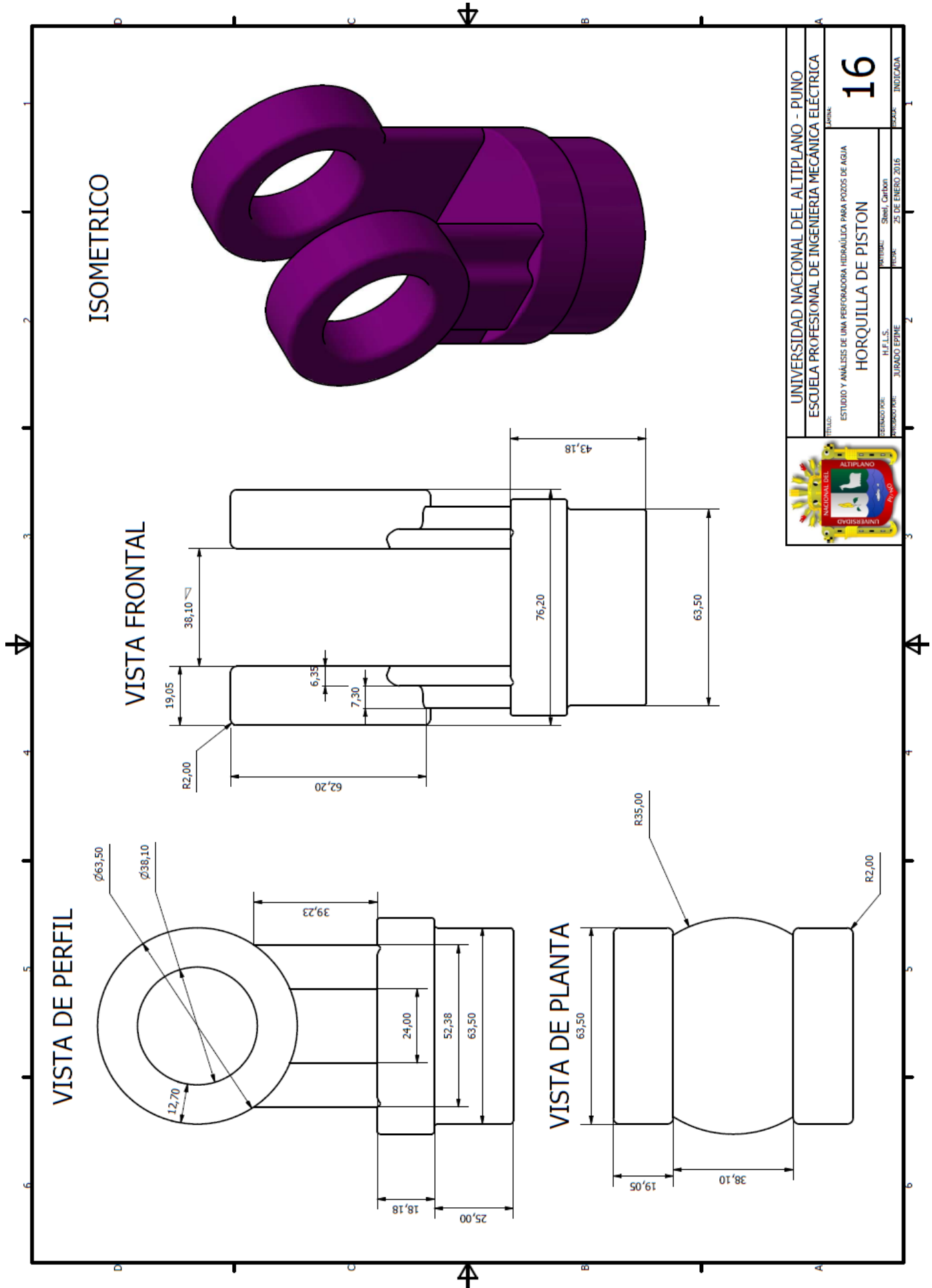


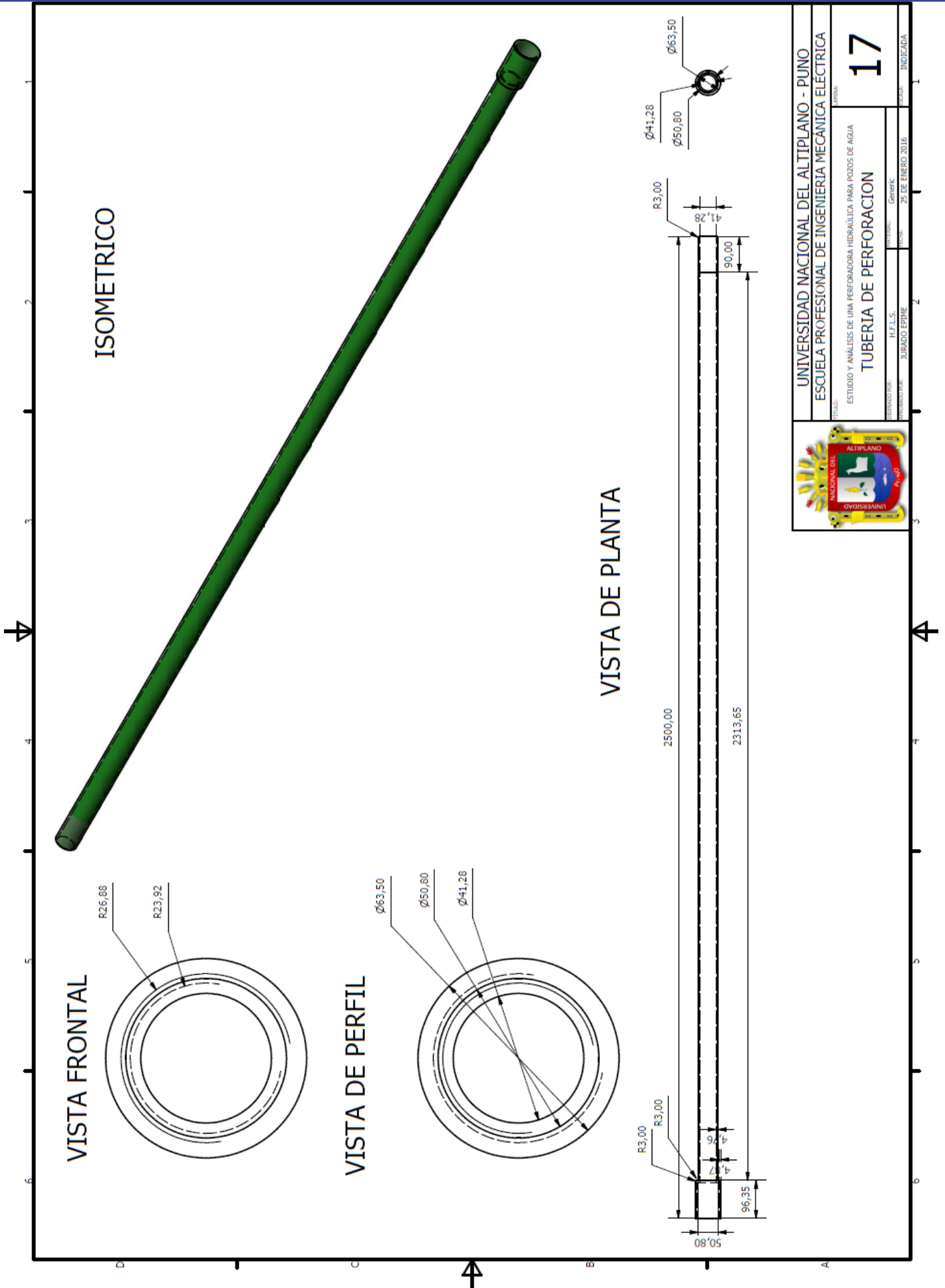
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA	
TITULO: ESTUDIO Y ANALISIS DE UNA PERFORADORA HIDRAULICA PARA POZOS DE AGUA	
GUIA DE MOTOR DE PERFORACION	
FECHA: 14	INDICADA
PROFESOR: JURADO EPIME	FECHA: 25 DE ENERO 2016
ESTUDIANTE: Steel, Caribon	INDICADA



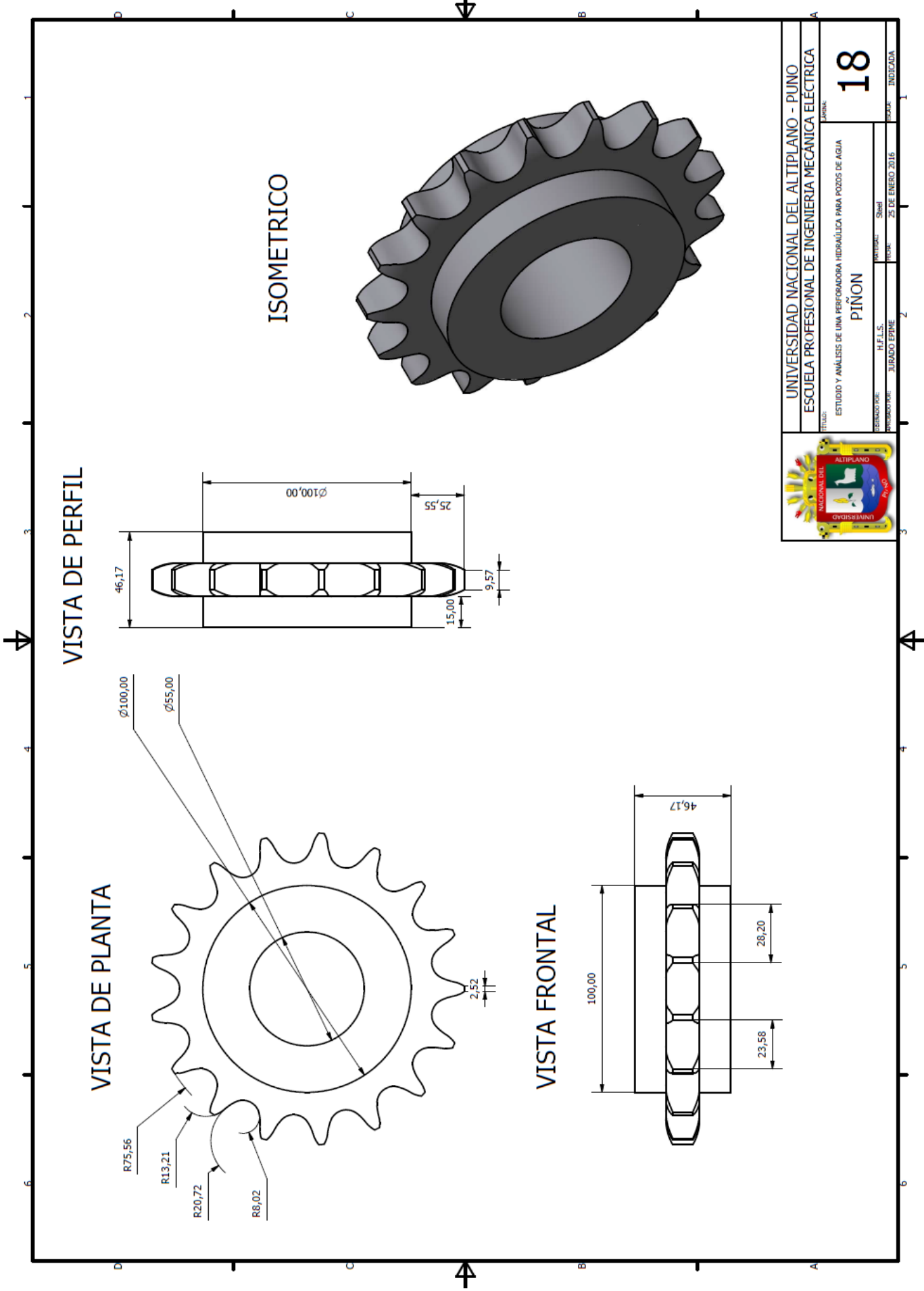
		UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA ELÉCTRICA
TITULO: ESTUDIO Y ANÁLISIS DE UNA PERFORADORA HIDRÁULICA PARA POZOS DE AGUA SOPORTE DE GATO	AUTOR: H.F.L.S.	TUTOR: Shael Carboni
JURADO EPIME: JURADO EPIME	FECHA: 25 DE ENERO 2016	PAGINA: 15
INDICADA		INDICADA







UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA	
TITULO: ESTUDIO Y ANALISIS DE UNA PERFORADORA HIDRAULICA PARA POZOS DE AGUA	
TUBERIA DE PERFORACION	
COORDINADOR: H.F.E.S.	COMISARIO: GERENTE
PROFESOR TUTOR: JURADO EPIME	FECHA: 25 DE ENERO 2016
<b>17</b>	
INDICADA	



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO		18
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA ELÉCTRICA		
ESTUDIO Y ANÁLISIS DE UNA PERFORADORA HIDRÁULICA PARA POZOS DE AGUA		
TÍTULO:	PINON	
FECHADO POR:	H. E. L. S.	FECHA:
JURADO EPIME:	25 DE ENERO 2016	INDICADA: