

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA UNIDAD MÓVIL DE PERFORACIÓN
PARA POZOS PROFUNDOS DE AGUA POTABLE PARA LA EMPRESA
PERFORACIONES MONTAJES EQUIPOS Y SUMINISTROS S.A.S.**

**NELSON ERNESTO CANO CORREDOR
RAÚL ANDRÉS SERRANO BAYONA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2017

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA UNIDAD MÓVIL DE PERFORACIÓN
PARA POZOS PROFUNDOS DE AGUA POTABLE PARA LA EMPRESA
PERFORACIONES MONTAJES EQUIPOS Y SUMINISTROS S.A.S.**

**NELSON ERNESTO CANO CORREDOR
RAÚL ANDRÉS SERRANO BAYONA**

**Trabajo de grado para optar por el título de
Ingeniero Mecánico**

**Director
PEDRO JOSÉ DIAZ GUERRERO
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2017

DEDICATORIA

A mi mamá por ser el motor de mi vida, quien me ha impulsado y apoyado a lograr todos mis objetivos, a ella le debo todos mis logros.

A mis hermanos, mi tía Martha Cano, mi abuela Eloísa Espitia y toda mi familia quienes estuvieron pendientes de mí en este proceso de formación y me brindaron su apoyo incondicional para lograr mis metas.

A mis amigos de estudio, mis compañeros de carrera , que acompañados logramos paso a paso el objetivo final, a mis amigos de la Selección de tenis de mesa de nuestra amada UIS y mi profesor Juan Pablo , a ellos por estar presentes también y por hacer más que un grupo una familia en esta etapa de mi vida.

DEDICATORIA

A mi Madre y a mis Hermanas, a Yovinacio Palacios, y a mi familia en general por su apoyo incondicional en todo momento, por su amor y por su fe hacia los propósitos de mi vida, además de ser una guía para siempre obrar por el mejor camino posible.

A mi Padre, quien ha sido inspiración para mi profesión y quien ha sido siempre un ejemplo de trabajo con total disposición.

A mis compañeros de estudio en la Universidad y amigos quienes en algún momento brindaron su ayuda en las asignaturas cursadas y por los momentos compartidos.

A María Alejandra, por su incontable amor y comprensión en los momentos más difíciles, y también por su ayuda con la información geológica en este proyecto.

AGRADECIMIENTOS

A Milson Murcia y a Carlos Julio Gutiérrez, quienes trabajan en la empresa donde fue realizado este proyecto, y con su conocimiento y su esfuerzo hicieron posible este diseño y construcción, debido a que mediante sus sugerencias se pudo modificar y ajustar el diseño de manera correcta para su posterior fabricación.

A la empresa PERFORACIONES MONTAJES EQUIPOS Y SUMINISTROS S.A.S. y a sus empleados por su colaboración con diferentes aspectos en la construcción de la máquina.

Al compañero Kevin Cuadros por su asesoría en el software ANSYS para la realización del análisis en la estructura.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	20
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	21
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	21
1.2. JUSTIFICACIÓN A LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.....	23
1.3. OBJETIVOS.....	24
1.3.1. Objetivo general.....	24
1.3.2. Objetivos específicos.....	25
2. GEOLOGÍA DEL TERRENO.....	26
3. DISEÑO MODULAR.....	31
3.1. MÓDULO ESTRUCTURAL.....	33
3.1.1. Torre de perforación	33
3.1.2. Plataforma	33
3.2. MODULO DE POTENCIA.....	34
3.2.1. Motor.....	34
3.2.2. Distribución de potencia.....	35
3.2.2.1. Reductor de velocidad	35
3.2.2.2. Transmisión por correas	35
3.2.3. Submódulo de perforación.....	36
3.2.3.1. Sistema de circulación.....	36
• Bomba de lodos.....	38
3.2.3.2. Sistema de levantamiento.....	39
• Malacate.....	39
3.2.3.3. Sistema de rotación	40

• Mesa rotaria	40
Tubería de perforación.....	41
• Unión giratoria (swivel)	42
• Cuadrante (kelly).....	42
• Broca de perforación.....	43
3.3. MÓDULO DE CONTROL.....	43
3.3.1. Control mediante embragues.....	43
4. CÁLCULOS DE DISEÑO	44
4.1. CONDICIONES DE OPERACIÓN	44
4.2. ANÁLISIS DE LA SARTA DE PERFORACIÓN	45
4.2.1. Propiedades de la tubería de perforación (SCH 80 – 2” y del líquido de perforación.....	45
4.2.2. Peso de la sarta de perforación en condición seca y con el fluido de perforación.....	46
4.2.3. Velocidades de rotación críticas para la sarta de perforación.....	48
4.2.4. Análisis de esfuerzo y deformación de la tubería	49
4.2.4.1. Análisis de tensión (MOP).....	49
4.2.4.2. Análisis de tensión por criterio de cuñas – slip crushing.....	49
4.2.4.3. Análisis de colapso en tubería y en manguera de sistema de circulación	50
4.2.4.4. Adición de las fuerzas de tensión producto de las cargas por choque y recálculo del factor de seguridad.....	51
4.2.4.5. Cálculo de la resistencia a la fluencia por torsión y tensión	52
4.2.4.6. Elongación de la tubería	53
4.3. MÓDULO DE POTENCIA.....	54
4.3.1. Cálculo de la potencia requerida en la mesa rotaria.....	54
4.3.1.1. Comprobación de uso de mesa rotaria en condición de operación	54
4.3.2. Cálculo de la potencia del malacate en estado transitorio.....	57
4.3.3. Cálculo de la bomba de lodos.....	58

4.3.4. Potencia máxima y selección del motor	60
4.3.5. Selección de la transmisión por correas	62
4.3.6. Selección de los embragues.....	65
4.3.7. Acoples para transmisión de potencia en los embragues (juntas universales)	66
4.4. MÓDULO ESTRUCTURAL.....	68
4.4.1. Analisis de la estructura de la torre y plataforma de perforación.....	68
4.4.1.1. Analisis de volcadura de la estructura con los componentes instalados	70
• Condición de operación	70
• Condición de transporte.....	74
4.4.1.2. Comprobación de resistencia a las cargas en la estructura mediante software ANSYS	76
4.4.1.3. Analisis del sistema de suspensión de la unidad móvil.....	80
5. CONSTRUCCIÓN.....	82
5.1. MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN.....	82
5.2. INSTALACIÓN Y ENSAMBLAJE DE ESTRUCTURA DE PERFORACIÓN.....	83
5.2.1. Soldadura 6010	85
5.2.2. Soldadura 7018	86
5.3. INSTALACIÓN Y ENSAMBLAJE DE SUSPENSIÓN DE LA MÁQUINA	89
5.4. CONSTRUCCIÓN DE LA MESA ROTARIA Y MONTAJE EN LA ESTRUCTURA.....	94
5.5. CONEXIÓN DEL MOTOR CON EL SISTEMA DE ARRANQUE, BATERÍA Y EL TABLERO DE CONTROL.....	97
5.6. ENSAMBLE DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA HACIA LA MESA ROTARIA.....	99
5.7. ENSAMBLE DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA HACIA LA BOMBA DE LODOS.....	101

5.8. INSTALACIÓN DE LAS PALANCAS DE MANDO PARA LOS EMBRAGUES	101
6. ANALISIS DE COSTOS Y VIABILIDAD	103
6.1. COSTOS DE FABRICACIÓN	103
6.2. COSTOS DE COMBUSTIBLES Y LUBRICANTES	104
7. CONCLUSIONES	107
8. RECOMENDACIONES	110
BIBLIOGRAFÍA	113
ANEXOS	119

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Campo de análisis para aplicación de la unidad móvil.....	26
Figura 2. Mapa geológico municipio de Maní (Casanare).....	27
Figura 3. Corte morfo estructural esquemático de la región del departamento de Casanare.....	39
Figura 4. Clasificación ingenieril de roca intacta según Deere.....	39
Figura 5. Unidad móvil de perforación de baja capacidad.....	31
Figura 6. Diagrama de diseño conceptual.....	32
Figura 7. Motor Diesel Cummins de 200 [HP].....	34
Figura 8. Transmisión por correas.....	36
Figura 9. Sistema de perforación con rotación y circulación directa.....	37
Figura 10. Línea de succión y descarga de una bomba de lodos.....	38
Figura 11. Imagen de la junta de perforación o Swivel, en unión con el vástago de perforación o Kelly.....	38
Figura 12. Malacates para la elevación del vástago de perforación (o Kelly) y para la tubería de perforación.....	39
Figura 13. Mesa rotatoria en desarme.....	40
Figura 14. Tubería de perforación.....	41
Figura 15. Vástago de perforación o Kelly, anclado con un swivel o junta de perforación.....	41
Figura 16. Brocas de perforación.....	42
Figura 17. Control de caja de transferencia.....	43
Figura 18. Esquema de una transmisión diferencial a eje trasero.....	55
Figura 19. Mesa rotaria centrada y ensamblada a su embrague.....	56
Figura 20. Bomba de lodos IHM de referencia 30AL2.....	60
Figura 21. Motor Koop China KD292F.....	62
Figura 22. Polea motriz tipo A de Diámetro primitivo=4”.....	64
Figura 23. Polea conducida tipo A de Diámetro primitivo=14”.....	65

Figura 24. Embrague de un vehículo Suzuki Lj80.....	66
Figura 25. Distribución de elementos sobre la estructura del taladro.....	69
Figura 26. Ubicación de las fuerzas ejercidas sobre la estructura.....	71
Figura 27. Vista lateral de la estructura con la ubicación de estas cargas.....	73
Figura 28. Vista frontal de la estructura con la ubicación de estas cargas.....	73
Figura 29. Analisis estático de las fuerzas que actúan en condición de transporte.....	74
Figura 30. Analisis de deformación total.....	78
Figura 31. Analisis fuerza axial.....	78
Figura 32. Analisis momento flector total.....	79
Figura 33. Esquema de reacciones en un conjunto de hojas de resorte con sus respectivas ubicaciones.....	80
Figura 34. Ecuación particular de la constante del resorte.....	81
Figura 35. Largo de tubos más comerciales.....	84
Figura 36. Base estructura.....	87
Figura 37. Torre de perforación.....	87
Figura 38. Ensamble torre de perforación con base estructural.....	88
Figura 39. Estructura terminada.....	88
Figura 40. Ballestas con sus principales medidas.....	89
Figura 41. Partes generales de una ballesta.....	89
Figura 42. Resortes de hoja con uniones, centrados y fijados.....	90
Figura 43. Ballestas listas para montaje.....	90
Figura 44. Analisis general del montaje.....	91
Figura 45. Ejes de articulación de resortes de hoja.....	91
Figura 46. Montaje punto fijo.....	92
Figura 47. Montaje punto móvil	92
Figura 48. Ballesta terminada con eje.....	93
Figura 49. Llanta marca LIMA CAUCHO 6.50 rin 14”.....	94
Figura 50. Suspensión finalizada.....	94
Figura 51 (a). Despiece de elementos eje spin.....	95

Figura 51 (b). Eje del spin.....	95
Figura 51 (c). Montaje completo del eje del spin.....	95
Figura 52 (a). Despiece cilindro exterior y tapas superior e inferior junto con el montaje corona-rodamiento.....	95
Figura 52 (b). Corona-rodamiento ensamblados junto con el cilindro Interno.....	95
Figura 52 (c). Montaje corona completo.....	95
Figura 53. Mesa rotaria lista para su montaje en la estructura.....	96
Figura 54. Montaje de mesa rotaria.....	97
Figura 55. Motor con sus cables positivo, negativo y la conexión para la presión de la bomba de aceite.....	97
Figura 56. Batería FAICO 271-1100 Instalada junto al motor.....	98
Figura 57. Tablero de mando y control.....	98
Figura 58 (a) Alineación del eje directo del reductor con el eje de la rotaria para tomar su respectiva altura.....	99
Figura 58 (b) Soldadura de los perfiles en ángulo y realización del montaje del Reductor.....	99
Figura 59. Conjunto reductor-malacate.....	100
Figura 60. Ensamble general eje rotaria-embrague-reductor.....	100
Figura 61. Montaje finalizado del motor con la bomba de lodos.....	101
Figura 62 (a). Conexión palanca a embrague mesa rotaria.....	102
Figura 62 (b). Palanca de embrague mesa rotaria.....	102
Figura 62 (c). Palanca embrague bomba de lodos.....	102
Figura 63. Rango de frecuencia natural en sistemas de suspensión.....	111

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Datos de entrada para peso de sarta de perforación	45
Tabla 2. Propiedades de la tubería de perforación (SCH 80 – 2”).....	46
Tabla 3. Propiedades del fluido de perforación a utilizar.....	46
Tabla 4. Peso de la sarta de perforación en seco y con el fluido de perforación....	47
Tabla 5. Análisis de peso en el fondo del pozo.....	47
Tabla 6. Velocidades de rotación críticas para la sarta de perforación.....	48
Tabla 7. Analisis de esfuerzo y deformación de la tubería.....	49
Tabla 8. Relación RS.....	50
Tabla 9. Relación RS y longitud de tubería admisible SC.....	50
Tabla 10. Datos de salida, análisis de colapso de la tubería.....	51
Tabla 11. Datos fuerza de tensión producto de las cargas por choque y recálculo del factor de seguridad.....	52
Tabla 12. Datos de entrada para el análisis de esfuerzos y torsión.....	52
Tabla 13. Resultados del análisis de esfuerzos por torsión.....	53
Tabla 14. Datos de salida elongación de la tubería.....	53
Tabla 15. Datos obtenidos para potencia requerida en la mesa rotaria.....	54
Tabla 16. Especificaciones del motor para el Chevrolet LUV 2.3.....	55
Tabla 17. Datos de velocidad y torque de trabajo en la mesa rotaria.....	56
Tabla 18. Datos de entrada para la potencia del malacate.....	57
Tabla 19. Valores de eficiencias para el sistema de elevación de la tubería.....	57
Tabla 20. Resultados en sistema internacional y sistema Inglés.....	58
Tabla 21. Datos de salida cálculo de la bomba de lodos.....	60
Tabla 22. Dato potencia máxima suministrada.....	61
Tabla 23. Datos de entrada de transmisión de potencia por correas.....	63
Tabla 24. Análisis de potencia de diseño.....	63
Tabla 25. Datos de dimensiones y de entrada para cálculo de número de correas..	63
Tabla 26. Número de correas y potencia corregida por banda.....	64

Tabla 27. Datos considerados de entrada para la selección de embragues.....	65
Tabla 28. Energías requeridas a disipar.....	66
Tabla 29. Datos para el análisis de selección de juntas universales.....	67
Tabla 30. Intercambio de referencias para juntas universales.....	68
Tabla 31. Cargas existentes y más relevantes en la estructura.....	71
Tabla 32. Cargas significativas en la condición de transporte.....	75
Tabla 33. Resultados de los tres procesos a estudiar.....	77
Tabla 34. Datos finales deformación total.....	77
Tabla 35. Datos finales fuerza axial.....	78
Tabla 36. Datos finales momento flector total.....	79
Tabla 37. Características y especificaciones de los resortes de hoja.....	80
Tabla 38. Dato frecuencia natural del sistema de suspensión.....	81
Tabla 39. Materiales para la construcción de la unidad móvil.....	82
Tabla 40. Resistencia de pernos y tuercas SAE según su número de grado.....	83
Tabla 41. Características y dimensiones de los tramos de tubería SCH 40.....	84
Tabla 42. Datos técnicos y características soldadura 6010.....	85
Tabla 43. Amperaje necesario de acuerdo a un diámetro especificado para soldadura tipo 6010.....	85
Tabla 44. Datos técnicos y características soldadura 7018.....	86
Tabla 45. Amperaje necesario de acuerdo a un diámetro especificado para soldadura tipo 7018.....	86
Tabla 46. Costos totales proyecto.....	103
Tabla 47. Datos de salida de costos por consumo de combustible.....	105
Tabla 48. Datos de salida de costos por consumo de combustible en una configuración convencional.....	106
Tabla 49. Comparación de costos de combustibles en las dos configuraciones...	108

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Cálculos.....	117
Anexo B. Selección del reductor de velocidad bajo criterios de RADICON.....	134
Anexo C. Información técnica acerca de bomba de lodos IHM 30A-L2.....	129
Anexo D. Información motor Koop china KD292F.....	131
Anexo E. Información de crucetas para juntas universales.....	131
Anexo F. Planos estructura de unidad móvil hechos en SolidWorks.....	131
Anexo G. Información adicional y análisis de tensión directa del análisis estructural realizado en el Software ANSYS.....	132
Anexo H. Manual de operación.....	135
Anexo I. Manual de mantenimiento.....	142
Anexo J. Carta certificación empresa.....	167

RESUMEN

TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA UNIDAD MÓVIL DE PERFORACIÓN PARA POZOS PROFUNDOS DE AGUA POTABLE PARA LA EMPRESA PERFORACIONES MONTAJES EQUIPOS Y SUMINISTROS S.A.S.*

AUTORES: NELSON ERNESTO CANO CORREDOR**

RAÚL ANDRES SERRANO BAYONA**

Palabras Claves: Diseño, Construcción, Perforación, Agua, Ensamblaje.

Se diseñó y construyó una unidad móvil de perforación para formar pozos profundos de agua potable para la empresa perforaciones, montajes, equipos y suministros S.A.S en el departamento de Casanare para contribuir con el suministro de agua potable en lugares aledaños a los municipios donde debido a diversos factores no alcanza a llegar esta valiosa fuente de vida.

Se determinaron las limitantes de la construcción en cuanto a factor económico y de eficiencia, determinando así las características de la máquina, es decir cantidad máxima de perforación, tipos de terreno en los cuales se puede contar con el servicio del taladro, velocidad máxima de sarta de perforación, tipos de broca, velocidad de la extracción de la tubería, bomba de lodos y motor de combustión interna (Diesel) puesto que la maquina en algunos casos se utilizara en campo abierto.

Seguido de todo esto se determinó, analizó, calculó y se seleccionó cada uno de los elementos de la maquina a partir de un proceso de diseño, donde comenzando se llevó a cabo la metodología necesaria para la selección de todos los elementos, comprobando y verificando que sus características son aptas para cumplir con los objetivos.

Al mismo tiempo se realizaron pruebas y simulaciones del perfecto funcionamiento de cada equipo para posteriormente seguir con el proceso de montaje y construcción acercándonos a los puntos de mejor desempeño cuando la maquina toda trabaja de manera eficiente.

Con esta máquina se presentó un gran desempeño en cuanto a análisis de costos y de perfecto funcionamiento, operándola en campo abierto para demostrar que todas las características concordaron.

*Proyecto de grado

**Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.
Director: Pedro José Díaz Guerrero.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND MAKING OF A MOBILE DRILLING UNIT FOR DEEP POTABLE WATER WELLS FOR PERFORACIONES MONTAJES EQUIPOS Y SUMINISTROS S.A.S. COMPANY*

AUTHORS: NELSON ERNESTO CANO CORREDOR**

RAÚL ANDRES SERRANO BAYONA**

Keywords: Design, Building, Drilling, Water, Assembly.

A mobile drilling unit for making deep potable water Wells was designed and built for the Company Perforaciones Montajes Equipos y Suministros S.A.S in the department of Casanare for contributing with the potable water supply in zones located near to the towns where, due to various reasons, it's not possible to receive water from the city water pump system.

Limits about the machine construction were determined, related to economic topics and efficiency, getting in this way the machine characteristics, for example maximum drilling deepness, kind of the floor in which one is possible to drill with the unit, maximum rotational speed in drill pipes, kinds of drills, drill pipe elevation speed, mud pump and internal combustion engine (Diesel), because this machine in some cases in places where it's no possible to get electrical energy.

After that, every machine piece was calculated and selected since a design process, where was developed the needed method for a correct choice in components, proving and checking that their properties are useful to fulfil the objectives.

At the same time tests and simulations for correct function of every component were made with assembly and building processes, putting the machine in high efficiency point of operation.

With this machine good results were gotten about economy and efficiency, being operated in a faraway place to show that all values were correct.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.
Director: Pedro José Díaz Guerrero.

INTRODUCCIÓN

El proceso de perforación de suelos se ha caracterizado por ser usado en su mayoría en el sector petrolero, y ha sido éste mismo quien ha realizado el mayor número de avances tecnológicos, debido a su productividad en este sector y la economía que se maneja detrás del mismo. Sin embargo, este proceso se puede aplicar también a soluciones en sistemas de bombeo de agua, dado que es posible obtener agua desde cuerpos de agua subterráneos (acuíferos).

Para los acuíferos hay requerimientos de potencia menores porque estos se encuentran a profundidades menores a la de los cuerpos de gas y de petróleo; esto quiere decir que se puede realizar mediante una máquina de menor capacidad y por consiguiente, de menor tamaño y peso. Esto incluye versatilidad en su manejo dado que por su tamaño puede ser transportado fácilmente y su operación sería más sencilla en cuanto a protocolos de seguridad, dado que en los acuíferos no se presentan condiciones de presión crítica dentro del pozo en perforación, como es el caso de los pozos en yacimientos petroleros y también se reduce el tiempo de proceso.

La empresa Perforaciones Montajes Equipos y Suministros S.A.S. requiere el diseño y construcción de una unidad móvil de perforación para estos fines, dado que este es su plan de negocio teniendo en cuenta que el departamento de Casanare, aun a pesar de tener una nutrida red hídrica, en las zonas rurales existe el problema de acceso al agua dado que es muy complicado llevar una red de acueducto a un lugar si hay mucha distancia al casco urbano, y por ello se hace necesaria la fabricación de un pozo profundo de agua para el abastecimiento de la misma.

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el departamento del Casanare, existe un problema con el acceso de agua potable, a pesar de que existe una red hídrica nutrida; esto se da debido a la falta de una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) y un sistema de bombeo (acueducto y alcantarillado), que se encarguen de tratar y transportar este recurso natural a los diferentes pobladores de este sector. En consecuencia, según estudios del DANE¹ se afecta al 29% de una población total de 313.433 habitantes, especialmente, los agricultores y ganaderos; pues es de vital importancia este preciado recurso natural para la ejecución de sus diferentes requerimientos al interior de sus fincas, teniendo en cuenta que, como menciona Rojas² hablando de los cultivos de palma, Casanare cuenta con 80 mil hectáreas de este producto.

Asimismo, de acuerdo al Ministerio de Agricultura³, el área sembrada del Departamento se cuadruplicó entre los años 1981-1991. En los últimos tres años se ha cosechado en promedio alrededor de 64.000 hectáreas: 48.4% de arroz, 21.8% de palma africana, 13% de yuca y 12% de caucho, siendo una actividad considerable en el departamento.

¹ SECRETARÍA DE EDUCACIÓN Y CULTURA, DEPARTAMENTO DE CASANARE. Caracterización de la población menor de 5 años en Casanare. En: Plan de Atención Integral a la primera infancia "Educar sin Maltratar". Yopal, 2009. p. 20.

² ROJAS ARENAS, Carlos, Casanare, reorienta su economía frente a crisis petrolera. [En línea]. Bogotá D.C.: Información y Prensa ACIEM Cundinamarca. 2015. (Recuperado el 28 septiembre 2016). Disponible en: www.aciem.org/home/index.php/capitulo-huila/39-aciem/prensa/comunicados-y-pronunciamientos/13763-casanare-reorienta-su-economia-frente-a-crisis-petrolera.

³ GOBERNACIÓN DE CASANARE. Agropecuaria. [En línea] Yopal: Casanare Nuestro Departamento, Economía. 2016. (Recuperado el 28 septiembre 2016). Disponible en: <http://www.casanare.gov.co/?idcategoria=1227>.

Por tanto, es recomendable la construcción de un pozo profundo para la extracción de agua potable presente en los diferentes acuíferos ubicados en el sector, para así posteriormente iniciar la instalación de un sistema de bombeo, (diseñado específicamente para este tipo de pozos). Se debe tener en cuenta que el 6 % de agua presente en el planeta es apta para consumo humano, donde el 4,3% corresponde al agua ubicada en acuíferos subterráneos y el 1,7% corresponde a cuerpo de agua y hielo ubicados a lo largo del planeta, según información del SENA⁴.

Por tal motivo se hace necesario el diseño y construcción de un taladro para pozos profundos de agua con el fin de optimizar en algunos sectores la extracción de agua potable, cuya demanda abarque grandes poblaciones donde se requiere este preciado recurso natural. Según contrataciones e informes en años anteriores de la Gobernación de Casanare ⁵, ha habido proyectos para la construcción y mantenimiento de hasta 40 pozos instalados por vereda en algunos municipios del departamento (como en la vereda El Amparo, municipio de Yopal), siendo esta vereda una de las seis que conforman el corregimiento de Punto nuevo, el cual tiene una extensión territorial de 16122,47 hectáreas.

Dentro de este ambiente, la empresa Perforaciones Montajes Equipos y Suministros S.A.S. mediante la constancia del Señor Raúl Serrano Cabrera (técnico encargado de la construcción de pozos profundos para la recolección de agua potable) requieren de esta máquina para suplir con el servicio por todo Casanare de un sistema de generación de agua potable.

⁴ SENA. Operación y Mantenimiento de Pozos Profundos para Acueductos. [Base de datos en línea]. 1990. Convenio DNP – Cenagua, p. 27. (Recuperado el 28 septiembre 2016). Disponible en: repositorio.sena.edu.co/sitios/calidad_del_agua/operacion_pozos/index.html#.

⁵ SOCIEDAD DE INGENIEROS DE CASANARE. Informe Mensual, Convenio de Cooperación Nro. 225 de 2009. Gobernación de Casanare, Yopal, Julio de 2009.

1.2. JUSTIFICACIÓN A LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Para la empresa, este proyecto es importante debido a la alta demanda de construcción de pozos profundos para la extracción de agua, de acuerdo a la alta necesidad del acceso al recurso para uso en cultivos, en la industria agropecuaria y en locaciones industriales ubicadas en la zona rural del departamento.

En cuanto al aporte a la ingeniería mecánica se tienen las consideraciones para mejorar: vibraciones mecánicas, selección óptima de los sistemas componentes y análisis de costos de las implementaciones necesarias. También, de acuerdo al análisis de avances de trabajos de grado anteriores e instalaciones en esta rama de la ingeniería, vemos que hay varios tipos de transmisiones de potencia las cuales se pueden aprovechar; así que, se hará una consideración para reducción de costos en los mismos, viendo cuales instalaciones son más adecuadas para usar en términos de rentabilidad, teniendo en cuenta costos fijos y costos a largo plazo. Además, se implementará un sistema de seguridad para el equipo tomando parámetros de operación en cuanto a la protección del equipo para sobrecargas, y riesgos profesionales para quienes sean los operarios de la máquina. Por otra parte, un aporte de la ingeniería mecánica es mediante el estudio general de los suelos y subsuelos, al hacer una máquina que dé una solución a esta necesidad, elaborando pozos profundos de agua potable.

En el contexto ambiental este equipo no presenta ningún impacto ambiental considerable, dado que su función en esencia va dirigido a acuíferos, mas no a cuerpos subterráneos de petróleo o gas, en el cual el proceso de perforación presenta grandes impactos ambientales, tanto en su hallazgo (sísmica) como en su acceso como tal. Por otra parte, presenta un aspecto positivo en el entorno en el que se aplique debido a que su estructura en concreto es mínima en su superficie, dado que no requiere una gran instalación para su implementación, como es el caso

de las estaciones de bombeo, además de la recuperación de los acuíferos, al analizar el riesgo de la capacidad en los mismos. Este método de perforación produce menos impacto (y menores costos) para el acceso que otros métodos usuales en la región, como lo es el desvío del cauce de algunos ríos para el paso a través de las fincas (creación de caños o arroyos derivados hechos por el hombre), el cual puede tener repercusiones en el caudal de los ríos a los cuales se hacen estas derivaciones.

Según las Naciones Unidas⁶, uno de sus objetivos es el de incrementar el empleo de forma exponencial cada año en vez de disminuirlo, es por esta razón que la empresa Perforaciones, montajes, equipos y suministros S.A.S en constancia con la maquina emplea y pone a su disposición un gran número de empleos para distintos cargos ayudando así a generar más empleo, tanto para su operación como para el proceso posterior a la perforación del pozo (esto es, el registro de pozo, el revestimiento, el lavado de pozo, la instalación del sistema de bombeo y las finales pruebas de bombeo en cuanto al nivel de agua para su entrega en funcionamiento).

1.3. OBJETIVOS

- 1.3.1. Objetivo general: Fomentar la generación e implementación de conocimientos promoviendo el desarrollo industrial, social y ético de acuerdo a la misión de la Universidad Industrial de Santander mediante el diseño y construcción de una unidad móvil de perforación para pozos profundos de agua potable para la empresa Perforaciones, Montajes, Equipos y Suministros S.A.S en el departamento de Casanare.

⁶ ONU. 17 objetivos para transformar nuestro mundo. [En línea]. Objetivos de desarrollo sostenible. 2016. (Recuperado el 28 septiembre 2016). Disponible en: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>.

1.3.2. Objetivos específicos: Realizar el diseño y construcción de una máquina para perforación de pozos profundos de agua, seleccionando la estructura adecuada y los debidos sistemas de potencia, transmisión de potencia, rotación y elevación de sarta de perforación, circulación de lodos y control considerando las siguientes condiciones de operación:

- Trabajo en formaciones blandas (1000 a 3000 libras/(pulgada - diámetro) sobre la sarta).
- Velocidad de rotación de la sarta de perforación entre 65 y 80 revoluciones por minuto.
- Longitud de perforación máxima de 100 metros usando tubería de perforación de acero comercial SCH 80 de 2 pulgadas de diámetro.
- Uso de broca de diámetro máximo de 8 ½ pulgadas.
- Velocidad de extracción de tubería de perforación: 60 pies por minuto.
- Uso de bomba centrífuga para el sistema de circulación de lodos.
- Trabajo en campo abierto (Uso de motor Diesel).

Generar un manual de operatividad y mantenibilidad de la unidad móvil el cual garantice un montaje adecuado y una mayor eficiencia en su operación.

2. GEOLOGÍA DEL TERRENO

Figura 1. Campo de análisis para aplicación de la unidad móvil



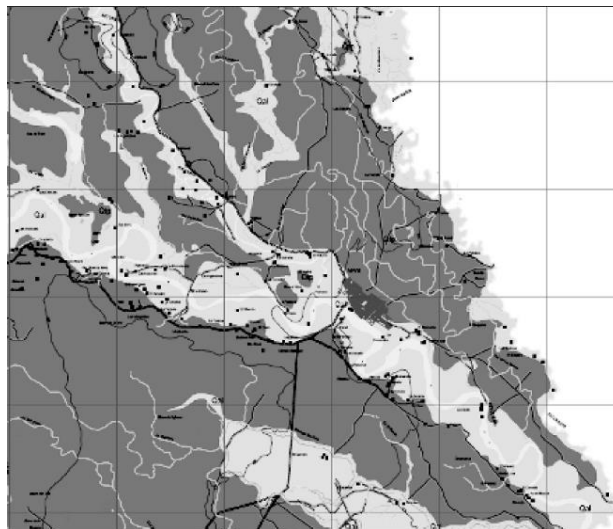
Fuente: AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. Corte geológico llanos orientales. [En línea]. Open Round. 2010. (Recuperado el 02 octubre 2017). Disponible en: [http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Llanos%20\(pdf\)-Ronda%20Colombia%202010.pdf](http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Llanos%20(pdf)-Ronda%20Colombia%202010.pdf).

El departamento del Casanare se encuentra en la denominada cuenca de los Llanos Orientales al noreste de Colombia, la cual se caracteriza por la presencia de formaciones con facies marinas y otras de ambientes deltaicos, en donde predominan litologías de areniscas productoras y lodolitas o shales. Las capas más recientes que suprayacen estas formaciones son depósitos aluviales y depósitos de terrazas.

Según un estudio de Ingeominas en Maní, Casanare:

Los depósitos de terraza se componen de una secuencia de gravas, litológicamente constituidas por cantos de areniscas blancas a grises, de grano fino, se presentan también, limolitas negras. Las gravas son clasto-soportadas con presencia de matriz inferior al 5%. De acuerdo a los datos de la perforación y del registro el pozo del acueducto se estima que el espesor de esta unidad es de más de 150 m. ⁷.

Figura 2. Mapa geológico municipio de Maní (Casanare)



Qal	Depósitos Aluviales
Qtp	Depósitos de Terraza

Fuente: VELOZA FRANCO, Jairo Alfredo; MORALES ARIAS, Carlos Julio. Estudio hidrogeológico e hidrogeoquímico en el municipio de Maní departamento de Casanare. Boletín de Geología, Ingeominas, Maní, 2009. p. 75.

⁷ VELOZA FRANCO, Jairo Alfredo; MORALES ARIAS, Carlos Julio. Estudio hidrogeológico e hidrogeoquímico en el municipio de Maní departamento de Casanare. Boletín de Geología, Ingeominas, Maní, 2009. p. 75.

Por otra parte, según Veloza:

los depósitos aluviales son depósitos recientes, contiguos a los ríos trezados sometidos a la inundación, constituidos principalmente por cantos, gravas y arenas depositados por las corrientes mayores en llanuras relativamente angostas, conforman barras de meandro que en sus partes bajas están cubiertas por las aguas de los afluentes. Estos depósitos tienen una marcada presencia de arenas de grano medio a fino, de colores claros, muchas de las cuales presentan disposición plano-paralela. La granulometría del material del cauce decrece, hasta hacerse fina con la presencia de arenas, limos y arcillas⁸.

Se presenta un relieve desde plano a ligeramente inclinado en una zona estrecha alargada que sigue los drenajes principales y que ha sido modelado gradualmente como consecuencia de las descargas de grandes volúmenes de materiales aportados y transportados por los ríos Cusiana, Charte y Unete. Adicionalmente se encuentran depósitos aluviales conformados por barras de meandros e islas de gravas y arenas que ocupan los lechos activos y fluctuantes de los principales ríos⁹, según Veloza.

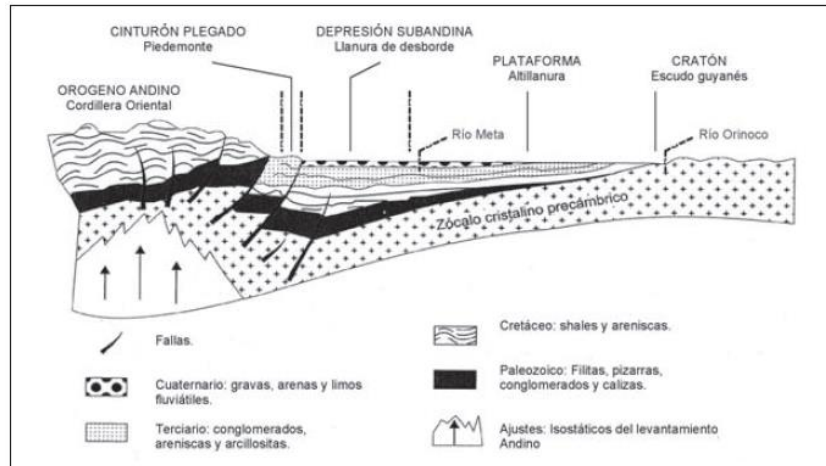
Al obtener estas características en la zona de Sabana, se comparan en la clasificación ingenieril de roca intacta según Deere, la cual indica directamente la resistencia confinada y el módulo de Young de acuerdo a la formación en cuestión. De esta manera, se afirma que esta zona es una formación blanda debido a su baja resistencia, considerando que es en su mayoría “areniscas y lomolitas negras”¹⁰.

⁸ *Ibíd.*, p. 75.

⁹ *Ibíd.*, p. 75.

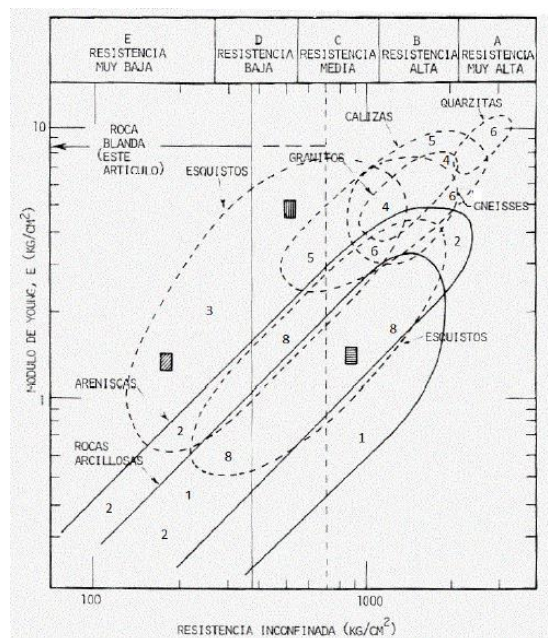
¹⁰ *Ibíd.*, p. 75.

Figura 3. Corte morfo estructural esquemático de la región del departamento de Casanare.



MORA FERNÁNDEZ, Carolina, *et al.* Geología, geomorfología, clima y vegetación. [En línea]. Universidad Nacional de Colombia. Capítulo segundo: El medio natural: los llanos de Casanare y área de estudio. 2011. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/264555369>.

Figura 4. Clasificación ingenieril de roca intacta según Deere.



Fuente: DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. Manual de geología para ingenieros. Capítulo 12 – Macizo Rocoso. Manizales: Universidad Nacional de Colombia, 2016. p. 273.

En cuanto a las características hidrogeológicas, precisamente en una zona de estudio en el municipio de Maní¹¹:

Se encontraron 500 puntos de agua, tanto en la zona urbana como la rural; de estos se consideraron 118, debido a la similitud de la conductividad, el pH y condiciones hidrogeológicas; 100 corresponden a pozos con profundidades entre 12 y 143 metros y 18 aljibes con profundidades entre 4 y 12 metros. Los niveles piezométricos en temporada de alta precipitación tomados en el mes de Septiembre y Octubre de 2007, oscilan entre 8.92 m de profundidad y 0.75 m (saltante), con referencia a la superficie del terreno, haciendo evidente una clara variación en el comportamiento del acuífero.

¹¹ Ibid., p. 75.

3. DISEÑO MODULAR

Figura 5. Unidad móvil de perforación de baja capacidad.

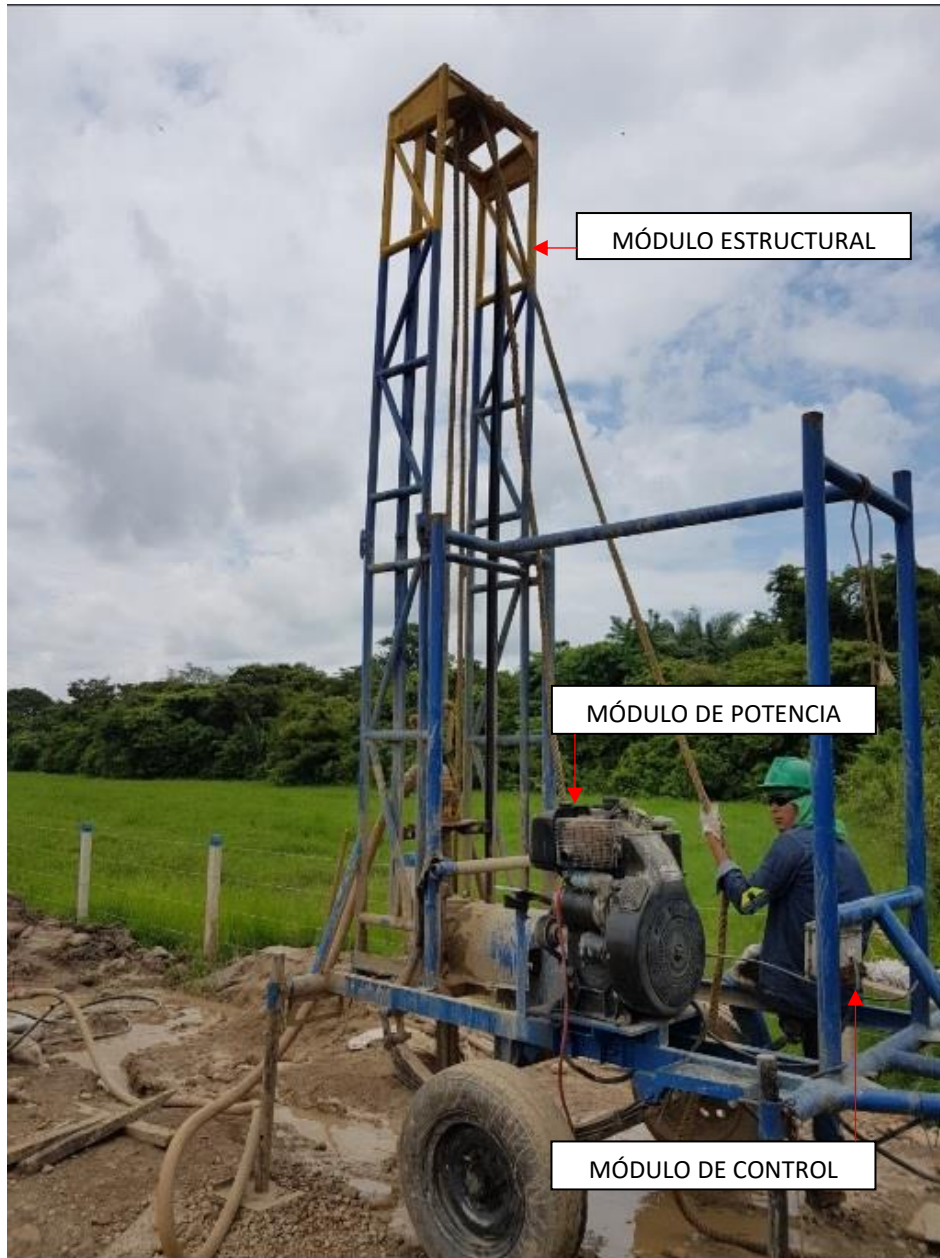
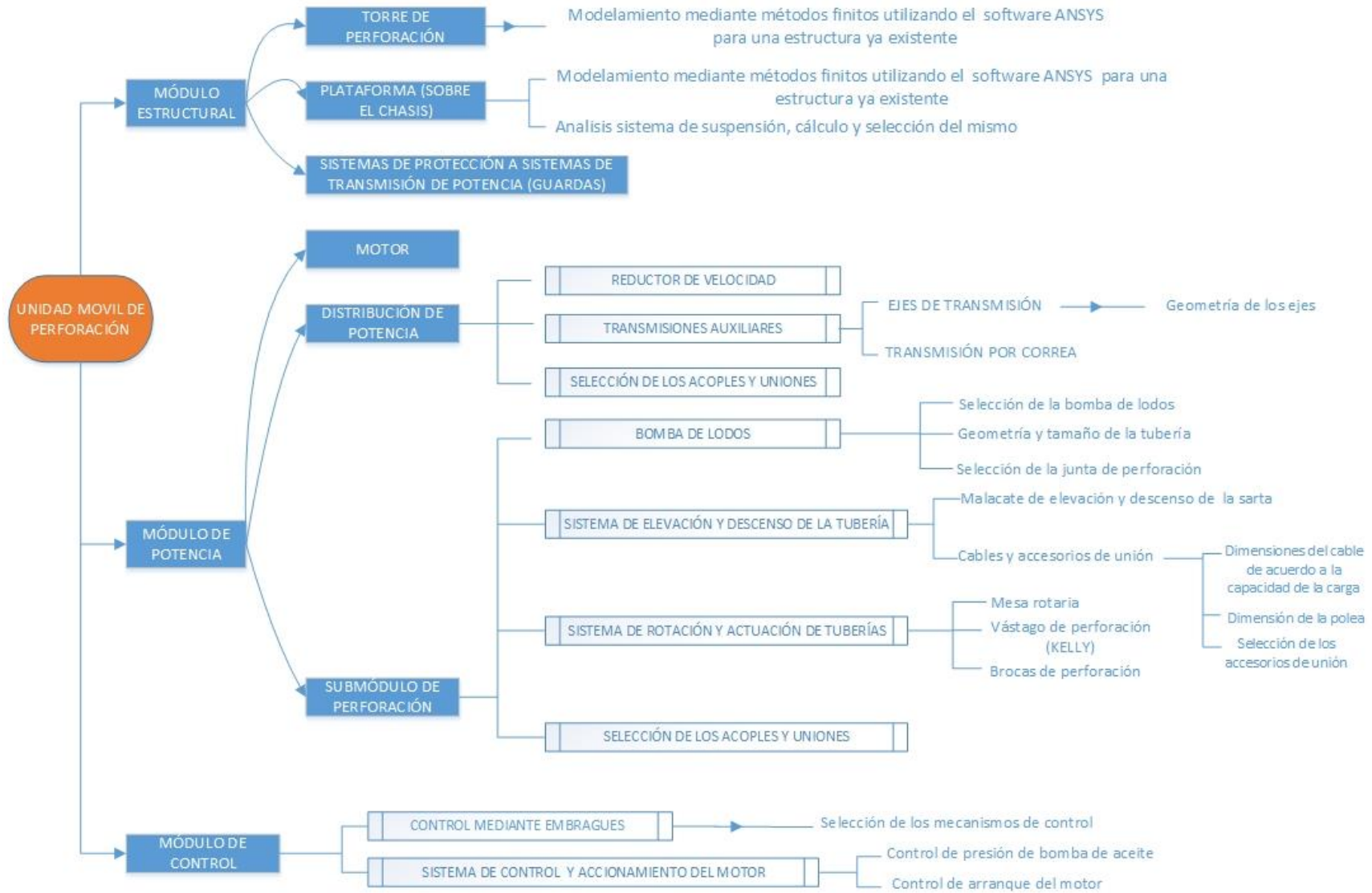


Figura 6. Diagrama de diseño conceptual.



El diseño a tener en cuenta para el taladro de perforación para pozos profundos de agua tendrá las siguientes divisiones:

3.1. MÓDULO ESTRUCTURAL

En este módulo se trata, como tal, el soporte general sobre el cual se encuentra instalada la máquina, es decir, el chasis completo (dado que este taladro necesita ser móvil para poder ubicarse en la locación que se requiera), teniendo en cuenta el peso general de la tubería de perforación y la fuerza máxima que se debe aplicar para la rotación, derivada del funcionamiento de la broca de perforación. Esta rotación y fuerza máxima que se debe ejercer también depende del tipo de suelo.

3.1.1. Torre de perforación: La torre tiene como función principal proveer la altura vertical necesaria para levantar o bajar los tramos de tubería desde o hacia el hoyo perforado, según Fernández¹². A mayor altura, mayor es la longitud de tubería que se puede insertar o remover del hoyo, entonces la altura se relaciona directamente con la capacidad de manejar las secciones de la sarta de perforación. La capacidad de carga de la torre también es un modo de clasificarlas. La estructura está diseñada básicamente para soportar grandes cargas negativas como lo son el peso de la Kelly, las tuberías de perforación, la rotaria y las brocas.

3.1.2. Plataforma: Es una armadura grande de acero que sirve de soporte de la torre y está diseñada para el ajuste, sujeción y ubicación de gran parte del sistema mecánico (malacates, transmisiones, motores, bomba de lodos, caja de herramientas, etc.)¹³; Se recomienda que la capacidad de

¹² FERNANDEZ MÜLLER, Euclides Andrés. Verificación del proceso de selección de un taladro de perforación. Informe de Pasantía. Sartenejas: Universidad Simón Bolívar. 2012. p. 14.

¹³ *Ibíd.*, p. 15.

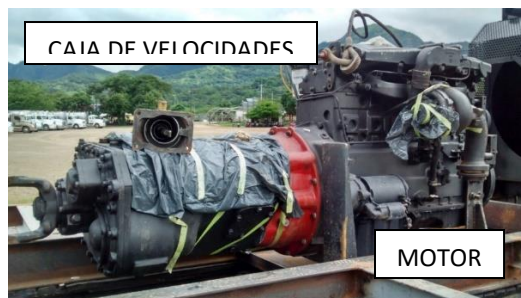
la carga de la plataforma se clasifique de acuerdo con el máximo peso de todos los componentes que la contienen para hallar la capacidad de carga de esquina (máxima carga que puede soportar cada esquina).

3.2. MÓDULO DE POTENCIA

La mayoría de potencia de una torre de perforación la consume el sistema de levantamiento y de circulación debido a que los requerimientos de energía de los otros sistemas son mínimos, pero en la mayoría de las torres los sistemas de levantamiento y de circulación no funcionan al mismo tiempo por lo que el sistema de potencia es capaz de proveer energía para ambos, según Fernández¹⁴.

3.2.1. Motor: Para generar la potencia en las torres modernas, generalmente, se utilizan motores diésel de combustión interna, llamados motores primarios. Estos últimos a su vez se clasifican en motores Diesel – eléctricos y motores Diesel de conducción directa, ésta sub-clasificación depende de la manera en que se transmita la potencia a los diferentes sistemas de la torre, según el informe de pasantía de la Universidad Simón Bolívar¹⁵.

Figura 7. Motor Diesel Cummins de 200 [HP]



¹⁴ *Ibíd.*, p. 11.

¹⁵ *Ibíd.*, p. 12.

3.2.2. Distribución de potencia: Las instalaciones con motores Diesel de conducción directa son aquellas donde la potencia se transmite desde el motor a los diferentes equipos utilizando reductor de velocidad, correas, en lugar de generadores y motores.

En el caso de la distribución de potencia mecánica, la cual es la usada de manera común en estos tipos de sistemas, encontramos como componentes principales los siguientes:

3.2.2.1. Reductor de velocidad: Los reductores de tornillo sinfín y corona están diseñados para reducir el número de revoluciones de un accionamiento conductor, a otro número más bajo en el árbol conducido. Los reductores se emplean para transmitir fuerza entre un motor primario y una máquina impulsada, según Angulo¹⁶. Además de la simple transmisión de fuerza, las transmisiones con reductores cambian o modifican usualmente la fuerza que se está transmitiendo mediante:

- La reducción de velocidad y aumento del par de salida.
- Cambio de la dirección de rotación del eje.
- Cambio del ángulo de operación del eje.

3.2.2.2. Transmisión por correas: Las correas son elementos de transmisión de potencia, de constitución flexible, que se acoplan sobre poleas que son solidarias a ejes con el objeto de transmitir pares de giro. Su naturaleza flexible va a permitir que su fabricación

¹⁶ ANGULO, Alberto. Mantenimiento reductores de velocidad. Elementos de máquinas 14, Bogotá: Metalmecánica. SENA. 2013. p. 5.

se realice con una cierta incertidumbre mecánica que puede ser asumida, posteriormente, en su montaje. La correa de transmisión trabaja por rozamiento con la polea sobre la que va montada, según Ingemecánica¹⁷.

Figura 8. Transmisión por correas.



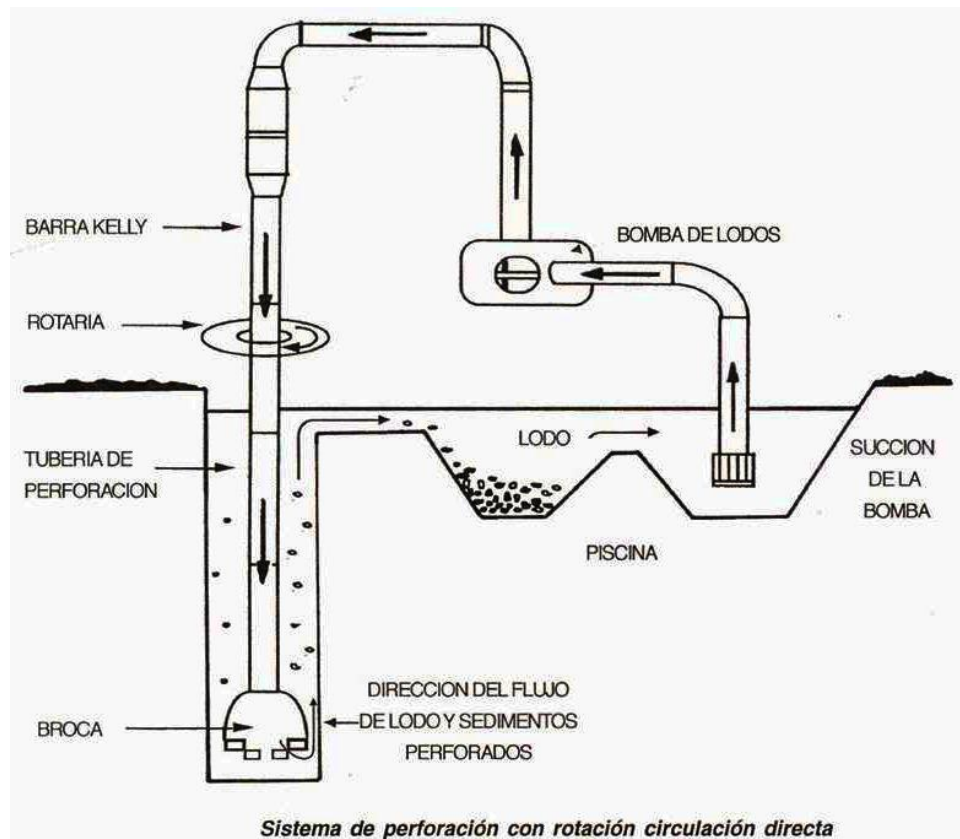
3.2.3. Submódulo de perforación: En éste módulo se incluye todo el sistema referente a la función principal de la máquina, la cual es la perforación de los pozos profundos de agua; este módulo también es relativo a la mayoría (por no decir su totalidad) de actuadores finales de la máquina, los cuales son los encargados de cumplir la función mencionada anteriormente. Este módulo, de acuerdo a sus funciones, tiene las siguientes divisiones en sistemas:

3.2.3.1. Sistema de circulación: Este sistema es el encargado de hacer avanzar el lodo o fluido de perforación a lo largo de la sarta de perforación hasta el fondo del agujero para, principalmente, remover

¹⁷ INGEMECÁNICA. Correas de Transmisión, cálculo y diseño. [En línea]. Generalidades. (Recuperado el 28 septiembre 2016). Disponible en: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn121.html>.

los cortes o ripios de roca que son producto del mismo taladrado. Los componentes principales del sistema de circulación son las bombas de lodo, los tanques de lodo, las conexiones superficiales, la sarta de perforación, equipo de remoción de sólidos y equipos separadores de gas cuando sean necesarios, según Fernández¹⁸.

Figura 9. Sistema de perforación con rotación y circulación directa



Fuente: SENA. Operación y Mantenimiento de Pozos Profundos para Acueductos. [Base de datos en línea]. 1990. Convenio DNP – Cenagua, p. 27. (Recuperado el 28 septiembre 2016). Disponible en: repositorio.sena.edu.co/sitios/calidad_del_agua/operacion_pozos/index.html#.

¹⁸ FERNÁNDEZ, Op. Cit., p. 19.

- Bomba de lodos: Las bombas de lodo son el principal componente del sistema de circulación debido a que su función es la de manejar grandes caudales de lodo a altas presiones. Se usan bombas reciprocantes de desplazamiento positivo en su mayoría debido a que son capaces de trabajar con fluidos que tiene alto contenido de sólidos, que son abrasivos, de fácil operación y mantenimiento, alta confiabilidad y tienen la capacidad de operar en un amplio rango de presiones y caudales, como menciona Fernández en su informe¹⁹.

Figura 10. Línea de succión y descarga de una bomba de lodos.



Figura 11. Imagen de la junta de perforación o Swivel, en unión con el vástago de perforación o Kelly.



¹⁹ Ibid., p. 22.

3.2.3.2. Sistema de levantamiento: El sistema de levantamiento tiene como función proveer los medios para levantar, bajar y suspender la sarta de perforación, tuberías, revestimientos y otros equipos de la superficie hacia adentro o afuera del agujero perforado. Los componentes principales del sistema de levantamiento son la estructura de soporte (la torre y subestructura), y los equipos de levantamiento (malacate, bloque corona y viajero y cable de perforación), como menciona Fernández²⁰.

- Malacate: Es el componente principal del equipo de levantamiento, es un potente ensamblaje de levantamiento usualmente localizado cerca de la mesa rotaria y encima de la plataforma. Su función principal es proveer la potencia necesaria para ascender, descender y suspender los bloques viajeros (swivel y poleas) y tramos de tuberías. El malacate está formado por un tambor enrollado, los frenos y la transmisión. El tambor transmite el torque requerido para mover verticalmente o suspender los tramos de tubería enrollando o desenrollando la guaya de perforación, según Fernández²¹.

Figura 12. Malacates para la elevación del vástago de perforación (o Kelly) y para la tubería de perforación.



²⁰ *Ibíd.*, p. 13.

²¹ *Ibíd.*, p. 15.

3.2.3.3. Sistema de rotación: Es un potente ensamblaje encargado principalmente de hacer rotar la tubería durante las operaciones de perforado. Se puede clasificar en convencional o de mesa rotatoria, de top drive o de motor de fondo. Los componentes principales de un sistema de rotación son la mesa rotatoria, la sarta de perforación (unión giratoria o Swivel, cuadrante, tubería de perforación y el ensamblaje de fondo) y la mecha o broca, según el informe de la Universidad Simón Bolívar²².

Figura 13. Mesa rotatoria en desarme



- Mesa rotaria: Es un dispositivo mecánico, que se utiliza para hacer girar la tubería de perforación en sentido horario (visto desde arriba) impartiendo un momento de torsión al cuadrante, también permite suspender la sarta de perforación reteniendo las cuñas que se usan cuando la sarta no está sostenida por el gancho y los elevadores, según Fernández²³.

²² *Ibíd.*, p. 28.

²³ *Ibíd.*, p. 28.

Figura 14. Tubería de perforación.



- Tubería de perforación: De acuerdo a Fernández²⁴, la tubería de perforación se ocupa de conectar el ensamblaje de fondo con la superficie. La tubería de perforación son cilindros huecos de acero pesado que al conectarse forman la parte superior/media de la sarta de perforación. Su principal función es la de transmitir el movimiento de rotación de la mesa a la broca.

Figura 15. Vástago de perforación o Kelly, anclado con un swivel o junta de perforación.



²⁴ *Ibíd.*, p. 31.

- Unión giratoria (swivel): Este elemento acopla al bloque viajero con la sarta de perforación, es decir, une al sistema de levantamiento con la sarta de perforación. La unión giratoria va guindada del gancho y al ser un pivote permite que la sarta gire al mismo tiempo que es levantada, bajada o suspendida por el sistema de levantamiento. Adicionalmente en la unión giratoria se conecta la manguera rotatoria y permite que el fluido de perforación fluya hacia la sarta de perforación, según Fernández²⁵.
- Cuadrante (kelly): El cuadrante es un tubo de acero que puede tener forma triangular, cuadrada o hexagonal y es el único componente de la sarta de perforación que puede operar por arriba y por debajo de la mesa de perforación simultáneamente (esto se debe a que su longitud es mayor a la de las tuberías de perforación utilizadas). Su principal función es transmitir el movimiento de rotación de la mesa rotatoria a la sarta de perforación (su forma es igual a la del buje cuadrante que se encuentra dentro de la mesa rotatoria), según Fernández²⁶.

Figura 16. Brocas de perforación



²⁵ *Ibid.*, p. 29.

²⁶ *Ibid.*, p. 30.

- Broca de perforación: como menciona Fernández²⁷, es la herramienta básica de la perforación, se usa para cortar y penetrar las formaciones, se coloca en el extremo inferior de la sarta de perforación. Su función principal es perforar el hoyo, esto se logra rompiendo o fragmentando las formaciones que se encuentre en el camino desde la superficie hasta el pozo.

3.3. MÓDULO DE CONTROL.

Es necesario implementar un sistema de control completo a la máquina, para el correcto funcionamiento de la misma, teniendo en cuenta el manejo de alta potencia del motor y de las consecuencias debido a las fallas posibles en la unidad móvil de perforación.

- 3.3.1. Control mediante embragues: Dado que debe existir un control en la distribución de potencia hacia los actuadores finales de la unidad móvil, ya sea para los malacates o para la mesa rotaria, se debe diseñar un sistema mediante embragues para un manejo completo de las características de la máquina.

Figura 17. Control de caja de transferencia



²⁷ Ibid., p. 36.

4. CÁLCULOS DE DISEÑO

4.1. CONDICIONES DE OPERACIÓN

De acuerdo al diseño y a los cálculos pertinentes de la maquina se escogen los componentes, encontrados a escala comercial en la industria teniendo en cuenta unos parámetros dentro de su propósito, es decir cada componente cumple una función distinta pero esta viene dada por un intervalo de variables físicas entre las cuales la maquina puede desempeñar su trabajo.

De esta manera, al haber identificado el sitio de aplicación de la máquina, se tiene el primer estándar de trabajo. De acuerdo a la sección de geología del terreno, se identificó que en general es una formación blanda, así que de esta característica se obtiene un requerimiento para la velocidad angular y el peso de la sarta de perforación, el cual para formaciones blandas es de:

- 1000 a 3000 lbs/(pulg – diámetro) (máximo).
- 65 a 80 rpm (mínimo).

También, de acuerdo al requerimiento de la empresa para la profundidad de perforación máxima de la unidad móvil, así como también de la velocidad de elevación común de la sarta de perforación y del tamaño máximo posible de la broca utilizada para perforar, se obtiene las demás condiciones de operación para los cálculos de la unidad móvil.

Ahora, se presenta una selección preliminar de componentes, realizada con base en elementos existentes en la empresa o de fácil acceso en el comercio. Estos son:

- Tubería acero comercial SCH 80 diámetro 2”.
- Reductor de velocidad Radicon, relación 20:1 (tipo D), capacidad para 11,5 kW.
- Motor Diesel a 3600 rpm.

Tabla 1. Datos de entrada para peso de sarta de perforación

DATO DE ENTRADA	VALOR
Longitud Tubería	100 [m]
Velocidad de elevación de la sarta	60 [ft/min]
Peso broca de rectificación (8½”)	130 [lb]
Masa junta de perforación [Swivel]	5 [Kg]
Masa vástago de perforación [Kelly]	40 [Kg]

Esta última consideración obedece a la bomba de lodos, la cual trabaja para esta capacidad a 3600 rpm, y de esta manera solo será necesaria una reducción de velocidad hacia el malacate y la mesa rotaria. A continuación presentaremos los datos de entrada y salida de cada sección de cálculo, dado que estos mismos se encuentran en el anexo A.

4.2. ANALISIS DE LA SARTA DE PERFORACIÓN

- 4.2.1. Propiedades de la tubería de perforación (SCH 80 – 2”) y del líquido de perforación: Es primordial para empezar el cálculo de la sarta de perforación el conocer las propiedades del fluido que se va a utilizar y la tubería, para así evaluarlas en todas las condiciones de carga debido al proceso de perforación.

Para la obtención de las propiedades y dimensiones de la tubería, mostradas en la tabla anterior, se usaron catálogos de tubería de acero²⁸, así como también libros de mecánica de fluidos²⁹ e información de Internet, y de la misma manera para la densidad y viscosidad del fluido de perforación, se obtuvo información desde un análisis del lodo en laboratorio mediante una toma de muestras en la operación del taladro.

Tabla 2. Propiedades de la tubería de perforación (SCH 80 – 2”).

DATO DE ENTRADA TUBERÍA	VALOR
Densidad lineal de tubería	5,02 [lb/pie]
Límite de fluencia	35000 [psi]
Resistencia a la tracción	60000 [psi]
Diámetro exterior de tubería	2,375 [pulgadas]
Diámetro interior de tubería	1,939 [pulgadas]
Espesor de tubería	0,218 [pulgadas]
Longitud de tramo de tubería	2 [m]
Diámetro máximo del pozo perforado	8,5 [pulgadas]
Rugosidad del pozo	3 [mm]
Rugosidad de la tubería de perforación	0,09 [mm]

Tabla 3. Propiedades del fluido de perforación a utilizar.

DATO DE ENTRADA FLUIDO	VALOR
Densidad del fluido de perforación	1140 [Kg/m ³]
Viscosidad del fluido de perforación	40 [seg. Embudo Marsh]

4.2.2. Peso de la sarta de perforación en condición seca y con el fluido de perforación: Se realiza este comparativo dado que existen dos situaciones dependientes de la presencia de fluido de perforación en el

²⁸ STECKERL HIERROS Y ACEROS S.A., Catálogo de aceros. Capítulo cuarto – Tubería de acero. Barranquilla: 2011. p. 51.

²⁹ CRANE. Propiedades físicas de algunos fluidos y características del flujo en válvulas, accesorios y tuberías. Apéndice A. p. A43, B21.

pozo. La primera situación consiste en que el pozo se encuentra totalmente lleno de fluido de perforación, lo cual significa que la sarta de perforación va a sufrir una fuerza de empuje hacia arriba o fuerza de Bouyanza. Esta reduce el peso total del cuerpo y la magnitud de la fuerza depende de la densidad del fluido, como menciona Chaustre³⁰. La segunda situación se basa en el hecho de que el pozo se encuentre con ausencia del fluido, y por lo tanto en este caso no existiría la condición de flotación descrita anteriormente. Para el diseño de la sarta se toma el peso de la tubería con fluido de perforación.

Tabla 4. Peso de la sarta de perforación en seco y con el fluido de perforación

RESULTADOS	VALOR
Peso total seco tubería de perforación	1876 [lb]
Peso total con fluido tubería de perforación	1622 [lb]

Al obtener el peso de la sarta, considerando el valor de peso en el fondo del pozo máximo necesario para formaciones blandas, tomando en este caso el peso total seco por ser el mayor, y también usando el valor de diámetro de la broca más pequeña usada para este tipo de máquinas (6 ½”), se calcula que la relación de peso por diámetro para esta configuración es el siguiente:

Tabla 5. Análisis de peso en el fondo del pozo.

RESULTADOS	VALOR
Relación máxima peso - diámetro	288 [lb/pulg-diámetro]

³⁰ CHAUSTRE RUIZ, Andrés Javier. ROJAS DÍAZ, Fabián Alexis. Diseño de una herramienta de cálculo para seleccionar el taladro para un programa integral de perforación. Trabajo de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. 2011. p. 76.

Este resultado es coherente con la condición de operación en la zona de acción de diseño para la unidad móvil de perforación.

4.2.3. Velocidades de rotación críticas para la sarta de perforación: Aunque este valor es una medida para la comprobación de la selección del sistema de rotación de la sarta (mesa rotaria), se incluye dentro de un parámetro de la tubería dado que condiciona su uso de acuerdo a su rotación, como una medida máxima para el diseño de la sarta de perforación, según Chaustre³¹. Los componentes de la sarta de perforación pueden vibrar de tres modos diferentes:

- Axial o longitudinal
- Transversal o lateral
- Torsional

La vibración de la sarta ocurre cuando la frecuencia de las fuerzas aplicadas iguala a la frecuencia de la vibración natural libre de la sarta de perforación. Esta condición es normalmente descrita como *Resonancia*. Por lo tanto la broca de perforación debe rotar a una velocidad diferente a la cual se encuentra la frecuencia natural de la sarta, en este caso menor. De acuerdo a los datos de entrada para calcular estas velocidades críticas, los cuales son respecto a las dimensiones, se obtiene que las velocidades críticas son:

Tabla 6. Velocidades de rotación críticas para la sarta de perforación

CONDICIÓN DE VELOCIDAD CRÍTICA	VALOR
Longitudinal	786,4 [rpm]
Transversal	2354 [rpm]

³¹ *Ibid.*, p. 91.

Para efectos de este análisis no se tuvo en cuenta la consideración de torsión dado que esta condición solo se toma cuando se usan collares de perforación (Drill Collars), según el trabajo de grado de la Universidad Industrial de Santander³².

4.2.4. Análisis de esfuerzo y deformación de la tubería.

4.2.4.1. Análisis de tensión (MOP): Para diseñar la sarta nunca se debe basar en el valor de la resistencia a la fluencia, en lugar de ello tomamos el 90% de esta resistencia para suministrar una adecuada seguridad en el resultado del diseño, como menciona Chaustre³³.

Tabla 7. Análisis de esfuerzo y deformación de la tubería

CRITERIO DE ANALISIS POR TENSION	VALOR
Máxima carga de tensión por diseño	46534 [lbs]
Factor de seguridad en condición de tensión	26,19
Índice MOP	44757 [lbs]

4.2.4.2. Análisis de tensión por criterio de cuñas – slip crushing: La carga máxima admisible de tensión debe ser diseñada para prevenir el aplastamiento por cuñas (*slip crushing*) de la tubería. Las cuñas debido a la forma cónica tratan de aplastar a la tubería de perforación, este esfuerzo en anillo es resistido por el tubo y a la vez incrementa el esfuerzo global en el acero, de acuerdo a Chaustre³⁴.

³² *Ibíd.*, p. 92.

³³ *Ibíd.*, p. 79.

³⁴ *Ibíd.*, p. 82.

Tabla 8. Relación RS

RS		
OD drillpipe	Longitud de la cuña	
	12 pulgadas	16 pulgadas
2 3/8	1.25	1.18
2 7/8	1.31	1.22
3 1/2	1.39	1.28
4	1.45	1.32
4 1/2	1.52	1.37
5	1.59	1.42
5 1/2	1.66	1.47
6 5/8	1.82	1.59

Fuente: CHAUSTRE RUIZ, Andrés Javier. ROJAS DÍAZ, Fabián Alexis. Diseño de una herramienta de cálculo para seleccionar el taladro para un programa integral de perforación. Trabajo de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. 2011. p. 83.

Para una longitud de cuña de 12 pulgadas y un diámetro de *drillpipe* de 2 3/8 pulgadas, se halla el valor de la relación RS. Finalmente, de acuerdo a este valor, se obtiene la longitud de tubería admisible bajo este criterio:

Tabla 9. Relación RS y longitud de tubería admisible SC.

DATOS OBTENIDOS	VALOR
Relación RS	1,25
Longitud de tubería admisible SC	8650 [ft]

4.2.4.3. Analisis de colapso en tubería y en manguera de sistema de circulación: La presión de colapso es la presión externa requerida para causar cedencia a la tubería. Existen variantes de esta situación, las cuales son:

- Cuando la densidad del fluido dentro de la tubería es diferente a la exterior.
- Cuando el drill pipe está completamente vacío.
- Cuando la densidad del fluido dentro de la tubería es igual a la exterior.

Para efectos de este diseño, se tomará la condición en la que el drill pipe está totalmente vacío. Posterior a este análisis, la presión de colapso se compara con la resistencia al colapso de la tubería dada por los fabricantes, y un factor de seguridad puede ser considerado. Un valor normalmente usado es el de 1 1/8 para este factor, como menciona Chaustre³⁵.

Tabla 10. Datos de salida, análisis de colapso de la tubería.

RESULTADOS ANALISIS DE COLAPSO	VALOR
ΔP	162,1 [psi]
Factor de seguridad de presión de tubería	15,74
Factor de seguridad de presión de manguera	1,85

En este caso se hizo la evaluación del factor de seguridad para la sección de la tubería de perforación, así como también de la sección de la manguera que va desde la descarga de la bomba de lodos hacia el swivel.

- 4.2.4.4. Adición de las fuerzas de tensión producto de las cargas por choque y recálculo del factor de seguridad: Las cargas por choque suceden cuando las cuñas están colocadas o el drill pipe está en movimiento, y pueden contribuir a la ruptura de la tubería en diseños limitados, de acuerdo a Rojas³⁶.

³⁵ Ibid., p. 86.

³⁶ Ibid., p. 87.

Tabla 11. Datos fuerza de tensión producto de las cargas por choque y recalcu del factor de seguridad.

RESULTADOS ANALISIS CARGAS POR CHOQUE	VALOR
Fuerzas de choque	16064 [lbs]
Factor de seguridad en esta condición	2,608

Este factor de seguridad muestra que bajo esta condición la tubería alcanza a operar en un margen seguro, y que es una selección correcta para la operación de la unidad móvil.

- 4.2.4.5. Cálculo de la resistencia a la fluencia por torsión y tensión (operaciones de perforación): Éste cálculo resulta útil para la selección de la mesa rotaria, dado que es un valor indicativo de el torque máximo que puede haber en la tubería por la rotación de la misma, determinando la potencia máxima de este sistema.

Tabla 12. Datos de entrada para el análisis de esfuerzos por torsión.

DATO DE ENTRADA ANALISIS	VALOR
Límite de fluencia torsional de la tubería	17500 [psi]
Momento de inercia polar de la tubería	1,736 [$pulg^4$]

Para el correcto desarrollo de este análisis, se plantean dos situaciones: la primera consiste en que la tubería solo se encuentre en condición de torsión producto de la acción de la mesa rotaria, y la segunda contempla la combinación de cargas por torsión y tensión en la sarta. Los resultados en ambos casos son similares, la segunda situación es menor por un margen muy corto, sin embargo este será el

resultado que se usará para la comprobación de la sarta y posteriormente para la selección de la mesa rotaria.

Tabla 13. Resultados del análisis de esfuerzos por torsión.

RESULTADOS	VALOR
Torque máximo en la tubería en torsión pura	1230 [lb/pulg]
Torque máximo en la sarta en torsión y tensión	1227 [lb/pulg]

4.2.4.6. Elongación de la tubería: La tubería se deforma bajo la acción de su propio peso y por la acción de peso adicional, en este caso debido a la broca, de acuerdo a Rojas³⁷.

Tabla 14. Datos de salida elongación de la tubería.

RESULTADOS ANALISIS DE DEFORMACIÓN	VALOR
Elongación debida al peso soportado	0,1579 [pulgadas]
Elongación debida a su peso	0,05786 [pulgadas]
Elongación total	0,2158 [pulgadas]

De acuerdo a estos resultados para la deformación de la tubería, y teniendo en cuenta que el material del cual están hechos los tramos de la sarta de perforación es en este caso acero ASTM A106 Grado B, el cual tiene como porcentaje de alargamiento 30% según información de un catálogo de aceros³⁸, se concluye que la tubería es segura para su uso, con un amplio margen de deformación.

³⁷ *Ibíd.*, p. 90.

³⁸ FRANCISCO PETRICIO - ACERO. Cañerías de acero Norma ASTM 106 Grado B Schedule 80 (Sin Costura). [En línea]. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: <https://es.slideshare.net/BnJmN/acero-2952984>.

4.3. MODULO DE POTENCIA

4.3.1. Calculo de la potencia requerida en la mesa rotaria: La potencia en la mesa rotaria está ligada al torque máximo posible aplicado a la tubería. En el cálculo por torsión no se requiere un factor de diseño, dado que los acoples se ajustan hasta un 60% de su capacidad torsional y están diseñados para resistir hasta un 80% del límite de torsión del tubo. De esta forma si el diseño limita el apretado del acople, hay un factor de diseño adecuado construido dentro del sistema, de acuerdo a un programa de entrenamiento para ingenieros de pozo³⁹.

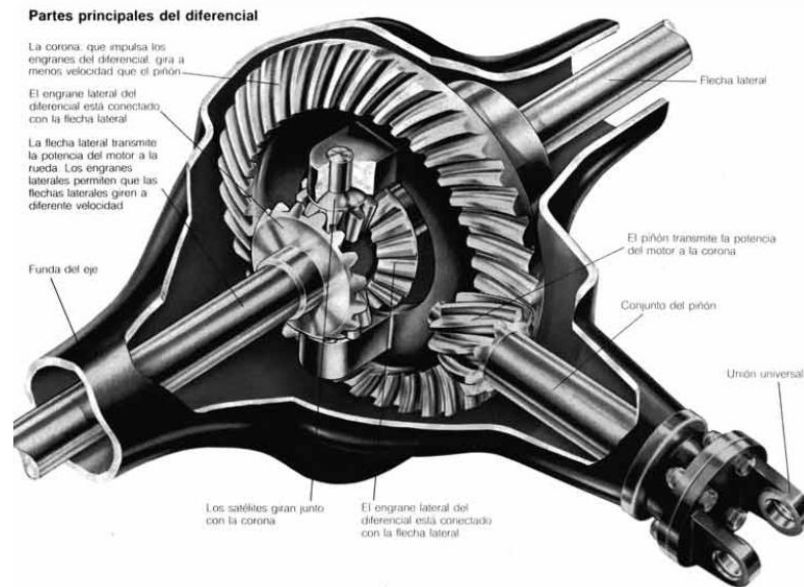
Tabla 15. Datos obtenidos para potencia requerida en la mesa rotaria.

RESULTADOS PARA LA MESA ROTARIA	VALOR
Torque máximo de seguridad en la sarta	981,7 [lb/ft]
Torque admisible de seguridad en la sarta	589 [lb/ft]
Potencia admisible en la mesa rotaria	7,3 [HP]

4.3.1.1. Comprobación de uso de mesa rotaria en condición de operación: Para la implementación de la mesa rotaria, se analizó el uso de una transmisión a eje trasero de una camioneta Chevrolet Luv 2300 cc.

³⁹ CETEPI. Programa de Entrenamiento Acelerado para Ingenieros Supervisores de Pozo. [En línea]. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: <https://es.slideshare.net/grupocetepicetepi/diseo-de-sarta-de-perforacin-cetepi>.

Figura 18. Esquema de una transmisión diferencial a eje trasero.



Fuente: PLATAFORMA E-DUCATIVA ARAGONESA. 3.4. Puente trasero y diferencial. [En línea]. Tema 1. El automóvil. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: http://e-educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4935/html/34_puente_trasero_y_diferencial.html.

La comprobación se realizó mediante las especificaciones técnicas del motor, en cuanto a su potencia y torque de trabajo y las relaciones existentes en la caja de cambios de la camioneta, así:

Tabla 16. Especificaciones del motor para el Chevrolet LUV 2.3

CILINDRADA	POTENCIA	PAR
2254 (2.3)	89 CV @ 4600 rpm	167 Nm @ 2600 rpm
2254 (2.3)	100 CV @ 4600 rpm	177 Nm @ 2600 rpm

Fuente: WIKIPEDIA. Isuzu/Chevrolet LUV. [En línea]. 2017. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Isuzu/Chevrolet_LUV.

Puesto que a la mesa rotaria trabaja a una potencia máxima de 7,3 HP a una velocidad de 600 rpm, es admisible la adaptación de este sistema de transmisión para construir la mesa rotaria.

Teniendo en cuenta que estos tipos de taladros se usan para formaciones geológicas blandas, se suelen operar a velocidades mayores, para una mayor eficiencia a la hora del proceso de perforación. De esta manera, teniendo en cuenta las velocidades de rotación críticas dadas por la sarta de perforación, conservando la potencia admisible obtenida en el cálculo anterior:

Tabla 17. Datos de velocidad y torque de trabajo en la mesa rotaria.

CONDICIONES DE TRABAJO	VALOR
Velocidad de trabajo en la mesa rotaria	600 [rpm]
Torque de trabajo en la mesa rotaria	63,81 [lb/ft]

Figura 19. Mesa rotaria centrada y ensamblada a su embrague



4.3.2. Cálculo de la potencia del malacate en estado transitorio: En este caso, este cálculo es más perfilado hacia una de las distribuciones de potencia generada por el motor. Asumiendo un valor para el diámetro del tambor del malacate, mediante un análisis por energías, se determina la potencia necesaria para este sistema, y a su vez se realiza la respectiva selección de los componentes.

Tabla 18. Datos de entrada para la potencia del malacate.

DATOS DE ENTRADA PARA EL MALACATE	VALOR
Velocidad de elevación de la sarta	58,9 [ft/min]
Tiempo de vencimiento de inercia en el motor Diesel	1 [seg]
Diámetro del tambor del malacate	2,5 [pulgadas]

A continuación se mostrarán los valores para las eficiencias. Estos valores fueron obtenidos mediante información en tesis de grado de la UIS, más específicamente de la Escuela de Ingeniería de Petróleos⁴⁰.

Tabla 19. Valores de eficiencias para el sistema de elevación de la tubería.

DATOS DE EFICIENCIAS EN EL SISTEMA	VALOR
Eficiencia en la transmisión	0,89
Eficiencia de las líneas de elevación	0,943
Eficiencias del cuadro de maniobras (rozamiento del cable)	0,7
Eficiencia de la línea por polea	0,9615
Número de líneas	2

⁴⁰ CHAUSTRE, Op. cit. p. 111.

Finalmente, se puede determinar que la potencia necesaria para la elevación de la sarta de perforación es de 5,1 [HP]. Para el funcionamiento del malacate, se acopla un reductor Radicon de relación 20:1, el cuál con esta velocidad de ascenso y con la respectiva relación, arrojan un valor de entrada de 1800 [rpm]. Para seleccionar el malacate, se considera que el reductor tiene una entrada y dos salidas de potencia, es decir, se debe tener en cuenta que mediante el mismo se transmitirán 12,4 [HP], de los cuales 7,3 son para la mesa rotaria y 5,1 son para el malacate. Este reductor se seleccionó mediante los criterios expresados por este fabricante (Ver anexo B).

Tabla 20. Resultados en sistema internacional y sistema Inglés.

DESCRIPCIÓN	VALORES SISTEMA INTERNACIONAL	VALORES SISTEMA INGLES
Potencia transmitida por el reductor	9,2504 [kW]	12,4 [HP]
Torque en el malacate	237,3 [Nm]	175 [lb.ft]

Dado que, el radio existente en él es de 20:1 el reductor es del tipo D (19,5). Ahora, al analizar la potencia a transmitir, se toma el valor máximo de potencia de entrada en la tabla, puesto que el rango de ésta es de 5,2 a 11,8 [kW]. Ahora, con una eficiencia del 89%, se halla que la potencia finalmente es de 14 [HP], siendo una selección correcta para el reductor de velocidad. Ahora, para el valor del torque transmitido en el eje del malacate, según la tabla del catálogo⁴¹, el rango en el eje de salida comprende entre 691 a 1155 [Nm], concluyendo que sus condiciones de operación son adecuadas para el sistema de levantamiento.

4.3.3. Calculo de la bomba de lodos: Sumando las pérdidas de potencia en el sistema de transmisión hacia las bombas, a su eficiencia volumétrica, se

⁴¹ CARR. Catálogo de reductores industriales serie BS Radicon. [En línea]. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: <http://www.carr.cl/subcat/3#27>.

obtiene la eficiencia total del sistema, con la cual se determinara la potencia necesaria en la bomba⁴².

Desde la bomba de lodos, se tiene en cuenta la presión máxima, el caudal de operación a la entrada y salida de la bomba y la eficiencia con la que trabaja. Para efectos de este cálculo, se basó en un proyecto de grado de la UIS concerniente al manejo de ecuaciones de semejanza para selección de bombas centrifugas en sistemas de bombeo con fluidos diferentes a agua⁴³. De igual manera a los demás cálculos, se proveen los valores de entrada de acuerdo a la red de circulación que se maneja para el pozo en perforación.

Inicialmente se debe realizar un cálculo de pérdidas en tuberías, teniendo en cuenta el flujo dentro de la tubería de perforación y entre el pozo y la tubería de perforación, estableciendo el punto central en la broca de perforación, dado que este punto separa los dos segmentos de la red de circulación. Ahora, se obtiene la carga manométrica que debe generar la bomba y el caudal que otorga a esta carga, según la curva de presión de la bomba, información otorgada por el fabricante. La ecuación de la curva se puede obtener mediante la regresión lineal de los puntos de la curva del fabricante, y así emplearla para realizar una solución de sistema de ecuaciones con dos incógnitas (ver anexo C). De esta manera, al hallar las condiciones de operación, se plantea ahora el método de cálculo para comprobación mediante uso de ecuaciones de semejanza, el cual es realizado mediante el hallazgo de un factor, y de acuerdo a su resultado se determina la conversión del punto de operación de la bomba centrífuga a un fluido diferente a agua.

⁴² ECOPETROL. Manual de Operaciones de Perforación, Versión 1. Colombia: Departamento de Perforación, 1994. Inciso 3.6.6.

⁴³ LIZCANO RUIZ, Henry. ZAFRA URREA, Geisson René. Ajuste de las curvas de operación de las bombas del sistema de levantamiento electrosumergible por viscosidad y densidad en presencia de un crudo extra pesado. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2014.

Tabla 21. Datos de salida cálculo de la bomba de lodos.

DATOS OBTENIDOS	VALOR
Altura manométrica del sistema	62,85 [m.c.a.]
Caudal necesario en la bomba	140,6 [gpm]
Eficiencia volumétrica en la bomba	0,687
Potencia requerida en la bomba de lodos	12,2 [HP]

Para esta condición de altura manométrica, podemos seleccionar la bomba IHM de referencia 30A-L2 diseñada para operar a un máximo de 20 [HP], la cual en este caso está configurada para trabajar a 10 [HP], nominalmente hablando, mediante la selección del rotor, cuyo diámetro es de 190 milímetros. Esta bomba tiene en succión y descarga un diámetro de 3 pulgadas. Al revisar la curva manométrica de la bomba se puede concluir que es coincidente en el punto descrito anteriormente con la curva de pérdidas de carga en el sistema (Ver anexo C).

Figura 20. Bomba de lodos IHM de referencia 30AL2



Fuente: IGNACIO GÓMEZ IHM S.A.S. Productos [En línea]. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: <http://www.igihm.com/productos.php?id=1>.

4.3.4. Potencia máxima y selección del motor: La medida de referencia tomada para la potencia es el caballo de fuerza, el cual se define como la fuerza aplicada a un objeto, durante una cierta distancia en un tiempo

determinado. Potencia que debe ser calculada y estar por encima de la requerida, según Ecopetrol⁴⁴.

Para el cálculo de la potencia total en el motor se determina el valor máximo en operación posible en la máquina, esto requiere conocer sus procesos de operación, para así determinar cuál de estos o cuál combinación de los mismos, consume la mayor potencia. De esta forma, mencionamos las combinaciones de procesos:

- DESCENSO Y PERFORACIÓN: Para esta etapa, se actúa la mesa rotaria para dar movimiento a la broca, y a su vez se usa el sistema de circulación mediante la bomba de lodos.
- LEVANTAMIENTO: Para esta etapa, se usa el malacate para el ascenso de la sarta, y ocasionalmente se debe conectar la mesa rotaria en caso de estancamiento.

Posteriormente, realizamos una suma de potencias para cada combinación, y las comparamos para hallar el valor máximo de consumo y regirse por esta magnitud para seleccionar el motor.

Tabla 22. Dato potencia máxima suministrada.

COMBINACIÓN DE PROCESOS	CONSUMO
Descenso de la sarta y Perforación	19,5 [HP]
Levantamiento de la sarta	12,4 [HP]

Por lo tanto, se toma como potencia de diseño el valor más alto, el cual es de 19,5 [HP]. De acuerdo a este resultado, se hace la selección del motor con las siguientes referencias:

⁴⁴ ECOPETROL. Op. cit. Inciso 3.6.1.

Figura 21. Motor Koop China KD292F



Fuente: CONDUSTRIAL. Información Motor Ecohorse KD292F. [En línea]. Motores – Motor Diesel. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: <http://www.condustrial.com.co/motores-a-gasolina-motores-diesel-motores-electricos-motores-estacionarios-condustrial/343-motor-diesel-ecohorse-kd292f.html>.

Se proporciona más información acerca de su manejo en los manuales de operación y mantenimiento de la máquina, encontrándose una sección de cada componente en las mismas (ver anexo H e I) y también se encuentran las especificaciones técnicas del motor y las curvas de rendimiento, para analizar su desempeño (ver anexo D).

4.3.5. Selección de la transmisión por correas: Inicialmente, en esta etapa tendremos en cuenta la velocidad necesaria para el malacate; a partir de esta velocidad, y de acuerdo a la relación de velocidades en el reductor Radicon (20:1), obtenemos la velocidad necesaria en la polea conducida, y la relación de velocidades de la transmisión por correas, así:

Tabla 23. Datos de entrada de trasmisión de potencia por correas.

DATO DE ENTRADA	VALOR
velocidad en el eje de polea conducida	1800 [rpm]
Relación de velocidades en la transmisión	2:1

Ahora, para la potencia de diseño, se tiene en cuenta que la potencia va transmitida hacia un malacate (grúa) y una mesa rotaria para accionar una broca (taladro). Por ende, la más crítica sería la primera opción, y considerando servicio intermitente ya que su uso es restringido a su requerimiento bajo contrato, tenemos que:

Tabla 24. Análisis de potencia de diseño

VARIABLES EN EL ANÁLISIS	VALOR
Factor de servicio	1,3
Potencia transmitida	12,4 [HP]
Potencia de diseño	16,12 [HP]

Al comparar en la tabla de selección de tipo de correa en el catálogo de transmisión por correas Martin, vemos que para esta potencia y a la velocidad del motor, es más óptimo usar una transmisión tipo A. Posteriormente, teniendo el tipo de correa, la relación de velocidades y las rpm del motor, además del diámetro de la polea motriz, hallamos la potencia transmitida por banda de acuerdo a la longitud de la correa elegida desde la distancia entre centros, y su factor de corrección:

Tabla 25. Datos de dimensiones y de entrada para cálculo de número de correas.

VARIABLE DE ENTRADA	VALOR
Distancia entre centros	15 [pulg]
Longitud de correa	51 [pulg]
Potencia por banda	6,13 [HP]
Factor de corrección	0,9 [HP]

Finalmente, al comparar la potencia de diseño y la potencia corregida por banda, la cual es la potencia por banda por el factor de corrección, se halla el número requerido de correas:

Tabla 26. Número de correas y potencia corregida por banda.

RESULTADOS	VALOR
Potencia corregida por banda	5,517 [HP]
Número de correas	2,922

Finalmente, el número de correas elegido es 3 correas, definiendo el conjunto así:

- 3 Correas A51.
- Polea motriz tipo 3Ax4”
- Polea conducida tipo 3Ax8”

Figura 22. Polea motriz tipo A de Diámetro primitivo 4”



Figura 23. Polea conducida tipo A de Diámetro primitivo 8”



En este caso se realiza la selección mediante el uso del catálogo para transmisiones de correas Martin⁴⁵.

4.3.6. Selección de los embragues: Para la selección de los embragues a utilizar, se aplica el concepto de energía disipada, considerando la potencia transmitida hacia la mesa rotaria y la potencia hacia la bomba. De manera preliminar tomaremos el embrague para el vehículo Suzuki Lj80⁴⁶:

Tabla 27. Datos considerados de entrada para la selección de embragues

DATO DE ENTRADA	VALOR
Potencia entregada a la bomba de lodos	12,2 [HP]
Potencia entregada a la mesa rotaria	7,3 [HP]
Potencia de trabajo del embrague a seleccionar	40,43 [HP]
Velocidad de la bomba de lodos	3500 [rpm]
Velocidad de entrada hacia la mesa rotaria	1800 [rpm]
Velocidad nominal de trabajo del embrague	5500 [rpm]

⁴⁵ MARTIN. Transmisión por bandas. [En línea]. Catálogo. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: [http://www.martinsprocket.com/docs/catalogs/power%20transmission/6_sheaves%20catalog/poleas-para-banda-v-de-martin-\(martin-v-belt-sheaves\).pdf](http://www.martinsprocket.com/docs/catalogs/power%20transmission/6_sheaves%20catalog/poleas-para-banda-v-de-martin-(martin-v-belt-sheaves).pdf).

⁴⁶ SUZUKI88. Especificaciones Técnicas Suzuki Lj80. [En línea]. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: <http://suzuki88.webcindario.com/LJ-prueba.htm>.

Ahora, al analizar las energías que son requeridas a disipar:

Tabla 28. Energías requeridas a disipar

RESULTADOS	VALOR
Energía desarrollada en la mesa rotaria	2007 [lb.ft]
Energía desarrollada en bomba de lodos	3354 [lb.ft]
Energía disipada por el embrague seleccionado	11113 [lb.ft]

Finalmente, podemos concluir que el embrague es óptimo para utilizar.

Figura 24. Embrague de un vehículo Suzuki Lj80



Fuente: MOTORDOCTOR. Suzuki Lj80 Kit de embrague [En línea]. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: <https://www.motordocor.es/kit-de-embrague/suzuki/lj-80>.

4.3.7. Acoples para transmisión de potencia en los embragues (juntas universales):

Para el acoplado de los elementos que van posteriores a los embragues, como por ejemplo la unión del embrague al eje de la bomba de lodos, y la unión del embrague al reductor de velocidad, utilizaremos juntas universales o acoples de cardan. Estos acoples son sugeridos en estos sectores en caso de que se pueda presentar desalineamiento en los ejes.

Para una debida selección de estas crucetas, se verifica que esté diseñada para trabajar a una potencia mayor a la que trabaja el sistema, y también que esté dentro de un valor que no sea muy conservador. Esta verificación se realiza mediante la capacidad de torque que tiene la configuración de la junta universal, comparada con el torque desarrollado en las transmisiones, en este caso, de la bomba de lodos y de la mesa rotaria.

Tabla 29. Datos para el análisis de selección de juntas universales.

DATOS DE ENTRADA	VALOR
Torque desarrollado en la mesa rotaria	28,87 [Nm]
Torque desarrollado en la bomba de lodos	24,81 [Nm]

Al obtener los valores de la torsión en las transmisiones que se usan estas uniones, éstos se comparan con el valor de torque nominal que desarrollan estas juntas, tomando desde la tabla 25 los valores de potencia alcanzada a un número determinado de revoluciones. Realizaremos la preselección de la cruceta de referencia SKF 338 (la cual pertenece a la serie estándar 1 de la ASAE⁴⁷). Puesto que es la serie con la menor capacidad. Ahora, se calcula el torque de capacidad teniendo una potencia de 30 HP, y una velocidad de 1000 [rpm], donde finalmente:

- Capacidad de torque para junta 338: 157,5 [Nm]

Finalmente, acorde a la capacidad de torsión en este kit de junta universal, podemos concluir que esta selección es adecuada para estas dos transmisiones de potencia. En el anexo E se encuentra información acerca de las dimensiones de la cruceta en esta referencia, tomado del catálogo de crucetas Precision.

⁴⁷ SKF. Universal Joints/Crucetas/Joints de cardan. [En línea]. 2016. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: <http://www.skf.com/binary/81-278360/457585.pdf>.

Tabla 30. Intercambio de referencias para juntas universales.

Competitor interchangeability chart

Standard Series				Supplier			
ASAE	HP @ 540 RPM	HP @ 1000 RPM		SKF	Walterscheid	Meritor	Weasler
1	16	30	Series Kit No.	N1000 UJ338	1000 5-170X		
1	16	30	Series Kit No.	L600 UJ861		L6N CPL6R-40	6 200-0600
2	25	48	Series Kit No.	1200 UJ995	1140 5-242X	L12N CPL12R	12 200-1200
3	35	48	Series Kit No.	1800 UJ507			1800 200-1875
3	35	56	Series Kit No.	2000 UJ880	1240 5-129X	L14N CPL14R	14 200-1400
4	58	93	Series Kit No.	2200 UJ964	1340 5-243X	35N CP35R	35 200-3500
5	80	120	Series Kit No.	N44 UJ888		44R CP44R	44 200-4400
6	100	150	Series Kit No.	2600 UJ351	1480 5-188x		2600 200-2600
6	100	150	Series Kit No.	N55 UJ889		55N CP55N	55 200-5500

Fuente: SKF. Universal Joints/Crucetas/Joints de cardan. [En línea]. 2016. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: <http://www.skf.com/binary/81-278360/457585.pdf>.

4.4. MODULO ESTRUCTURAL

4.4.1. Analisis de la estructura de la torre y plataforma de perforación: La plataforma debe tener un requerimiento previo y es que se tiene en cuenta el peso total que va a soportar está, que sería más o menos un 80% del peso de todo el sistema para que esta no sufra ninguna causa o percance de acuerdo al peso establecido, se debe mirar el diseño y material que resista con esta carga.

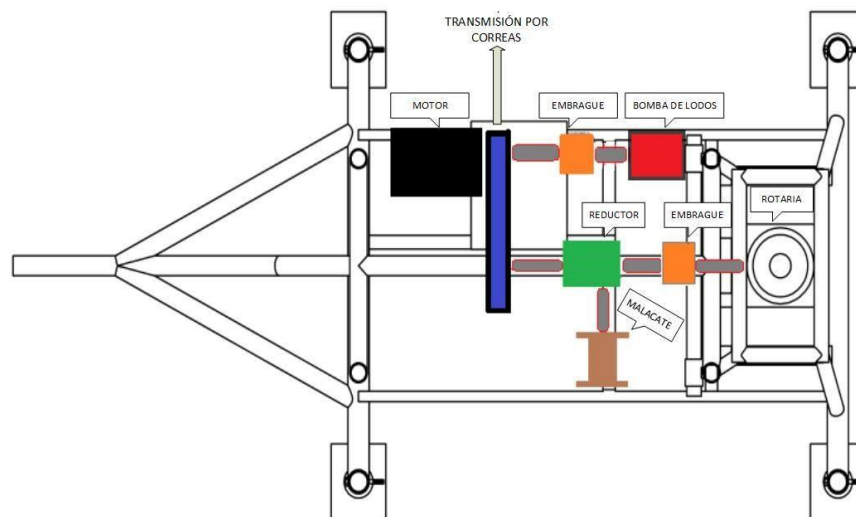
Se debe establecer cuáles son los sistemas predominantes en la selección y cuáles son los parámetros de diseño para un mejor desempeño y eficiencia de la máquina tales como la torre de perforación en donde se observa y analiza el peso máximo considerando las siguientes cargas, según Ecopetrol⁴⁸:

⁴⁸ ECOPETROL, Op. cit., Inciso 3.3.1.

- ✓ Carga muerta: Es la componente de todo el equipo y herramientas soportadas por la estructura.
- ✓ Carga dinámica: Es la fuerza que se produce como resultado de la pendiente, el balanceo y el movimiento ondulatorio de los equipos flotantes.
- ✓ Las brocas de perforación son un importante requerimiento de la maquina puesto que para cada tipo de terreno existe una broca diferente y con dimensiones, diseño y materiales diferentes para la trituración, cizallamiento y fricción causadas por el trabajo que realizan.

Para efectos de los siguientes análisis, inicialmente se debe modelar la estructura en un software CAD, en este caso se emplean los softwares SOLIDWORKS® y ANSYS®. El primero se usa para crear el modelo y también para realizar el análisis de volcadura, y posteriormente se exporta al segundo software para realizar los análisis de esfuerzos y deformación. Se pueden observar los planos de la estructura en el anexo F.

Figura 25. Distribución de elementos sobre la estructura del taladro.



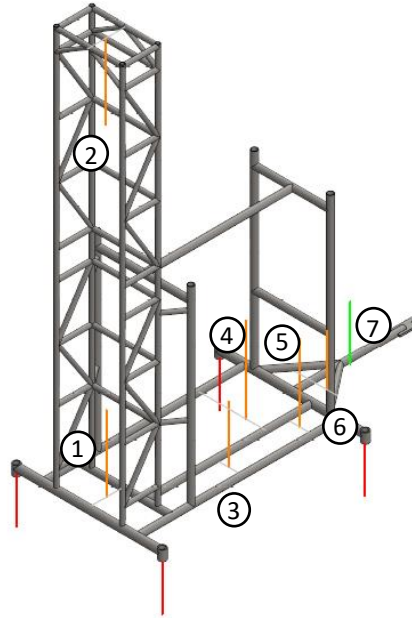
Al tener los elementos seleccionados y la estructura modelada, se procede a hacer la distribución de los mismos sobre la estructura, para hallar el comportamiento del peso sobre ésta. Después de tener esta distribución se puede realizar análisis de volcadura, análisis de esfuerzo y deformación sobre la estructura y comprobación de la suspensión instalada en la misma para la condición de transporte.

4.4.1.1. Análisis de volcadura de la estructura con los componentes instalados:

Es primordial realizar un análisis de tipo estático para determinar la correcta ubicación del peso de los componentes sobre la estructura, con el fin de evitar accidentes en la operación de la máquina debido a una posible volcadura en la estructura. Para el desarrollo de este análisis, primero se debe especificar la ubicación preliminar de los componentes sobre la estructura, se debe conocer el peso de cada uno de los componentes y los apoyos de la estructura sobre el suelo, en las condiciones de manejo de la unidad móvil (Transporte y operación).

- Condición de operación: En la siguiente figura se mostrará la ubicación de los elementos sobre la estructura, así como también los apoyos de la misma en esta condición, y también un peso, en este caso de la misma estructura, que se encuentra por fuera de la zona de los apoyos de la misma. Más adelante se puede ver la relevancia de este peso en este análisis.

Figura 26. Ubicación de las fuerzas ejercidas sobre la estructura.



Las líneas de color naranja indican el peso de los componentes sobre la estructura, las líneas rojas indican los apoyos de la misma sobre el suelo, y la línea verde indica la línea de acción del peso saliente de los apoyos. En la siguiente tabla se identifican las cargas existentes y relevantes en la estructura.

Tabla 31. Cargas existentes y más relevantes en la estructura.

N°	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Peso de la mesa rotaria	50 [Kgf.]
2	Peso de la sarta de perforación	852,7 [Kgf.]
3	Peso de la bomba de lodos	43 [Kgf.]
4	Peso del reductor de velocidad	30 [Kgf.]
5	Peso del motor de combustión interna	84 [Kgf.]
6	Peso de la batería	25 [Kgf.]
7	Peso del sector de la estructura fuera de los apoyos	26,36 [Kgf.]

VISTA LATERAL: Ahora, desde esta vista se puede observar de una mejor manera la condición más crítica que existiría en cuanto a este análisis. Después de haber identificado y medido las cargas existentes, en este caso se hace una sumatoria de torques, y hallando la fuerza en los apoyos en la izquierda y su dirección, se podrá determinar si se encuentra en una condición segura en este análisis.

Sentido antihorario:

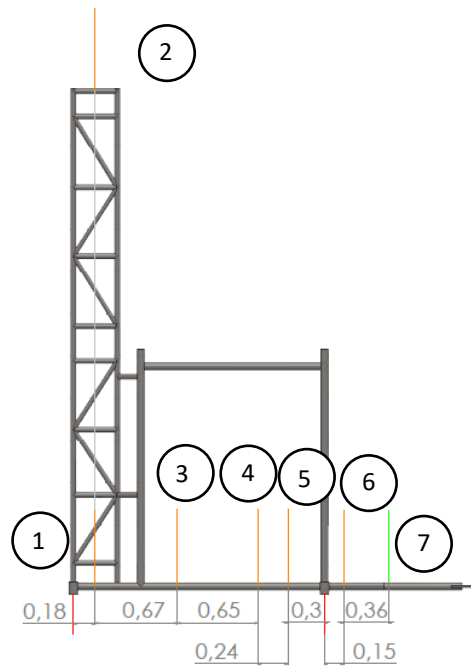
- Peso de la mesa rotaria.
- Peso de la sarta de perforación.
- Peso de la bomba de lodos.
- Peso del reductor de velocidad.
- Peso del motor de combustión interna.

Sentido horario:

- Peso de la batería.
- Peso del sector de la estructura fuera de los apoyos.
- Fuerza en los apoyos de la izquierda.

Finalmente, acorde a la capacidad de torsión en este kit de junta universal, podemos concluir que esta selección es adecuada para estas dos transmisiones de potencia. En el anexo E se encuentra información acerca de las dimensiones de la cruceta en esta referencia, tomado del catálogo de crucetas Precision.

Figura 27. Vista lateral de la estructura con la ubicación de estas cargas.



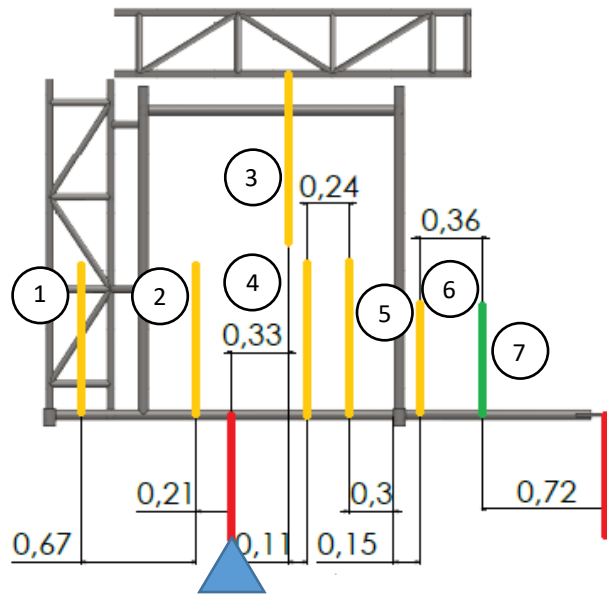
VISTA FRONTAL: Al observar esta vista de la estructura, sin necesidad de aplicar una sumatoria de torques en uno de los apoyos podemos concluir que todas las cargas en la estructura se encuentran dentro de la zona segura de los apoyos, es decir, no se presentaría una situación de volcadura.

Figura 28. Vista frontal de la estructura con la ubicación de estas cargas.



- Condición de transporte: En esta condición, preliminarmente sería el mismo comportamiento en la vista frontal dado que no se encuentra ningún peso por fuera de la zona de los apoyos, lo cual no generaría condición de volcadura. Sin embargo, en la vista lateral existiría un cambio en los apoyos que tendría la estructura, y por esta razón es necesaria la realización de un nuevo análisis en esta situación.

Figura 29. Analisis estático de las fuerzas que actúan en condición de transporte



De acuerdo a la figura, se observa que se tiene en cuenta ahora la parte superior de la torre, y los apoyos ahora se encuentran en las ruedas y en el acople de la estructura a la parte trasera de la camioneta. De manera similar a la condición de operación, se debe realizar una sumatoria de momentos a partir del apoyo resaltado en azul, teniendo los pesos de los componentes y las distancias entre sí.

Tabla 32. Cargas significativas en la condición de transporte

N°	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Peso de la mesa rotaria	50 [Kgf.]
2	Peso de la bomba de lodos	43 [Kgf.]
3	Peso de la parte superior de la torre	60 [Kgf.]
4	Peso del reductor de velocidad	30 [Kgf.]
5	Peso del motor de combustión interna	84 [Kgf.]
6	Peso de la batería	25 [Kgf.]

Sentido antihorario:

- Peso de la mesa rotaria
- Peso de la bomba de lodos
- Fuerza en el apoyo de la derecha (Anclaje a camioneta)

Sentido horario:

- Peso de la parte superior de la torre
- Peso del reductor de velocidad
- Peso del motor de combustión interna
- Peso de la batería

De esta manera, tenemos que:

- $F_{der.} = 29,57$ [Kgf] en sentido positivo del análisis.

De acuerdo a este resultado, se corrobora que la estructura es segura para situaciones de volcadura, evitando un posible accidente e inconvenientes para la empresa a la hora de su uso.

4.4.1.2. Comprobación de resistencia a las cargas en la estructura mediante software ANSYS®.

- Paso N° 1 - Geometría: Se hace el modelamiento de la estructura en Ansys obteniendo la geometría y características detalladas de esta misma y sus datos principales en cuanto peso, medidas, secciones transversales y demás datos que hacen contorno con la estética de la estructura.
- Paso N° 2 - Mallado: En los siguientes datos se toma en cuenta el número de nodos y elementos que toma el programa para hacer el análisis de mallado y en consecuencia este pueda dar un resultado de elementos finitos.
- Paso N° 3 - Estática estructural: Se toma en cuenta una temperatura ambiente, la magnitud y dirección de las fuerzas implicadas sobre la estructura para el análisis de pandeo y resistencia del material.
- Paso N° 4 - Solución: Luego de realizado el mallado para el análisis de elementos finitos y de indicar cuales son los apoyos fijos de la estructura y las fuerzas con su sentido, magnitud y dirección que lleva la estructura en el momento en que esta se encuentra trabajando con el peso de la sarta de perforación en condición de flotación en el pozo y con sus pesos de los elementos más significativos se prosigue a obtener los resultados. En la siguiente tabla se muestran los resultados generales teniendo en cuenta que se decidió mostrar la total deformación de la estructura, un análisis de fuerza axial y por último de momento flector para así contribuir y asegurar que la estructura es acta y propicia para el trabajo realizado.

Tabla 33. Resultados de los tres procesos a estudiar

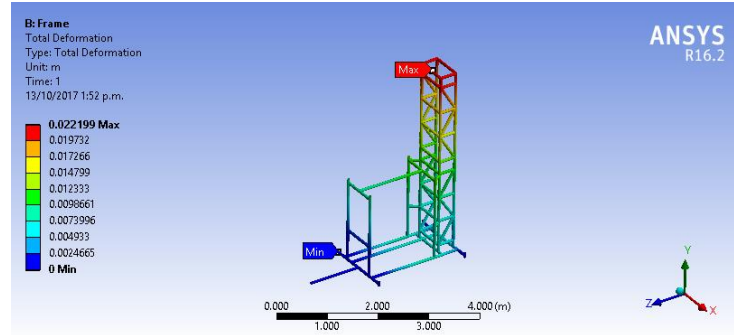
Nombre de Objeto	Total Deformación	Fuerza Axial	Total Momento Flector
Estado	Solucionado		
Alcance			
Método Scoping	Selección de geometría		
Geometría	Todos los cuerpos	Todos los cuerpos de línea	
Definición			
Tipo	Total Deformación	Direccional Fuerza Axial	Total Momento Flector
Por	Tiempo		
Display Time	Pasado		
Calculate Time History	Si		
Suppressed	No		
Coordinate System	Solution Coordinate System		
Resultados			
Mínimo	0. m	-25891 N	0. N·m
Máximo	2.2199e-002 m	10564 N	7137.9 N·m
Información			
Time	1. s		
Fase de carga	1		
Subpaso	1		
Número de la iteración	1		

- Paso N° 5 - Total deformación: A continuación se muestra el resultado general mediante tabla y grafica de la deformación total, observando que el punto de máxima deformación es donde rige la fuerza mayor el cual es el peso de la sarta de perforación en condición de flotación en el pozo concentrada en la parte superior de la torre, a continuación datos reales de este análisis.

Tabla 34. Datos finales deformación total

Deformación Total		
Tiempo [s]	Mínimo [m]	Máximo [m]
1.	0.	2.2199e-002

Figura 30. Analisis de deformación total



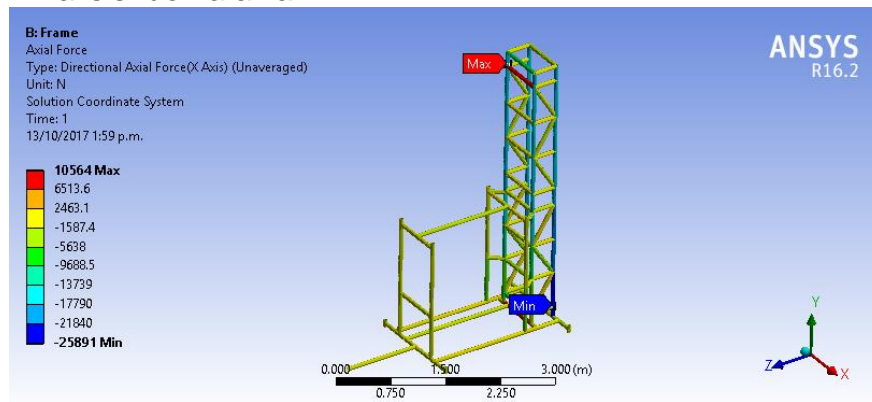
- Paso N° 6 - Fuerzas axiales: En la siguiente tabla y figura se muestran los resultados de fuerza axial con su mínimo y máximo valor a lo largo de todas las secciones transversales de cada barra dentro de la estructura.

Tabla 35. Datos finales fuerza axial

Fuerza Axial

Tiempo [s]	Mínimo [N]	Máximo [N]
1.	-25891	10564

Figura 31. Analisis fuerza axial

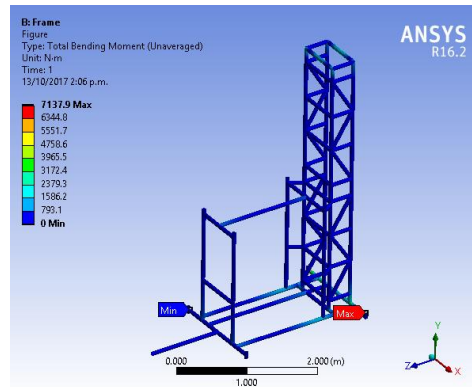


Paso N° 7 - Momento flector: Por último se analiza el momento total flector que de acuerdo a la siguiente tabla y figura, el máximo momento flector está ubicado en el apoyo cercano al motor, batería y bomba demostrado de la siguiente manera.

Tabla 36. Datos finales momento flector total.

Momento Flector Total		
Time [s]	Mínimo [N·m]	Máximo [N·m]
1.	0.	7137.9

Figura 32. Analisis momento flector total.



- Datos del material (A56): Datos administrados dentro del software antes de llevar a cabo el proceso de elementos finitos caracterizando cada propiedad del material, en las siguientes tablas se muestra todas las propiedades físicas del material.

En el anexo G Se encuentra más información para este análisis, como las unidades empleadas, la geometría de la estructura y los grupos de cuerpo, y el material especificado, así como también el análisis de tensión directa, el cual indica el tramo

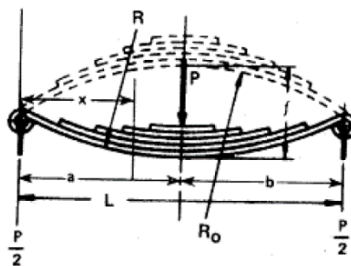
que recibe más esfuerzo en la estructura, mostrando el tramo con mayor esfuerzo y el tramo con menor esfuerzo.

4.4.1.3. Analisis del sistema de suspensión de la unidad móvil: Para este análisis del sistema de suspensión, se debe aplicar el cálculo para la constante del resorte desde el concepto de los resortes de hoja, desde los siguientes datos de entrada:

Tabla 37. Características y especificaciones de los resortes de hoja

DATOS DE ENTRADA	VALOR
Número de hojas	3
Distancia entre los ejes de sujeción de los resortes	126 [cm]
Espesor de cada hoja	5/16 [pulgadas]
Ancho de cara de cada hoja	3 [pulgadas]
Módulo de Young del material	$1,86 \cdot 10^7$ [Pa]

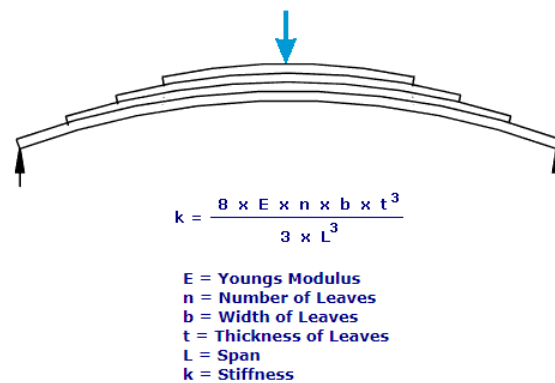
Figura 33. Esquema de reacciones en un conjunto de hojas de resorte con sus respectivas ubicaciones



Fuente: MANTILLA NOVA, David. Diseño óptimo de resortes tipo ballesta para la suspensión de un vehículo comercial considerando las condiciones dinámicas. Tesis de investigación. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2014. p. 32.

Aplicando la ecuación particular de la constante del resorte, se halla la constante en función del módulo de Young, el número de hojas, el ancho y espesor de las mismas y la longitud entre los apoyos del muelle. Cabe aclarar que la estructura con el peso de sus componentes se estima que posea un peso de 1000 [Kgf], por lo tanto se distribuye en partes iguales a ambos sistemas de suspensión.

Figura 34. Ecuación particular de la constante del resorte



Fuente: CALCULATOR EDGE. Leaf Spring Calculator. [En línea]. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: http://www.calculatoredge.com/mech/leaf_springs.htm.

Según estos valores de entrada, se obtiene el valor de la constante del resorte:

- $K_s = 4,475 \times 10^8$ [N/m]

Ahora, para el cálculo de la frecuencia natural presente en el sistema de suspensión, se necesita el valor de la constante presente en la llanta. Se asume un valor de 50000 N/m. De esta manera:

Tabla 38. Dato frecuencia natural del sistema de suspensión

RESULTADOS SISTEMA DE SUSPENSIÓN	VALOR
Constante del sistema de suspensión	49994 [N/m]
Frecuencia natural del sistema de suspensión	6,036 [Hz]

5. CONSTRUCCIÓN

5.1. MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN

Tabla 39. Materiales para la construcción de la unidad móvil.

CANT	DESCRIPCION
1	Motor Diesel Koop 22,1 HP a 3600 rpm
3	Correas A51
1	Bomba eje libre presión 3" X 3" IHM @ 3600 RPM
50	Tramo tubería perforación x 2 mts SCH 80 Diam. 2"
2	Conjunto neumático coraza y rin para llanta Diam. 26"
2	Conjunto resortes de hoja para tráiler con discos de arado para tractor
1	Mesa rotaria para tubería 2"
2	Embrague para Suzuki LJ80
1	Reductor Radicon con capacidad de 2 toneladas relación 20:1
1	Conjunto Junta Universal tipo 338 (Yokes, cruceta)
1	Conjunto Junta Universal tipo 338 con eje Cardan acero 4140.
1	Broca para perforación inicial [6 ½"]
1	Broca para rectificación de pozo [8 ½"]
1	Junta de sarta de perforación [Swivel]
1	Vástago de perforación [Kelly]
	Tornillería SAE grado 8 Acero
2	Polea para sistema de levantamiento (Malacate) 2,5" x 2" int x 2" ancho
1	Polea motriz tipo 3A de Diámetro primitivo=4"
1	Polea conducida tipo 3A de Diámetro primitivo=8"
5	tubos acero SCH 40 Diam 2" x 6 mts
4	tubos acero SCH 40 Diam 2 ½ " x 6 mts
1	tubo acero SCH 40 Diam 3" x 6 mts
2	tubos acero SCH 40 Diam 1 ¼ " x 6 mts
3	Mts perfil ángulo 2" x 3/16"
1	Llave de tubo para sarta de perforación (herramienta) 36"
1	Llave de tubo para sarta de perforación (herramienta) 24"
1	Manila para sistema de levantamiento de tubería
1	m2 placa acero ¼" espesor
1	m2 placa acero ½" espesor
	Soldadura 6010 y 7018.

Cabe destacar que en este proceso de construcción de la máquina se tuvo la mano de obra de un soldador, un trabajador de la empresa y la ayuda de los dos estudiantes para llevar a cabo cada paso de esta misma.

Se construyó esta máquina basándose en un procedimiento paso a paso, donde se obtuvo todo el material y sus componentes desde antes de iniciar el proceso, utilizando en la fabricación de la estructura y la sarta, soldadura número 6010 para **fondeo** y 7018 para **presentación**, limadura, corte de material y se utilizó máquinas tales como taladro de eje vertical, fresadora y torno convencional de eje horizontal. También, para las juntas apernadas, se seleccionó tornillería SAE grado 8, la cual de acuerdo a la tabla N, esta tornillería tiene una carga de prueba de 120 [kpsi] y un esfuerzo de ruptura de 150 [kpsi], teniendo una amplia capacidad de esfuerzo para este tipo de uniones.

Tabla 40. Resistencia de pernos y tuercas SAE según su número de grado.

NUMERO DE GRADO	MATERIAL	CARGA DE PRUEBA (KPSI)	ESFUERZO DE RUPTURA (KPSI)
1 , 2	Acero de bajo carbono ó acero al carbono	55 - 33	74 - 60
5	Acero al carbono, templado y revenido	85 - 74	120 - 105
5.2	Acero de bajo carbono martensítico, templado y revenido	85	120
7	Acero al carbono aleado, templado y revenido	105	133
8	Acero al carbono aleado, templado y revenido	120	150
8.2	Acero de bajo carbono martensítico, templado y revenido	120	150

Fuente: LA CASA DEL PERNO. Resistencia de pernos y tuercas. [En línea]. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: http://www.casadelperno.com/AyudaTecnica_Resistencia.html.

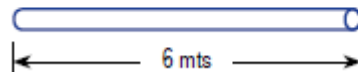
5.2. INSTALACIÓN Y ENSAMBLAJE DE ESTRUCTURA DE PERFORACIÓN

Se realizó la construcción de la torre de perforación y la plataforma, todo en una sola estructura, donde se utilizó tubería de acero comercial SCH 40 de tamaños 1

¼”, 2” y 2 ½” de diámetro. Las tuberías vienen comercialmente en tramos de 6 [m], a continuación sus características y datos técnicos:

Figura 35. Largo de tubos más comerciales

Largo de tubos más comerciales.



Fuente: STECKERL HIERROS Y ACEROS S.A., Catálogo de aceros. Capítulo cuarto – Tubería de acero. Barranquilla: 2011. p. 51.

Tabla 41. Características y dimensiones de los tramos de tubería SCH 40.

Tubería de acero carbón




Tabla 4.0. Tubería de acero carbón para conducción.

NOMINAL	DIÁMETRO		ESPELOR PARED		PELLO NOMINAL		WEIGHT CLASS	SCHEDULE
	Pulg.	EXTERIOR mm	Pulg.	mm.	LP	Kg/m		
1/4"	0.540	13.70	0.088	2.24	0.42	0.63	STD	40
1/4"	0.540	13.70	0.019	3.02	0.54	0.80	XS	80
3/8"	0.675	17.20	0.091	2.31	0.57	0.84	STD	40
3/8"	0.675	17.20	0.126	3.20	0.74	1.10	XS	80
1/2"	0.840	21.30	0.109	2.77	0.85	1.27	STD	40
1/2"	0.840	21.30	0.147	3.73	1.09	1.62	XS	80
3/4"	1.050	26.70	0.113	2.87	1.13	1.69	STD	40
3/4"	1.050	26.70	0.154	3.91	1.47	2.20	XS	80
1"	1.315	33.40	0.133	3.38	1.68	2.50	STD	40
1"	1.315	33.40	0.179	4.55	2.17	3.24	XS	80
1 1/4"	1.660	42.20	0.140	3.58	2.27	3.39	STD	40
1 1/4"	1.660	42.20	0.191	4.85	3.00	4.47	XS	80
1 1/2"	1.900	48.30	0.145	3.68	2.72	4.05	STD	40
1 1/2"	1.900	48.30	0.200	5.08	3.63	5.41	XS	80
2"	2.375	60.30	0.154	3.91	3.65	5.44	STD	40
2"	2.375	60.30	0.128	5.54	5.02	7.48	XS	80
2"	2.375	60.30	0.344	8.74	7.46	11.11		160
2 1/2"	2.875	73.00	0.203	5.16	5.79	8.63	STD	40

Fuente: STECKERL HIERROS Y ACEROS S.A., Catálogo de aceros. Capítulo cuarto – Tubería de acero. Barranquilla: 2011. p. 51.

5.2.1. Soldadura 6010: Este tipo de soldadura fue el utilizado para fondeo a lo largo de la construcción de esta máquina, a continuación una descripción y datos técnicos:

Tabla 42. Datos técnicos y características soldadura 6010.

APLICACIONES	Electrodo de revestimiento celulósico para soldar en todas las posiciones, produce depósitos de penetración profunda con calidad radiográfica. Se usa en trabajos estructurales, reparaciones y uniones de tubería.
CARACTERÍSTICAS	Es altamente utilizado en recipientes de presión, tuberías, calderas, cañerías de acero, carrocerías de camiones, estructuras de acero, equipos de fundición de acero, piezas de acero galvanizado.
PROCEDIMIENTO	Limpie la zona y soldar, mantener el electrodo ligeramente inclinado en la dirección de avance, utilice un arco corto. La escoria se quita fácilmente.
DATOS TÉCNICOS	PRESENTACIÓN: Electrodo SMAW RESISTENCIA A LA TENSION: 71000 lb/pulg2 TIPO DE CORRIENTE: CA o CD Electrodo Positivo (polaridad inversa)

Fuente: SOLDADURAS ZELECTA S.A. DE C.V., Soldadura 6010. [En línea]. Electrodo baja aleación. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: <http://soldaduraszelecta.com/productos/soldadura-6010-p-150.html>.

Tabla 43. Amperaje necesario de acuerdo a un diámetro especificado para soldadura tipo 6010

DIÁMETROS	AMPERAJES
3/32" (2.4 mm)	60 – 75 amperes
1/8" (3.2 mm)	75 – 125 amperes
5/32" (4.0 mm)	110 – 170 amperes
3/16" (4.8 mm)	140 – 215 amperes

Fuente: SOLDADURAS ZELECTA S.A. DE C.V., Soldadura 6010. [En línea]. Electrodo baja aleación. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: <http://soldaduraszelecta.com/productos/soldadura-6010-p-150.html>.

5.2.2. Soldadura 7018: Este tipo de soldadura fue el utilizado para presentación a lo largo de la construcción de esta máquina, en breve una explicación y datos técnicos de esta:

Tabla 44. Datos técnicos y características soldadura 7018.

APLICACIONES	Electrodo de bajo hidrógeno y polvo de hierro en el revestimiento para soldar aceros de alto contenido de azufre, aceros de baja aleación, vagones de ferrocarril, grúas de pluma, tanques, plataformas, aceros fundidos, aceros "Cold Rolled" y partes para caldera.
CARACTERÍSTICAS	Calidad radiográfica, excelente tenacidad a temperatura, fácil operación con CA o CD, utilizado para relleno rápido en obra de gran magnitud.
PROCEDIMIENTO	Mantener un arco corto, utilice electrodos secos, en caso de que exista húmeda deberán secarse de 2-3 horas a temperatura de 250-300°C.
DATOS TÉCNICOS	PRESENTACIÓN: Electrodo SMAW RESISTENCIA A LA TENSION: 78000 lb/pulg2 TIPO DE CORRIENTE: CD Electrodo Positivo (polaridad inversa)

Fuente: SOLDADURAS ZELECTA S.A. DE C.V., Soldadura Baja Aleación 7018. [En línea]. Electrodo baja aleación. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: <http://soldaduraszelecta.com/productos/soldadura-baja-aleacion-7018-p-153.html>.

Tabla 45. Amperaje necesario de acuerdo a un diámetro especificado para soldadura tipo 7018.

DIÁMETROS	AMPERAJES
3/32" (2.4 mm)	80 – 100 amperes
1/8" (3.2 mm)	110 – 150 amperes
5/32" (4.0 mm)	140 – 200 amperes
3/16" (4.8 mm)	200 – 260 amperes
1/4" (6.0 mm)	210 – 350 amperes

Fuente: SOLDADURAS ZELECTA S.A. DE C.V., Soldadura Baja Aleación 7018. [En línea]. Electrodo baja aleación. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: <http://soldaduraszelecta.com/productos/soldadura-baja-aleacion-7018-p-153.html>.

Figura 36. Base estructura.

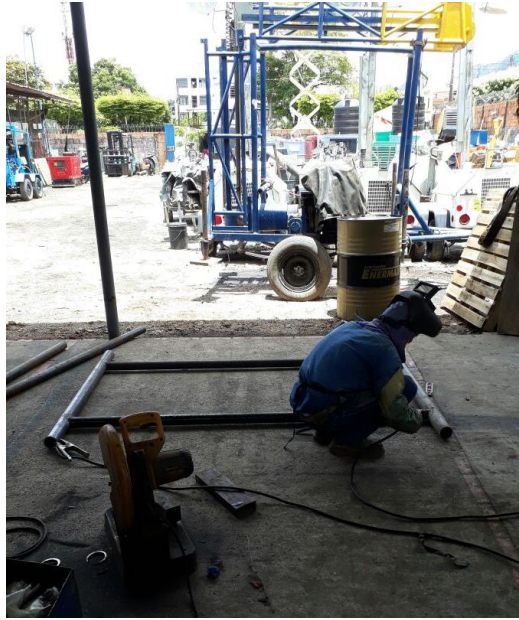


Figura 37. Torre de perforación.



Figura 38. Ensamble torre de perforación con base estructural.



Figura 39. Estructura terminada.



5.3. INSTALACIÓN Y ENSAMBLAJE DE SUSPENSIÓN DE LA MÁQUINA.

Después de hecha la estructura, se procede al sistema de suspensión, para este caso se compraron todos los elementos para después llevar a cabo su montaje:

- El primer paso fue comprar los elementos que se necesitan para la suspensión de la máquina, adquiriendo dos conjuntos de muelles, usados en las rastras de los tractores, cuyas medidas y especificaciones generales son:

Figura 40. Ballestas con sus principales medidas.

Datos reales de los muelles

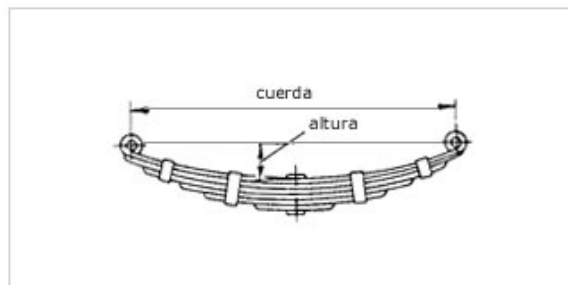
Cuerda: 126 [cm]

Altura: 19 [cm]

Nº de hojas: 3

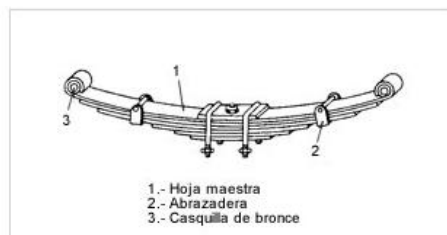
Espesor: 5/16 [in]

Ancho: 3 [in]



Fuente: AFICIONADOS A LA MECÁNICA. Verificación de las Ballestas de Suspensión. [En línea]. Entrenimiento y reparación de las ballestas de suspensión. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: <http://www.aficionadosalamecanica.net/hazlo-suspension-ballesta.htm>.

Figura 41. Partes generales de una ballesta.



Fuente: AFICIONADOS A LA MECÁNICA. Verificación de las Ballestas de Suspensión. [En línea]. Entrenimiento y reparación de las ballestas de suspensión. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: <http://www.aficionadosalamecanica.net/hazlo-suspension-ballesta.htm>.

Un conjunto de ballestas consiste, como se mira en la figura 45, de hojas maestras, abrazadera y casquillos de bronce. Los siguientes pasos fueron disminuir el número de hojas a 3 para disminuir su rigidez (dado que en un principio éstas venían con 10 hojas), centrar las hojas, fijarlas con las abrazaderas y hacerle un mantenimiento a los bujes de bronce, cambiándolos y seguidamente lubricando todos los componentes.

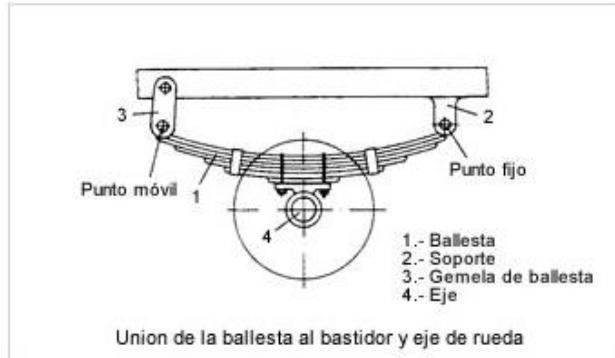
Figura 42. Resortes de hoja con uniones, centrados y fijados.



Figura 43. Ballestas listas para montaje.



Figura 44. Análisis general del montaje.



Fuente: AFICIONADOS A LA MECÁNICA. Componentes de la suspensión. [En línea]. Suspensión. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: <http://www.aficionadosalamecanica.net/suspension2.htm>.

Posteriormente, se utilizaron ejes de articulación de resortes de hoja (Figura 49) y después se hizo un montaje paralelo al sentido del desplazamiento de la unidad móvil de perforación, dejando así un punto fijo en la parte delantera de la misma y otro móvil para permitir los movimientos oscilantes verticales debido al movimiento en la condición de transporte, según información acerca de la suspensión⁴⁹, reduciendo también de esta manera la rigidez del sistema de suspensión.

Figura 45. Ejes de articulación de resortes de hoja.



⁴⁹ AFICIONADOS A LA MECÁNICA. Componentes de la suspensión. [En línea]. Suspensión. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: <http://www.aficionadosalamecanica.net/suspension2.htm>.

Figura 46. Montaje punto fijo.



En la parte móvil, se interpone entre los resortes de hoja con el bastidor un elemento móvil, se alinean y se pone un punto de soldadura para tener una ubicación preliminar de estos componentes, en caso de ser necesaria una modificación de su posición.

Figura 47. Montaje punto móvil.



Después de haber realizado estos pasos, se hace lo mismo al otro extremo del bastidor, y a continuación se hace el montaje del eje mediante una placa central y unas abrazaderas que se apoyan sobre los resortes de hoja, y con unos tornillos en U apoyados debajo de éste y sujetos mediante tuercas y arandelas. Se deja por terminada esta instalación al completar el cordón de soldadura en las zonas correspondientes.

Figura 48. Ballesta terminada con eje.



Para terminar todo el conjunto de suspensión se acoplan las llantas, las cuales son de referencia LIMA CAUCHO 6.50 rin 14" (figura 53); primero se desarma todo el conjunto que compone la llanta, después se acondiciona revisando los neumáticos, bocines, rodillos y tuercas para verificar su estado, cambiando las partes que se encuentran defectuosas y por último se aplica grasa para después montar cada llanta respectivamente, sujetando mediante tuercas.

Figura 49. Llanta marca LIMA CAUCHO 6.50 rin 14”.



Figura 50. Suspensión finalizada.



5.4. CONSTRUCCIÓN DE LA MESA ROTARIA Y MONTAJE EN LA ESTRUCTURA.

Para este montaje se adquirió la transmisión a eje trasero (diferencial) de una camioneta Chevrolet LUV 2300 [cc] y después, con la corona y el spin de esta configuración se construyeron las tapas con sus respectivos elementos de ensamblaje, como rodillos, empaques, bujes, cilindros internos y externos como se muestran en las siguientes figuras.

Figura 51 (a) Despiece de elementos eje spin. **(b).** Eje del spin. **(c).** Montaje completo del eje del spin.



(a)



(b)



(c)

Figura 52 (a). Despiece cilindro exterior y tapas superior e inferior junto con el montaje corona-rodamiento. **(b).** Corona-rodamiento ensamblados junto con el cilindro interno. **(c).** Montaje corona completo.



(a)



(b)



(c)

Para todo este despliegue de piezas, excepto los rodamientos, se utilizaron los procesos de cilindrado, refrentado y taladrado mediante un torno convencional paralelo y una fresadora, antes de los montajes generales de cada uno (spin y corona). También se hizo un proceso de lavado y engrase para así unir las dos piezas respectivamente como vemos en la siguiente imagen:

Figura 53. Mesa rotaria lista para su montaje en la estructura.



Por último se hace el montaje con soldadura de dos placas longitudinales que van a soportar la rotaria, lo importante en este paso es que la rotaria quede totalmente centrada con respecto a la parte superior de la torre y de la base de la estructura, esto para un mejor acoplamiento tanto en el ensamblaje del eje que llega al spin y de la tubería - Kelly que se acopla por la parte superior de esta. A continuación una imagen final de este proceso:

Figura 54. Montaje de mesa rotaria.



5.5. CONEXIÓN DEL MOTOR CON EL SISTEMA DE ARRANQUE, BATERÍA Y EL TABLERO DE CONTROL

Se hizo el respectivo montaje del motor a la estructura con todo su sistema de encendido, acelerador, conexión eléctrica para la batería y un medidor de presión de la bomba de aceite, todo esto dentro de un tablero de mando o de control.

Figura 55. Motor con sus cables positivo, negativo y la conexión para la presión de la bomba de aceite.



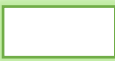


-  Intersección medidor de presión de la bomba de aceite.
-  Polo positivo del motor hacía la batería.
-  Polo negativo del motor hacía la batería.

Figura 56. Batería FAICO 271-1100 Instalada junto al motor.

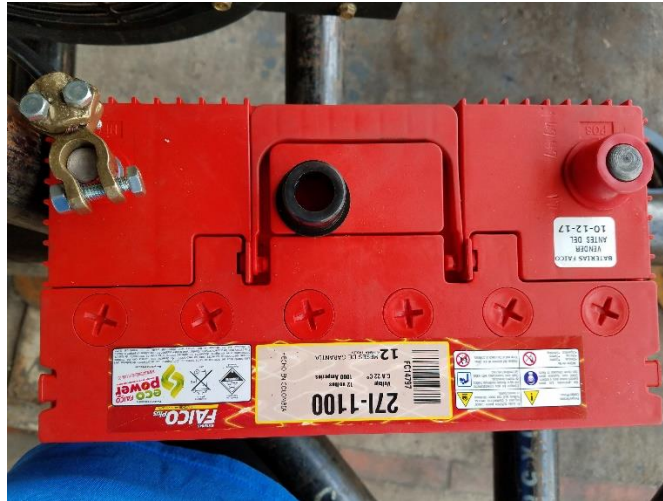






Figura 57. Tablero de mando y control.



-  Palanca acelerador del motor en unión con una guaya.
-  Bombillos led (uno indica presión en la bomba de aceite del motor y el otro la fuente de energía “encendido o apagado del motor”).
-  Medidor de presión de la bomba de aceite del motor en psi y Kgf/cm².
-  Switch para el motor.

5.6. ENSAMBLE DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA HACIA LA MESA ROTARIA.

Lo primero que se hizo fue medir a que altura tenía que ir el eje de salida del reductor de acuerdo a la altura del eje del spin de la mesa rotaria, para que estos estuvieran alineados y también la distancia del motor, observando el alineamiento con las poleas motriz y conducida ya que el motor está instalado y se puede detallar la distancia a la que está la polea motriz. Todo esto se llevó a cabo mediante el uso de cuerdas y un nivelador de manera eficiente. Después se pusieron dos perfiles de ángulo como soporte para el reductor-malacate. A continuación, algunas imágenes de este proceso:

Figura 58 (a) Alineación del eje directo del reductor con el eje de la rotaria para tomar su respectiva altura **(b)** Soldadura de los perfiles en ángulo y realización del montaje del reductor.



(a)



(b)

El siguiente paso fue montar el malacate, se hizo mediante el torno el eje necesario con sus respectivos métodos de sujeción y se muestra el resultado final en la siguiente imagen:

Figura 59. Conjunto reductor - malacate.



Por último, considerando que los componentes están alineados, se ensambla el yoke con la cruceta y un eje diseñado al tamaño (longitud y diámetro) necesario que una el embrague de la rotaria y por último el eje del spin de la rotaria, a continuación una imagen general de este montaje:

Figura 60. Ensamble general eje rotaria-embrague-reductor.



5.7. ENSAMBLE DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA HACIA LA BOMBA DE LODOS.

Posteriormente, se hace el montaje del eje principal del motor con la polea motriz para así también realizar la instalación de las correas. Después se acopla el embrague, la junta universal, y por último la bomba de lodos como se observa en la figura 66. Cabe resaltar que en este caso se desarma la carcasa y el impulsor en la bomba para evitar daños en el sello mecánico al momento de la instalación.

Figura 61. Montaje finalizado del motor con la bomba de lodos.



5.8. INSTALACIÓN DE LAS PALANCAS DE MANDO PARA LOS EMBRAGUES.

Para el respectivo control de la transmisión de potencia mediante embragues, es necesaria la instalación de unas palancas de mando, las cuales son dirigidas desde la parte trasera del motor, en donde se encuentran también el tablero de control del motor.

Figura 62 (a). Conexión palanca a embrague de mesa rotaria, **(b).** Palanca de embrague mesa rotaria **(c).** Palanca embrague bomba de lodos.



(a)



(b)



(c)

6. ANÁLISIS DE COSTOS Y VIABILIDAD

6.1. COSTOS DE FABRICACIÓN.

Tabla 46. Costos totales proyecto

N° UNIDADES	DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
6	Tramos de tubería SCH 40 x 6 metros cada uno de 1 ¼" para estructura	\$ 135.000	\$ 810.000
4	Tramos de tubería SCH 40 x 6 metros cada uno de 2" para estructura	\$ 320.000	\$ 1'280.000
2	Tramos de tubería SCH 40 x 6 metros cada uno de 2 1/2" para estructura	\$ 370.000	\$ 740.000
1	Perfil en ángulo 2"x3/16" por 6 metros	\$ 75.000	\$ 75.000
1	Perfil tipo [de 3"x3/16" por 6 metros	\$ 200.000	\$ 200.000
1	Motor Perforación (Motor Diesel)	\$ 7'500.000	\$ 7'500.000
1	Polea tipo A de Diámetro primitivo=4" de 3 canales	\$ 100.000	\$ 100.000
1	Polea tipo A de Diámetro primitivo=14" de 3 canales	\$ 490.000	\$ 490.000
3	Correas tipo A55	\$ 16.500	\$ 49.500
2	Conjuntos de embragues (rodamiento, prensa, volante, disco, eje, buje, mando de accionamiento)	\$ 280.000	\$ 560.000
1	Bomba de lodos (Motobomba para lodo IHM, Manguera de Succión X 6Mts con válvula de pie y Motobomba auxiliar)	\$ 1'700.000	\$ 1'700.000
2	Conjunto de junta universal tipo 338	\$ 60.000	\$ 120.000
1	Reductor de velocidad RADICON relación 20:1	\$ 300.000	\$ 300.000
1	Malacate (con manila)	\$ 300.000	\$ 300.000
1	Polea tipo corona de la torre	\$ 150.000	\$ 150.000
1	Mesa Rotaria	\$ 1'500.000	\$ 1'500.000
2	Conjunto suspensión (muelles con todas sus partes, llantas)	\$ 250.000	\$ 500.000
2	Brocas para perforación (aletas acero y tungsteno)	\$ 3'000.000	\$ 3'000.000
100	Tubería de perforación con rosca cuadrada (metros)	\$ 70.000	\$ 7'000.000
N/A	Herramientas de uso (2 Llave tubo 36" Stanley, 1 Juego llaves mixtas Stanley Pulgada, 1 Juego llaves mixtas Stanley Pulgada, 1 juego llaves Bristol, 1 Maceta 4 lbs, 1 Marco Segueta, 1 Inyector de grasa, 1 remachadora POP, 1 Taladro Manual)	\$ 5'000.000	\$ 5'000.000
1	Swivel (Con manguera)	\$ 2'500.000	\$ 2'500.000
1	Vástago de perforación (Kelly)	\$ 3'000.000	\$ 3'000.000
N/A	Mano de obra soldador	\$ 3'000.000	\$ 3'000.000
1	Tornillería, elementos de sujeción y materiales adicionales (Soldadura, equipos de soldadura, arriendo de bodega como sitio de ensamblaje, consumo de energía)	\$ 400.000	\$ 400.000
N/A	Mano de obra constructor	\$ 4'000.000	\$ 4'000.000
N/A	Mano de obra tornero	\$5'000.000	\$5'000.000
N/A	Papelería (Memorias, cartas, fotocopias, carpetas, borradores, empastes, etc.)	\$ 500.000	\$ 500.000
N/A	Imprevistos	\$ 1'000.000	\$ 1'000.000
TOTAL			\$ 50'474.500

La contabilidad es una herramienta fundamental en la medición y registro de movimientos y operaciones financieras que proveen una imagen de la situación actual e histórica de la empresa.

Con el fin de que la información sea comparable es necesario seguir ciertos criterios estandarizados, en el caso colombiano, la contabilidad está regida por el PUC. Este denomina las cuentas en las que se deben clasificar los movimientos, según García⁵⁰.

Entre los objetivos que persigue la contabilidad de costos se destacan:

- Medir y Valorar el coste de productos y servicios con el fin de valorar las existencias, ya sean terminadas o en proceso.
- Analizar los costos, determinando las relaciones que existen entre ellos y cada uno de los recursos económicos que son utilizados en la función de transformación económica. Una vez estandarizados es posible optimizar estos procesos con el fin de reducir los costos.
- Registrar los costos, clasificando y asignando los mismos a los correspondientes objetivos de costo.
- Informar sobre el costo, por medio de la agregación, comunicación e interpretación de la información a las partes interesadas de la empresa, sirviendo de la base para la planificación y control de la actividad interna.

6.2. COSTOS DE COMBUSTIBLES Y LUBRICANTES.

El total de costos combustibles y lubricantes, aunque podría ser incluido en los costos de mantenimiento y operación, es dejado como un ítem separado debido a

⁵⁰ GARCÍA CARO, Jaime. Estructura y modelo de control de costos para una empresa dedicada a la perforación, mantenimiento y reacondicionamiento de pozos de hidrocarburos. Contabilidad de Costos (Amparo Ayuso Et All, 2011). Bogotá: CESA. 2014. p. 18.

que es necesario tener un control sobre los consumos de cada equipo para poder comprarlos con los de equipos similares, según García⁵¹.

Para el costo de combustibles debemos estar de la mano con el plan de mantenimiento, dado que estos influyen en la realización de los planes de mantenimiento para dar su viabilidad en función de los costos que hay en cada rutina de mantenimiento que se realice.

Tabla 47. Datos de salida de costos por consumo de combustible.

RESULTADOS	VALOR
Consumo específico de combustible	270 [g/kW-h]
Costo del galón de Diesel en Colombia	7528 [pesos colombianos]
Potencia del motor seleccionado	22,1 [HP]
Costo de combustible del motor por hora	10450 [pesos colombianos]
Capacidad de aceite en el motor	2,3 [litros]
Costo de aceite Diesel por galón	60.000 [Pesos colombianos]
Costo de aceite Diesel en cambio de aceite	42.800 [Pesos colombianos]

Para tener un punto de referencia en economía del motor frente a otras configuraciones, se tomó un tipo de diseño más convencional, el cual es acoplar un motor para el malacate y la mesa rotaria, de 15 a 17 HP y un motor aparte para la bomba de lodos, de 10 HP:

- Motor Antor 4LD820: 17 HP, capacidad de aceite multigrado 20w50 2,6 Litros, consumo de combustible 3,7 L/hora ⁵².

⁵¹ *Ibíd.*, p. 27.

⁵² GLOBAL MOTOR S.A. Motores Antor Diesel. [En línea]. 2016. (Recuperado el 20 octubre 2017). Disponible en: <http://globalmotor.com.co/wp-content/uploads/2015/09/motores-diesel-antor.pdf>.

- Motor Diesel Kipor KM186F: 10 HP, capacidad del cárter 1,65 Litros, consumo de combustible 2,6 L/hora ⁵³.

De esta manera, teniendo en cuenta el precio del combustible en el país, se tiene que el costo por cambio de aceite combinado de los dos motores y su costo de combustible es:

Tabla 48. Datos de salida de costos por consumo de combustible en una configuración convencional.

COSTOS	VALOR
Costo de combustible del motor por hora	12529 [pesos colombianos]
Costo de aceite Diesel en cambio de aceite	67364 [Pesos colombianos]

En este caso se nota un ahorro en combustible que puede ser sustancioso en caso de operación extendida.

⁵³ KIPOR. Especificaciones Técnicas Kipor KM186F. [En línea]. (Recuperado el 20 octubre 2017). Disponible en: http://mayeca.com/media/PDF/Kipor/Motores/Ficha_tecnica_KM186F.pdf.

7. CONCLUSIONES

Se diseñó una unidad móvil de perforación para pozos profundos de agua con las siguientes condiciones de operación:

- Longitud máxima de 100 metros en tubería de perforación en acero tipo SCH 80 de 2 pulgadas de diámetro.
- Uso de mesa rotaria construida a partir de una transmisión diferencial a eje trasero de un vehículo Chevrolet® Luv con motor de 2300 cc.
- Uso de motor de 22 Caballos marca Koop® de referencia KD292F, el cual trabaja a 3600 rpm.
- Selección de bomba centrífuga marca IHM® de 3 pulgadas en succión y descarga de referencia 30A-L2 de eje libre con capacidad de 10 HP, como bomba de lodos para el sistema de circulación.
- Instalación de un reductor de velocidad marca Radicon con relación 20:1 para capacidad de trabajo de 14 HP en el eje de entrada de potencia.
- Selección de conjunto de Clutch para vehículo Suzuki® Lj80 para el control mediante embragues en la mesa rotaria y en la bomba de lodos.
- Selección de conjuntos de crucetas y Yokes tipo 338 para el ensamble de los componentes entre los embragues y los componentes finales, mediante uniones universales.
- Selección de transmisión de potencia por correas mediante tres correas tipo A55 con polea motriz 3AX4” y polea conducida 3AX14”.

Se hizo un análisis por el método de elementos finitos mediante el software ANSYS® para la estructura dejando claro que está en perfectas condiciones para trabajar en el punto más crítico que es cuando está el máximo peso en operación. Así como también un análisis de volcadura para garantizar la seguridad en el momento del transporte y la operación del equipo hacia cualquier lugar de trabajo,

y finalmente se realiza una comprobación de frecuencia natural en el sistema de suspensión de la máquina.

Se construyó una unidad móvil de perforación presentando buenos resultados en su funcionamiento con un fácil manejo de los operarios; se llevó a cabo cada proceso de la mejor manera posible comenzando con la construcción de la estructura con soldadura para la unión de la tubería, de seguido el montaje de la suspensión , ensamble de todos los elementos rotativos y estáticos que van sobre la estructura como es el caso de la bomba de lodos , el motor con su respectivo control , embragues, ejes , reductor-malacate, transmisión de potencia por correas, polea motriz, polea conducida, elementos de transmisión (juntas universales, volantes para embragues) y también la construcción e instalación de la Kelly, swivel, y toda su sarta de perforación, como las guardas de seguridad para las poleas y el conjunto de mandos para accionar los embragues en una posición cómoda para el operario, y por último el corte y la rosca para la tubería de perforación por tramos de 2 [m]. Esta construcción queda mostrada mediante las imágenes del proceso del mismo, y también mediante una carta de certificación del trabajo realizado por parte de la empresa, la cual está incluida en el Anexo J.

Se realiza un análisis de costos, en el cual se compara el consumo de combustible en este equipo, y el consumo en una máquina similar con un motor aparte para el malacate y la mesa rotaria, y otro para la bomba de lodos, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 49. Comparación de costos de combustibles en las dos configuraciones

	Anterior	Actual
Costo en consumo de combustible por hora	COP\$ 12529	COP\$ 10450
Costo en cambio de aceite	COP\$ 67364	COP\$ 42800

Se redactó un manual de operación en el cual se especifica los pasos para maniobrar la unidad móvil de una manera adecuada, en cuanto al transporte, montaje, operación y desmontaje; y un manual de mantenimiento en el cual se encuentran las rutinas de mantenimiento de los componentes en la unidad móvil para un adecuado cuidado general de la máquina, tomado de las fichas técnicas de los fabricantes, siendo este incluido en los anexos H e I del presente libro.

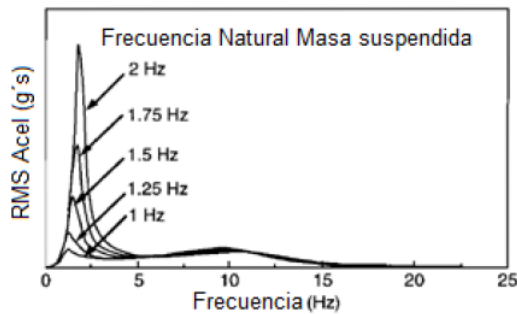
8. RECOMENDACIONES

Dado que de manera preliminar a la realización de la máquina existieron diseños conceptuales con variaciones en sus componentes, se incluyó solamente el implementado dado que existieron limitaciones de tipo económicas para la fabricación de la unidad móvil, imposibilitando el uso de demás componentes. Por esta razón es primordial la buena comunicación entre los diseñadores y el fabricante para realizar un diseño conceptual viable para las dos partes y que sea más pronto para disponer de él.

En el sistema de levantamiento de la sarta de perforación, se puede optimizar el sistema en el malacate para que no sea manual y se pueda hacer una instalación mediante el uso de un cable de acero, y para el mismo fin se implementa una caja de cambios a la salida del motor, puesto que de esta manera se puede mejorar la condición de trabajo del operador, en cuanto al esfuerzo y a ergonomía, y también se puede implementar un sistema de frenado para el malacate, haciendo la máquina más segura para su manejo.

En el módulo estructural se recomienda la consideración de frecuencia natural en el sistema de suspensión, dado que es apropiado un valor bajo de esta frecuencia, siendo el rango de 1 a 2 Hz, esto con el fin de mitigar las vibraciones en la máquina.

Figura 63. Rango de frecuencia natural en sistemas de suspensión



Fuente: MANTILLA NOVA, David. Diseño óptimo de resortes tipo ballesta para la suspensión de un vehículo comercial considerando las condiciones dinámicas. Tesis de investigación. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2014. p. 51.

Se recomienda realizar el cálculo de las juntas apernadas y soldadas con más carga, para así desarrollar un diseño más completo y seguro en la estructura. También por condiciones de seguridad es absolutamente necesario el uso de guardas de seguridad para la transmisión de potencia por correas puesto que a la hora de trabajar la maquina lo más importante es la integridad y bienestar de los operarios, dado que los operarios trabajaran muy cerca al motor y a la transmisión por correas ⁵⁴. Es por esto que la maquina también puede tener la adición de este sistema y posteriormente, también por salud se puede hacer un exhosto adicional al motor reduciendo de manera considerable el ruido y por lo tanto la contaminación de los gases hacia los operarios, siendo así un ambiente de trabajo agradable para quienes estén operando la máquina.

Se planteó hacia la empresa financiadora de la maquina la posibilidad de implementar un sistema hidráulico que es mucho más eficiente que el sistema mecánico implementado y su mantenimiento preventivo; es, en pocas palabras, más

⁵⁴ ENFOQUE RIM. Guardas y capelos de seguridad en acrílico o en policarbonato. [En línea]. Guardas de seguridad para maquinaria. 2016. (Recuperado el 28 septiembre 2016). Disponible en: <http://www.rim.com.mx/enfoquerim/Seguridad/1/90963.html>.

complejo pero se obtiene una mayor durabilidad. También se sugiere hacer la llave de potencia para un menor esfuerzo de los operarios, considerando que los mandos hidráulicamente son de acción rápida y que este sistema quedaría más fácil de manejar y generaría un menor espacio de la estructura puesto que este mismo quedaba más pequeño; sin embargo, por cuestiones económicas, no se pudo llevar a cabo esta idea pues el precio a corto plazo sería mucho mayor y por esta razón se tomó el sistema mecánico. En este caso, para el sistema de transmisión se sugiere la implementación de una caja de velocidades, para así regular el movimiento en los actuadores de los sistemas en la unidad móvil.

Asimismo, si es posible por condiciones económicas, se pueden implementar amortiguadores hidráulicos para poder mejorar la condición de confort en el transporte, y un modelado de este sistema de suspensión mediante el software MATLAB, para un diseño adecuado.

BIBLIOGRAFÍA

AFICIONADOS A LA MECÁNICA. Componentes de la suspensión. [En línea]. Suspensión. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: <http://www.aficionadosalamecanica.net/suspension2.htm>.

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. Corte geológico llanos orientales. [En línea]. Open Round. 2010. (Recuperado el 02 octubre 2017). Disponible en: [http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Llanos%20\(pdf\)-Ronda%20Colombia%202010.pdf](http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Llanos%20(pdf)-Ronda%20Colombia%202010.pdf).

ANGULO, Alberto. Mantenimiento reductores de velocidad. Elementos de máquinas 14, Bogotá: Metalmecánica. SENA. 2013. p. 5.

CARR. Catálogo de reductores industriales serie BS Radicon. [En línea]. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: <http://www.carr.cl/subcat/3#27>.

CETEPI. Programa de Entrenamiento Acelerado para Ingenieros Supervisores de Pozo. [En línea]. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: <https://es.slideshare.net/grupocetepicetepi/diseo-de-sarta-de-perforacin-cetepi>.

CHAUSTRE RUIZ, Andrés Javier. ROJAS DÍAZ, Fabián Alexis. Diseño de una herramienta de cálculo para seleccionar el taladro para un programa integral de

perforación. Trabajo de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. 2011. p. 76.

CONDUSTRIAL. Información Motor Ecohorse KD292F. [En línea]. Motores – Motor Diesel. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: <http://www.condustrial.com.co/motores-a-gasolina-motores-diesel-motores-electricos-motores-estacionarios-condustrial/343-motor-diesel-ecohorse-kd292f.html>.

CRANE. Propiedades físicas de algunos fluidos y características del flujo en válvulas, accesorios y tuberías. Apéndice A. p. A43, B21.

DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. Manual de geología para ingenieros. Capítulo 12 – Macizo Rocosó. Manizales: Universidad Nacional de Colombia, 2016. p. 273.

ECOPETROL. Manual de Operaciones de Perforación, Versión 1. Departamento de Perforación, Colombia, 1994, Inciso 3.6.6.

ENFOQUE RIM. Guardas y capelos de seguridad en acrílico o en policarbonato. [En línea]. Guardas de seguridad para maquinaria. 2016. (Recuperado el 28 septiembre 2016). Disponible en: <http://www.rim.com.mx/enfoquerim/Seguridad/1/90963.html>.

FERNANDEZ MÜLLER, Euclides Andrés. Verificación del proceso de selección de un taladro de perforación. Informe de Pasantía. Sartenejas: Universidad Simón Bolívar. 2012. p. 14.

FRANCISCO PETRICIO - ACERO. Cañerías de acero Norma ASTM 106 Grado B Schedule 80 (Sin Costura). [En línea]. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: <https://es.slideshare.net/BnJmN/acero-2952984>.

GARCÍA CARO, Jaime. Estructura y modelo de control de costos para una empresa dedicada a la perforación, mantenimiento y reacondicionamiento de pozos de hidrocarburos. Contabilidad de Costos (Amparo Ayuso Et All, 2011). Bogotá: CESA. 2014. p. 18.

GLOBAL MOTOR S.A. Motores Antor Diesel. [En línea]. 2016. (Recuperado el 20 octubre 2017). Disponible en: <http://globalmotor.com.co/wp-content/uploads/2015/09/motores-diesel-antor.pdf>.

GOBERNACIÓN DE CASANARE. Agropecuaria. [En línea] Yopal: Casanare Nuestro Departamento, Economía. 2016. (Recuperado el 28 septiembre 2016). Disponible en: <http://www.casanare.gov.co/?idcategoria=1227>.

IGNACIO GÓMEZ IHM S.A.S. Productos [En línea]. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: <http://www.igihm.com/productos.php?id=1>.

INGEMECÁNICA. Correas de Transmisión, cálculo y diseño. [En línea]. Generalidades. (Recuperado el 28 septiembre 2016). Disponible en: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn121.html>.

KIPOR. Especificaciones Técnicas Kipor KM186F. [En línea]. (Recuperado el 20 octubre 2017). Disponible en: http://mayeca.com/media/PDF/Kipor/Motores/Ficha_tecnica_KM186F.pdf.

LIZCANO RUIZ, Henry. ZAFRA URREA, Geisson René. Ajuste de las curvas de operación de las bombas del sistema de levantamiento electrosumergible por viscosidad y densidad en presencia de un crudo extra pesado. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2014.

MANTILLA NOVA, David. Diseño óptimo de resortes tipo ballesta para la suspensión de un vehículo comercial considerando las condiciones dinámicas. Tesis de investigación. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2014. p. 32.

MARTIN. Transmisión por bandas. [En línea]. Catálogo. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: [http://www.martinsprocket.com/docs//catalogs/power%20transmission/6_sheaves%20catalog/poleas-para-banda-v-de-martin-\(martin-v-belt-sheaves\).pdf](http://www.martinsprocket.com/docs//catalogs/power%20transmission/6_sheaves%20catalog/poleas-para-banda-v-de-martin-(martin-v-belt-sheaves).pdf).

MORA FERNÁNDEZ, Carolina, *et al.* Geología, geomorfología, clima y vegetación. [En línea]. Universidad Nacional de Colombia. Capítulo segundo: El medio natural: los llanos de Casanare y área de estudio. 2011. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/264555369>.

ONU. 17 objetivos para transformar nuestro mundo. [En línea]. Objetivos de desarrollo sostenible. 2016. (Recuperado el 28 septiembre 2016). Disponible en: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

PLATAFORMA E-DUCATIVA ARAGONESA. 3.4. Puente trasero y diferencial. [En línea]. Tema 1. El automóvil. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: http://e-educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4935/html/34_puente_trasero_y_diferencial.html.

Precision Universal Joint. Catálogo RXXPREC07 – CRUCETAS. FEDERAL MOGUL, 2008.

ROJAS ARENAS, Carlos. Casanare, reorienta su economía frente a crisis petrolera. [En línea]. Bogotá D.C.: Información y Prensa ACIEM Cundinamarca. 2015. (Recuperado el 28 septiembre 2016). Disponible en: www.aciem.org/home/index.php/capitulo-huila/39-aciem/prensa/comunicados-y-pronunciamientos/13763-casanare-reorienta-su-economia-frente-a-crisis-petrolera.

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN Y CULTURA, DEPARTAMENTO DE CASANARE. Caracterización de la población menor de 5 años en Casanare. En: Plan de Atención Integral a la primera infancia “Educar sin Maltratar”. Yopal, 2009. p. 20.

SENA. Operación y Mantenimiento de Pozos Profundos para Acueductos. [Base de datos en línea]. 1990. Convenio DNP – Cenagua, p. 27. (Recuperado el 28 septiembre 2016). Disponible en: repositorio.sena.edu.co/sitios/calidad_del_agua/operacion_pozos/index.html#.

SKF. Universal Joints/Crucetas/Joints de cardan. [En línea]. 2016. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: <http://www.skf.com/binary/81-278360/457585.pdf>.

SOCIEDAD DE INGENIEROS DE CASANARE. Informe Mensual, Convenio de Cooperación Nro. 225 de 2009. Gobernación de Casanare, Yopal, Julio de 2009.

STECKERL HIERROS Y ACEROS S.A., Catálogo de aceros. Capítulo cuarto – Tubería de acero. Barranquilla: 2011. p. 51.

SUZUKI88. Especificaciones Técnicas Suzuki Lj80. [En línea]. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: <http://suzuki88.webcindario.com/LJ-prueba.htm>.

VELOZA FRANCO, Jairo Alfredo; MORALES ARIAS, Carlos Julio. Estudio hidrogeológico e hidrogeoquímico en el municipio de Maní departamento de Casanare. Boletín de Geología, Ingeominas, Maní, 2009. p. 75.

WIKIPEDIA. Isuzu/Chevrolet LUV. [En línea]. 2017. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Isuzu/Chevrolet_LUV.

ANEXOS

ANEXO A. CÁLCULOS

POTENCIA REQUERIDA EN EL SISTEMA DE ELEVACION DE LA SARTA DE PERFORACIÓN

CÁLCULO DEL PESO TOTAL DE LA SARTA DE PERFORACIÓN		
Peso total de la tubería según longitud máxima	$W_{\text{total tubería}} = m_{\text{tubo pie}} * L_{\text{tubería}}$	<i>W_{total,tubería} = Peso total de la tubería sin demás elementos de la sarta [lb]</i> <i>m_{tubo, pie} = Densidad lineal de la tubería de acero SCH 80 [lb/pie]</i> <i>L_{tubería} = Longitud de tubería [pie]</i>
Factor de Bouyanza de sarta de perforación	$BF = 1 - (\rho_{\text{fluido ppg}} * 0,015)$	<i>Rho_{fluido, ppg} = Densidad del fluido de perforación a utilizar [lb/gal]</i> <i>BF = Factor de boyanza de la sarta de perforación</i>
Peso total del top drive	$W_{\text{top drive}} = W_{\text{swivel}} + W_{\text{kelly}}$	<i>W_{top, drive} = Peso total de la junta y el vástago de perforación [lb]</i> <i>W_{swivel} = Peso de la junta de perforación [lb]</i> <i>W_{kelly} = Peso del vástago de perforación [lb]</i>
Peso total de la sarta de perforación en el malacate en presencia de fluido en el pozo	$W_{\text{total tubería con fluido}} = (W_{\text{total tubería}} + W_{\text{broca}}) * BF + W_{\text{top drive}}$	<i>W_{total,tubería, con fluido} = Peso total de la sarta en presencia del fluido en el pozo [lb]</i> <i>W_{broca} = Peso de la broca de la sarta [lb]</i> <i>W_{kelly} = Peso del vástago de perforación [lb]</i>
Peso total de la sarta de perforación en el malacate en ausencia de fluido en el pozo	$W_{\text{total soporte malacate}} = W_{\text{total tubería}} + W_{\text{broca}} + W_{\text{top drive}}$	<i>W_{total, soporte, malacate} = Peso total de la sarta en condición de ausencia de fluido en el pozo [lb]</i>

CÁLCULO DE LAS ENERGÍAS PRESENTES EN EL MALACATE		
Energía rotacional en el malacate	$E_r = (1,7 * 10^{-4}) * (WK^2) * \text{rpm}^2$	<i>E_r = Energía cinética rotacional en el malacate [lb.ft]</i> <i>WK² = Inercia rotacional en el malacate [slug.ft²]</i> <i>rpm = Velocidad angular del malacate [rpm]</i>
Energía cinética en el malacate	$E_c = \left(\frac{1}{2}\right) * \left(\frac{W_{\text{total soporte malacate}}}{G}\right) * V_f^2$	<i>E_c = Energía cinética en la sarta de perforación [lb.ft]</i> <i>G = Gravedad [ft/s²]</i> <i>V_i = Velocidad de elevación de la sarta en estado estable [rpm]</i>
Energía potencial en el malacate	$E_p = W_{\text{total soporte malacate}} * H$	<i>E_p = Energía potencial en la sarta de perforación [lb.ft]</i> <i>H = Altura requerida para el estado transitorio [ft]</i>

Relación de energías en el malacate	$E_r = E_c + E_p$	
--	-------------------	--

ECUACIONES DE CINEMÁTICA PARA EL MOVIMIENTO DEL MALACATE		
Componente de velocidad	$V_f = \text{acel} * T$	<i>acel = Aceleración presente en la sarta de perforación [ft/s²] T = Tiempo de vencimiento de inercia [s]</i>
Componente de posición	$H = \left(\frac{1}{2}\right) * \text{acel} * T^2$	
Relación con velocidad angular	$V_f = \omega * R$	<i>ω = Velocidad angular del malacate [rad/s] R = Radio del malacate [ft]</i>

CÁLCULO DE LA POTENCIA DESARROLLADA POR EL MALACATE		
Torque desarrollado	$\text{Torque} = \frac{WK^2 * \text{rpm}}{308 * T}$	<i>Torque = Torque desarrollado en el malacate [lb/ft]</i>
Potencia desarrollada	$HP_{\text{izamiento transitorio}} = \frac{\text{Torque} * \text{rpm}}{5250}$	<i>HP_{izamiento,transitorio} = Potencia desarrollada en el malacate en estado transitorio [HP]</i>
Potencia de diseño	$Pot_{\text{admisible transitorio}} = \frac{HP_{\text{izamiento transitorio}}}{\eta_{\text{mec}} * \eta_{\text{bv}} * \eta_{\text{trans}} * E_F}$	<i>Pot_{admisible,transitorio} = Potencia de diseño en el malacate [HP] η_{mec} = Eficiencia mecánica desde el motor η_{bv} = Eficiencia en el bloque viajero η_{trans} = Eficiencia en la transmisión mecánica E_F = Eficiencia de las líneas de transmisión</i>

COMPROBACIÓN DE USO DE TUBERÍA PARA SARTA DE PERFORACIÓN DE ACERO SCH 80 DIAMETRO 2" SEGÚN CONDICIONES DE OPERACIÓN

VELOCIDADES DE ROTACIÓN CRÍTICAS PARA LA SARTA DE PERFORACIÓN		
Diámetro interno de la tubería	$d_{\text{int,tub}} = D_{\text{ext,tub}} - 2 * \text{espesor}$	<i>d_{int,tub} = Diámetro interno de tubería de acero SCH 80 [pulg] D_{ext,tub} = Diámetro externo de tubería de acero SCH 80 [pulg] espesor = espesor de la tubería usada en la sarta [pulg]</i>
Velocidad angular	$\text{rpm}_{\text{rotaria longitudinal}} = \frac{258000}{L_{\text{tuberia}}}$	<i>rpm_{rotaria,longitudinal} = velocidad crítica de rotación de la sarta en el aspecto longitudinal [rpm]</i>

crítica en consideración longitudinal		
Velocidad angular crítica en consideración transversal	$rpm_{rotaria,transversal} = \left(\frac{4760000}{L_{junta,in} ** 2} \right) * \text{sqrt}(D_{ext,tub} ** 2 + d_{int,tub} * 2)$	$rpm_{rotaria,transversal}$ = velocidad crítica de rotación de la sarta en el aspecto transversal [rpm] $L_{junta,in}$ = Longitud de la junta o tramo de la tubería en la sarta [in]

ANÁLISIS DE ESFUERZO Y DEFORMACIÓN EN LA SARTA DE PERFORACIÓN

Área de la sección transversal de la tubería	$A_{transv} = \left(\frac{\pi}{4} \right) * (D_{ext,tub}^2 - d_{int,tub}^2)$	A_{transv} = Área de la sección transversal de la tubería [in ²]
Resistencia a la cedencia de la tubería	$P_t = \text{Lim}_{fluencia,tub} * A_{transv}$	P_t = carga máxima posible en la tubería [lb] $\text{Lim}_{fluencia,tub}$ = límite de fluencia del acero utilizado (SCH 80) [psi]
Máxima carga de tensión por diseño	$P_a = P_t * 0,9$	P_a = carga máxima posible en la tubería en condición de diseño [lb]
Margen de Overpull (MOP)	$\text{MOP} = P_a - (W_{total,tubería} + W_{broca})$	MOP = Margen de Overpull [lb]
Factor de Seguridad de la tubería en condición de tensión	$F_s = \frac{P_a}{W_{total,tubería} + W_{broca}}$	F_s = Factor de seguridad para la sarta en condición de tensión
Longitud de tubería admisible por tensión	$L_{tubería,adm} = \frac{P_a}{F_s * m_{tubo,pie}}$	$L_{tubería,adm}$ = Longitud de tubería admisible después del hallazgo del factor de seguridad [ft]

ANÁLISIS DE TENSIÓN POR CRITERIO DE CUÑAS – SLIP CRUSHING

Longitud de tubería admisible por criterio de cuñas	$L_{tubería,adm,sc} = \frac{P_a}{\text{Relación}_{RS} * m_{tubo,pie} * BF}$	$L_{tubería,adm,sc}$ = Longitud de tubería admisible bajo el criterio de cuñas [lb] Relación_{RS} = Relación Reinhold – Spini
--	---	---

ANÁLISIS DE COLAPSO POR PRESIÓN INTERNA DEBIDO AL FLUIDO		
Presión diferencial máxima	$\Delta P = \frac{L_{\text{tubería}} * \rho_{\text{fluido}}}{144}$	<i>Delta_p</i> = Diferencial de presión presente en la tubería [psi] <i>rho_{fluido,lb,ft3}</i> = Densidad del lodo de perforación [lb/ft ³] <i>L_{tubería}</i> = Longitud de tubería [pie]
Factor de seguridad por presión en la tubería	$FS_{\text{presión tubería}} = \frac{P_{\text{max tubería}}}{\Delta P}$	<i>FS_{presión,tubería}</i> = Factor de seguridad para la sarta de perforación <i>P_{max,tubería}</i> = Presión máxima admisible en la tubería
Velocidad angular crítica en consideración transversal	$FS_{\text{presión manguera}} = \frac{P_{\text{max manguera}}}{\Delta P}$	<i>FS_{presión,manguera}</i> = Factor de seguridad para la manguera en el sistema de circulación <i>P_{max,tubería}</i> = Presión máxima admisible en la manguera

ADICIÓN DE LAS FUERZAS DE TENSIÓN PRODUCTO DE LAS CARGAS POR CHOQUE		
Fuerzas de tensión por cargas de choque	$F_{\text{schoque}} = 3200 * m_{\text{tubo pie}}$	<i>F_{s,choque}</i> = Fuerzas de tensión por cargas de impacto [lb]

CÁLCULO DE LA TORSIÓN MÁXIMA Y POTENCIA ADMISIBLE EN LA SARTA DE PERFORACIÓN		
Límite de fluencia de la tubería en torsión	$\text{Lim}_{\text{fluencia tub mod}} = \frac{\text{Lim}_{\text{fluencia tub}}}{2}$	<i>Lim_{fluencia,tub,mod}</i> = Limite de la fluencia en condición de torsión de la tubería [psi]
Momento de inercia polar	$J = \left(\frac{\pi}{32}\right) * (D_{\text{ext tub}}^4 - d_{\text{int tub}}^4)$	<i>J</i> = Momento de inercia polar desde la geometría [in ⁴]
Resistencia a la fluencia por torsión pura	$Q = \frac{0,096167 * J * \text{Lim}_{\text{fluencia tub mod}}}{D_{\text{ext tub}}}$	<i>Q</i> = Torque máximo por condición de torsión pura [lb.in]
Resistencia a la fluencia por torsión y tensión	$Q_t = \left(\frac{0,096167 * J}{D_{\text{ext tub}}}\right) * \sqrt{\text{Lim}_{\text{fluencia tub mod}}^2 - \left(\frac{W_{\text{total tubería}} + W_{\text{broca}}}{A_{\text{transv}}}\right)^2}$	<i>Q_t</i> = Torque máximo por condición de torsión y tensión [lb.in]
Torque máximo	$\text{torque}_{\text{admitido}} = 0,8 * Q_t$	<i>Torque_{admitido}</i> = Torque máximo posible previo al diseño [lb.in]

presente en la tubería		
Torque de diseño aplicado a la tubería	$\text{torque}_{adm} = 0,6 * \text{torque}_{admitido}$	<i>Torque_{e,adm} = Torque de diseño aplicado a la tubería [lb.in]</i>
Potencia desarrollada en la mesa rotaria	$HP_{rotariaadmisibile} = \frac{\text{torque}_{trabajo} * \text{rpm}_{trabajo}}{5250}$	<i>HP_{rotaria,admisibile} = Potencia desarrollada en la mesa rotaria bajo torque de diseño [HP] Rpm_{trabajo} = velocidad de la mesa rotaria de acuerdo a la formación geológica [rpm]</i>

ELONGACIÓN DE LA TUBERÍA DEBIDO AL PESO SOPORTADO		
Elongación de la tubería debida a su propio peso	$e_2 = \left(L_{tuberia} ** \frac{2}{72E7} \right) * \left(489,5 - \left(1,44 * \text{rho}_{fluido} \text{lbft}^3 \right) \right)$	<i>e₂ = Elongación de la tubería debida a su propio peso [in]</i>

HALLAZGO DE LAS CARGAS DINÁMICAS		
Eficiencia de las líneas en el bloque viajero	$E_F = \frac{K * (1 - K^{N_{lineas}})}{N_{lineas} * (1 - K)}$	<i>E_F = Eficiencia de las líneas del sistema de elevación K = Eficiencia de una sola línea N_{línea} = Número de líneas</i>
Carga dinámica de la línea rápida	$FL_d = \frac{W_{totaltuberia} + W_{broca}}{N_{lineas} * E_F}$	<i>FL_d = Carga dinámica de la línea rápida [lb]</i>
Carga dinámica de la línea muerta	$DL_d = \frac{(W_{totaltuberia} + W_{broca}) * K^{N_{lineas}}}{N_{lineas} * E_F}$	<i>DL_d = Carga dinámica de la línea muerta [lb]</i>
Carga dinámica sobre la corona de la torre	$CL_d = (W_{totaltuberia} + W_{broca}) + FL_d + DL_d$	<i>CL_d = Carga dinámica sobre la corona de la torre [lb]</i>

HALLAZGO DE LAS CARGAS ESTÁTICAS		
Carga estática de la línea rápida	$FL_e = \frac{W_{totaltuberia} + W_{broca}}{N_{lineas}}$	<i>FL_e = Carga estática de la línea rápida [lb]</i>

Carga estática de la línea muerta	$DL_e = \frac{W_{total\text{tubería}} + W_{broca}}{N_{lineas}}$	$DL_e =$ Carga estática de la línea muerta [lb]
Carga estática sobre la corona de la torre	$CL_e = \frac{(W_{total\text{tubería}} + W_{broca}) * (N_{lineas} + 2)}{N_{lineas}}$	$CL_e =$ Carga estática sobre la corona de la torre [lb]

COMPROBACIÓN DE SELECCIÓN DE MOTORES MEDIANTE ANALISIS DE COSTOS EN CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Consumo específico de combustible	$sfc_{katsupower} = \frac{m_{fuel_k}}{Pot_{motor_{kw}}}$	$sfc_{katsupower} =$ consumo específico de combustible del motor [g/kw-h] $m_{fuel,k} =$ Consumo máxico de combustible [g/h] $Pot_{motor,kw} =$ Potencia del motor diesel [Kw]
Densidad del Diesel	$\rho_{diesel} = \text{density}(\text{Diesel\#2}; T = 25)$	$\rho_{diesel} =$ Densidad del diesel a temperatura determinada [kg/m ³]
Densidad del Diesel en función del flujo máxico	$\rho_{diesel} = \frac{m_{fuel_k}}{vol_{dotfuel}}$	$Vol_{dotfuel} =$ Flujo volumétrico del combustible [l/h]
Costo del Diesel por hora	$costo_{diesel\text{hora}_{actual}} = vol_{dotactual} * C_{diesel}$	$Costo_{diesel,hora,actual} =$ Costo del consumo de combustible en el motor [pesos/hora]

CÁLCULO PARA LA SELECCIÓN DE LA SUSPENSIÓN EN LA ESTRUCTURA

Frecuencia natural en la configuración de la suspensión	$f_n = \left(\frac{1}{2 * \pi} \right) * \sqrt{\left(\frac{K_{suspension}}{\frac{M_{susp}}{9,81}} \right)}$	$f_n =$ Frecuencia natural presente en el subsistema de suspensión [Hertz] $K_{suspension} =$ Constante del subsistema de suspensión [N/m] $M_{susp} =$ Masa del subsistema de suspensión [Kg]
Constante del subsistema de suspensión	$K_{suspension} = \frac{K_s * K_t}{K_s + K_t}$	$K_s =$ Constante del resorte en el subsistema [N/m] $K_t =$ Constante de la llanta en el subsistema [N/m]
Constante de los resortes de hoja desde dimensiones	$K_s = \frac{8 * E_{rigidez} * n_{hojas} * ancho_{hojas} * e_{hojas}}{3 * Long^3}$	$E_{rigidez} =$ Módulo de rigidez del material del resorte [Pa] $n_{hojas} =$ número de hojas en el resorte $ancho_{hojas} =$ ancho de hoja en el resorte [m] $e_{hojas} =$ espesor de hoja en el resorte [m] $Long =$ longitud de la hoja más larga en el resorte [m]

TRANSMISIÓN DE POTENCIA POR CORREAS

Diámetro primitivo polea conducida	$D_p = D_e - 2 * j$	<i>D_p</i> = Diámetro primitivo polea conducida [mm] <i>D_e</i> = Diámetro exterior polea conducida [mm] <i>j</i> = Factor "j"
Diámetro primitivo polea conductora	$d_p = d_e - 2 * j$	<i>d_p</i> = Diámetro primitivo polea conductora [mm] <i>d_e</i> = Diámetro exterior polea conductora [mm] <i>j</i> = Factor "j"
RELACIÓN DE TRANSMISIÓN		
Relación de Transmisión	$i = \frac{D_p}{d_p} = \frac{N1}{N2}$	<i>N1</i> = Revoluciones del motor conducido [rpm] <i>N2</i> = Revoluciones del motor conductor [rpm] <i>i</i> = relación de transmisión
POTENCIA DEL PROYECTO		
Potencia del proyecto	$Pot_{proy} = N_{sf} * Pot_{trans}$	<i>Pot_{proy}</i> = Potencia del proyecto [HP] <i>Pot_{trans}</i> = Potencia a transmitir [HP] <i>N_{sf}</i> = Factor de servicio
LONGITUD DE LA CORREA		
Distancia entre centros	$D_{centro} = \left(\frac{D_p + d_p}{2} \right) + d_p$ Ó $D_{centro} = D_p$	<i>D_{centro}</i> = Distancia entre centros de ambas poleas [mm] NOTA : Se escoge el mayor
Longitud de la correa	$L = \left(1,57 * (D_p + d_p) \right) + 2 * D_{centro} + \frac{(D_p - d_p)^2}{4 * D_{centro}}$	<i>L</i> = Longitud de la correa [mm]

CORREAS NECESARIAS		
Potencia nominal real	$Pot_{nominalreal} = Pot_{nominal} * F_{corrección}$	<p>$Pot_{nominalreal}$ = Potencia nominal corregida [HP] $Pot_{nominal}$ = Potencia nominal que ejerce cada canal o cada banda [HP] $F_{corrección}$ = Factor de corrección por longitud y arco</p>
Número de correas	$N^{\circ}_{correas} = \frac{Pot_{proy}}{Pot_{nominalreal}}$	$N^{\circ}_{correas}$ = Número de correas necesarias en la transmisión de potencia

SELECCIÓN DE EJES

Geometría	$\tan(\theta) = \frac{r_2 - r_1}{D_{centro}}$	<p>$\tan(\theta)$ = ángulo para determinar el valor de las fuerzas en la banda de las poleas r_1 = Radio de la polea menor [pulg] r_2 = Radio de la polea mayor [pulg]</p>
Potencia a Transmitir	$HP_{transm} = Torque * \frac{rpm}{63000}$	<p>HP_{transm} = Potencia transmitida [HP] Torque = Torque transmitido en el elemento rotativo [lb*pulg] rpm = velocidad el revoluciones por minuto a la que gira el elemento [rpm]</p> <p>NOTA: El valor de 63000 es una conversión para dejar el torque transmitido en [lb*pulg] si se quieren cambiar las unidades cambia este valor.</p>

ANÁLISIS DE FUERZAS EN LA TRANSMISIÓN DE POTENCIA POR CORREAS

Relación de fuerzas con torque	$F_1 - F_2 = 2 * \frac{Torque}{D_1}$	<p>F_1 = Fuerza que dirige el movimiento (fuerza mayor) [lb] F_2 = Fuerza menor [lb] D_1 = Diámetro de la polea que esta sobre el eje que se está seleccionando en este caso la polea menor [pulg]</p>
Relación de fuerzas	$F_1 = 5 * F_2$	
Fuerza resultante eje Y	$F_{CY} = (F_2 - F_1) * \sin(\theta)$	

Fuerza resultante eje Z	$F_{CZ} = (F_1 + F_2) * \cos(\theta)$	
ANÁLISIS ESTÁTICO		
Sumatoria de momentos	$\sum \text{Momentos} = 0$	Sumatoria de momentos en un punto donde se encuentre un apoyo y se hace para ambos ejes (Eje Y y Eje Z) NOTA: No hay fuerzas axiales en este caso (Eje X)
Sumatoria de Fuerzas	$\sum \text{Fuerzas} = 0$	Sumatoria de fuerzas en ambos ejes (Eje Y y Eje Z)
ECUACIÓN GENERAL PARA EL DIAMETRO MÍNIMO DEL EJE		
Momento alterno	$M_{alt} = \text{sqrt} (M_{alt_z}^2 + M_{alt_y}^2)$	M_{alt} = Momento alterno hallado de la sección crítica [lb*pulg] M_{alt_z} = Momento alterno del eje Z hallado de la sección crítica [lb*pulg] M_{alt_y} = Momento alterno del eje Y hallado de la sección crítica [lb*pulg] NOTA: La sección crítica se halla mediante los diagramas de cortante y momento flector.
	$q = \frac{1}{1 + \text{sqrt} \left(\frac{A}{R_{\text{redondeo}}} \right)}$ $K_f = 1 + q * (K_t - 1)$	
Esfuerzo por fatiga	$C_s = 0,869 * D^{-0,097} \text{ min.}$ $C_{sup} = 2,7 * \left(\frac{S_{ut}}{1000} \right)^{-0,265}$ $S_e = 0,5 * S_{ut} * C_s * C_c * C_L * C_{sup}$	C_s = Factor de tamaño comprendido entre 0,3 y 10 pulgadas C_{sup} = Factor de superficie debido a mecanizado S_e = Esfuerzo por fatiga modificado S_{ut} = Esfuerzo último de tensión C_c = Factor de confiabilidad C_L = Factor sometido a carga

Ecuación general para el diámetro mínimo del Eje	$1 = \left(K_f \left(\frac{32 * M_{alt}}{\pi (D_{min})^3} \right) * \left(\frac{N_f}{S_e} \right) \right)^2 + \left(K_{fsm} \left(\frac{16 * Torque_{alterno}}{\pi (D_{min})^3} \right) * \left(\frac{N_f * \sqrt{3}}{S_y} \right) \right)^2$	<p>N_f = Factor de seguridad D_{min} = Diámetro mínimo del eje según esfuerzo por fatiga [pulg] $Torque_{alterno}$ = Torque alterno hallado de la sección crítica [lb*pulg]</p>
---	---	--

SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

Vida nominal básica	$L_{10h} = 500 * (f_n)^3$	L_{10h} = Vida nominal básica 10^6 revoluciones F_n = Factor de vida $L_{10h} = 12000$ "Valor sacado del catálogo NTN para rodamientos de bolas y rodillos"
Factor de velocidad	$f_n = \left(\frac{33,3}{rpm} \right)^{\frac{1}{3}}$	F_n = Factor de velocidad rpm = velocidad en revoluciones por minuto a la que gira el elemento [rpm]
Carga dinámica equivalente	$P_{equiv} = P_{radial_{rod}} * R_{rotación}$	P_{equiv} = Carga dinámica equivalente [N] $P_{radial_{rod}}$ = Carga resultante ejercida en el rodamiento $R_{rotación}$ = Rotación de pista interna
Carga dinámica equivalente corregida	$P_{equiv2} = P_{equiv} * Factor_{correa}$	P_{equiv2} = Carga dinámica equivalente corregida $Factor_{correa}$ = Factor de corrección tipo V que está en el rango de [1.5 - 2] "Valor sacado del catálogo NTN para rodamientos de bolas y rodillos"
Carga resultante ejercida en el rodamiento	$P_{radial_{rod}} = \sqrt{R_y^2 + R_z^2}$	R_y = Reacción comprendida en el eje Y [N] R_z = Reacción comprendida en el eje Z [N]
Capacidad básica de carga dinámica	$C_{din} = P_{equiv2} * \frac{f_n}{f_h}$	C_{din} = Capacidad básica de carga dinámica [N]

SISTEMA DE CIRCULACIÓN Y BOMBA DE LODOS

ANÁLISIS DE PÉRDIDA DE CARGA EN TUBERÍAS.		
Ecuación de pérdida de carga en el tramo interno de la sarta	$H_b = H_{bomba} + 101 - K_{tubo} * Q_{m3s}^2$	<i>H_b</i> = Altura manométrica en el punto de la broca [m] <i>H_{bomba}</i> = Altura manométrica necesaria en la bomba [m] <i>K_{tubo}</i> = Constante de pérdidas de cargas en la parte interna de la tubería <i>Q_{m3s}</i> = Caudal presente en la tubería [m ³ /s]
Ecuación de pérdida de carga en el tramo entre la sarta y el pozo	$H_b = \frac{V_{final}}{2 * 9,81} + 100 + K_{pozo} * Q_{m3s}^2 - \frac{V_b}{2 * 9,81}$	<i>V_{final}</i> = Velocidad del lodo en la superficie del pozo [m/s] <i>K_{pozo}</i> = Constante de pérdidas de cargas en la sección entre el pozo y la tubería <i>V_b</i> = Velocidad del lodo en la base del pozo [m/s]
Ecuación paramétrica de la bomba de lodos	$H_{Aguaft} = 207,01 + 0,6833 * Q_{agua_{gpm}} - 0,0049 * Q_{agua_{gpm}}^2$	<i>H_{Aguaft}</i> = Altura manométrica en la bomba [ft] <i>Q_{agua_{gpm}}</i> = Caudal de operación en la bomba [gpm]
Diámetro equivalente de la sección transversal del pozo	$A_{transv_{pozo}} = \left(\frac{\pi}{4}\right) * (D_{iCp})^2$	<i>A_{transv_{pozo}}</i> = Área de la sección transversal entre el pozo y la sarta [m ²]. <i>D_{iCp}</i> = Diámetro equivalente de la sección transversal [m]
Velocidad del flujo en función del caudal y el área transversal	$V_b = \frac{4 * Q_{m3s}}{\pi * D_{iCp}^2}$	
Constante de pérdidas de carga en tuberías	$K_{pozo} = 0,0826 * f_{pozo} * \frac{L_{tuberiam}}{D_{iCp}}$	<i>L_{tuberiam}</i> = Longitud de la sarta de perforación [m]. <i>f_{pozo}</i> = Factor de fricción de la tubería
Número de Reynolds en la tubería	$N_{re_{pozo}} = \frac{D_{iCp} * V_{final} * \rho_{fluidom3s}}{\mu_{pozo_w}}$	<i>N_{re_{pozo}}</i> = N° de Reynolds en la tubería <i>ρ_{fluidom3s}</i> = Densidad del agua [Kg/m ³] <i>μ_{pozo_w}</i> = Viscosidad del agua [Kg/m.s]
Ecuación de Colebrook - White	$\frac{1}{(\sqrt{f_{pozo}})} = -2 * \log_{10} \left(\frac{e_m}{3,71 * D_{iCp}} + \left(\frac{2,51}{N_{re_{pozo}} * \sqrt{f_{pozo}}} \right) \right)$	<i>e_m</i> = rugosidad de la tubería [m]

<p>FACTORES DE CORRECCIÓN DE VISCOSIDAD</p>	$C_H = \frac{H_{vis}}{H_w}$ $C_Q = \frac{Q_{vis}}{Q_w}$ $C_n = \frac{\eta_{a_{vis}}}{\eta_{a_w}}$	<p>C_H = Factor de corrección de la cabeza H_{vis} = La cabeza cuando se bombea un líquido viscoso [ft] H_w = Cabeza total cuando se bombea Agua [ft] C_Q = Factor de corrección del caudal Q_{vis} = Caudal cuando se bombea un líquido viscoso [gpm] Q_w = Caudal de flujo cuando se bombea agua [gpm] C_n = Factor de corrección de la eficiencia $\eta_{a_{vis}}$ = Eficiencia cuando se bombea un líquido viscoso η_{a_w} = Eficiencia de la bomba cuando se bombea agua</p>
<p>Parámetro usado en la corrección de viscosidad</p>	$B = 26,6 * \left(\frac{V_{vis}^{0,5} * H_{BEPW}^{0,0625}}{Q_{BEPW}^{0,375} * N^{0,25}} \right)$	<p>$B = B$ es usado como una normalización del número Reynolds de la bomba y ajusta la corrección en la velocidad específica de la Bomba. V_{vis} = Viscosidad cinemática del líquido bombeado [cSt] H_{BEP-W} = Total de cabeza a un caudal en el cual se encuentra la máxima eficiencia cuando la bomba opera con agua [ft] Q_{BEP-W} = Caudal en el cual está la máxima eficiencia de la bomba [gpm] N = Velocidad rotacional del eje de la bomba [rpm]</p>
<p>Si $B > 1.0$ y $B < 40$ entonces seguir las siguientes ecuaciones que se acercan a valores reales. Si $B > 40$, las siguientes ecuaciones no se aproximarán a los valores reales de forma confiable.</p>		
<p>Factor de corrección del caudal</p>	$C_Q = 2,71^{-0,165 * (\log_{10}(B))^{3,15}}$	

Total de cabeza a un caudal en su máxima eficiencia para la semejanza del líquido viscoso	$C_{BEP} \cdot H = C_Q$ $H_{BEP \cdot vis} = C_{BEP} \cdot H * H_w$	C_{BEP-H} = Factor de corrección de la cabeza aplicado al caudal en el máximo punto de eficiencia de la bomba para agua. $H_{BEP-vis}$ = Total de cabeza a un caudal en el cual se encuentra la máxima eficiencia cuando la bomba opera con un líquido viscoso.
Factor de corrección de la cabeza	$C_H = 1 * \left((1 - C_{BEP-H}) * \left(\frac{Q_w}{Q_{BEP-w}} \right)^{0,75} \right)$	
Factor de corrección de la eficiencia	$C_n = B^{-0,0547 * (B^{0,69})}$	
Si $B < 0 = 1.0$, usar $C_H = 1.0$ y $C_Q = 1.0$ Para $B < 0 = 1.0$, el factor de corrección se estima con la siguiente ecuación		
Factor de corrección de la eficiencia	$C_n = \frac{1 - \left((1 - n_{BEP-w}) * \left(\frac{V_{vis}}{V_w} \right)^{0,07} \right)}{n_{BEP-w}}$	n_{BEP-w} = Mejor eficiencia operando con agua. V_w = Viscosidad cinemática del agua de referencia de prueba [cst]

Ecuación para calcular el nuevo valor de la potencia requerida para el nuevo rendimiento:

Potencia requerida para el nuevo rendimiento con el fluido viscoso	$P_{vis} = \frac{Q_{vis} * H_{vis} * S}{3960 * n_{vis}}$	P_{vis} = La potencia requerida del eje de entrada por la bomba para las condiciones de viscosidad S = Gravedad específica del líquido bombeado.
---	--	---

SUMATORIA DE LA POTENCIA TOTAL PARA LA SELECCIÓN DEL MOTOR

Potencia total suministrada por el motor	$\text{Potencia}_{\text{total}} = \text{Pot}_{\text{admisibletansitorio}} + \text{HP}_{\text{rotariaadmisible}} + \text{HP}_{\text{bombalodos}}$	
---	--	--

CÁLCULO PARA LA SELECCIÓN DE EMBRAGUES HACIA LA MESA ROTARIA Y HACIA LA BOMBA DE LODOS

Potencia total suministrada en el eje	$HP = \frac{\text{Torque} * \text{rpm}}{5250}$	<i>HP = Potencia suministrada desde el eje motriz [HP] Torque = Torque presente en el eje motriz [lb.ft] rpm = velocidad angular en el eje motriz [rpm]</i>
Torque desarrollado en función de velocidad e inercia	$\text{Torque} = \frac{(wk2) * \text{rpm}}{308 * T}$	<i>wk2 = inercia rotacional en el eje motriz [slug.ft²] T = tiempo de vencimiento de inercia para llegar al estado estable [s]</i>
Energía cinética rotacional en el embrague	$E_r = (1,7 * 10^{-4}) * (wk2) * (\text{rpm})^2$	<i>E,r = Energía cinética rotacional presente en el embrague [lb.ft]</i>

ANEXO B. SELECCIÓN DE REDUCTOR DE VELOCIDAD BAJO CRITERIOS DE RADICON

Tabla: Especificaciones técnicas de los reductores de acuerdo a su relación de velocidades y su potencia de entrada.

Ratio and code i	Input speed	Output speed	Input power	Output torque	Efficiency η %	Thermal rating 1)		Overhung load Fr2 N
	n ₁ rpm	n ₂ rpm	P ₁ kW	T ₂ Nm		Shaft-mount kW	Shaft-mount kW	
7 (28/4) A	2860	409	27.3	607	95	20.0	24.1	6200
	1430	204	18.3	806	94	13.9	17.2	7600
	930	133	13.8	929	93	9.3	12.2	8900
	730	104	11.7	1006	93	7.4	10.0	9500
11.5 (46/4) B	2860	249	19.7	709	93	17.5	21.0	7500
	1430	124	12.5	891	93	11.8	14.6	9500
	930	81	9.4	1026	92	7.8	10.2	10900
	730	63	8.1	1111	91	6.2	8.4	11800
15.3 (46/3) C	2860	187	14.9	705	92	14.0	16.8	8900
	1430	93	10.0	936	91	9.4	11.6	11000
	930	61	7.6	1078	90	6.3	8.2	12700
	730	48	6.5	1167	90	5.0	6.7	13800
19.5 (39/2) D	2860	147	11.8	691	89	10.6	12.7	10300
	1430	73	7.9	912	88	7.2	9.0	12800
	930	48	6.0	1064	87	4.8	6.3	14800
	730	37	5.2	1155	87	3.8	5.2	15000

Fuente: CARR. Catálogo de reductores industriales serie BS Radicon. [En línea]. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: <http://www.carr.cl/subcat/3#27>.

Figura. Reductor Radicon con relación 20:1



ANEXO C. INFORMACIÓN TÉCNICA ACERCA DE BOMBA DE LODOS IHM 30A-L2

Tabla: Información técnica bomba IHM eje libre 30A-L2

30A-L2

Referencia:63073000A2

Información Técnica

Conexión succión	3" NPT
Conexión descarga	3" NPT
Altura (ADT) Max	83 m
Caudal Max	195 GPM
Caudal medio	130 GPM
Altura media	80 m
Motor	Eje libre
Potencia	Hasta 20 HP
Velocidad	3500 RPM
Peso	43 Kg
Dimensiones	0.54/0.35/0.38 Mts

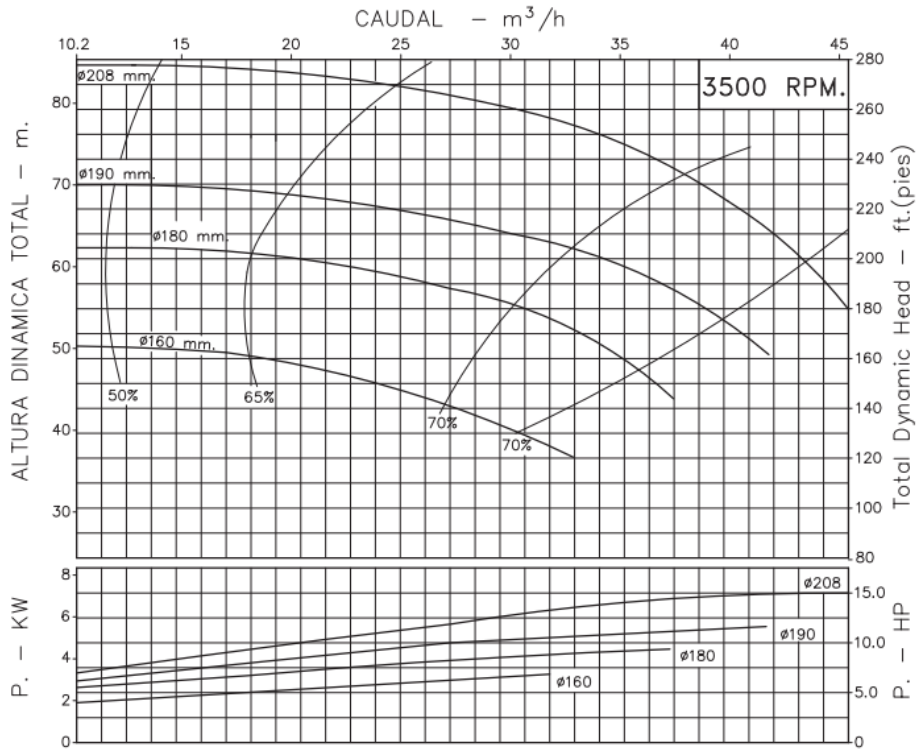
Fuente: <http://www.igihm.com/productos.php?id=1>

Tabla: Información técnica bombas IHM tipo Hy-flo

Modelo bomba	Diametro Rotor mm	Suc x Des.	HP
15AQ-L1	140	1.1/2"	2
	165		4
	171		6
20A-L2	160	2"	6
	180		7.5
30A-L2	190	3"	10
	208		15
40A-L2	128	4"x3"	5
	138		7.5
	145		10
	157		15
15HH-L2	160	1.1/2"	
	180		
20HH-L2	195	2"	
	160		

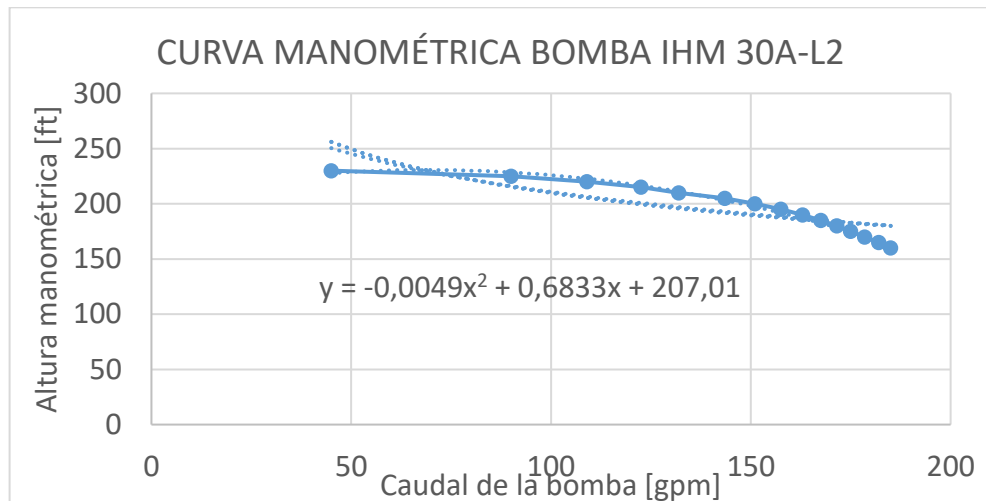
Fuente: <http://www.igihm.com/productos.php?id=1>

Figura: Curva de presión bomba IHM 30A-L2 Impulsor 190 mm.



Fuente: <http://www.igihm.com/productos.php?id=1>

Figura: Curva de presión bomba IHM 30A-L2 Impulsor 190 [mm].



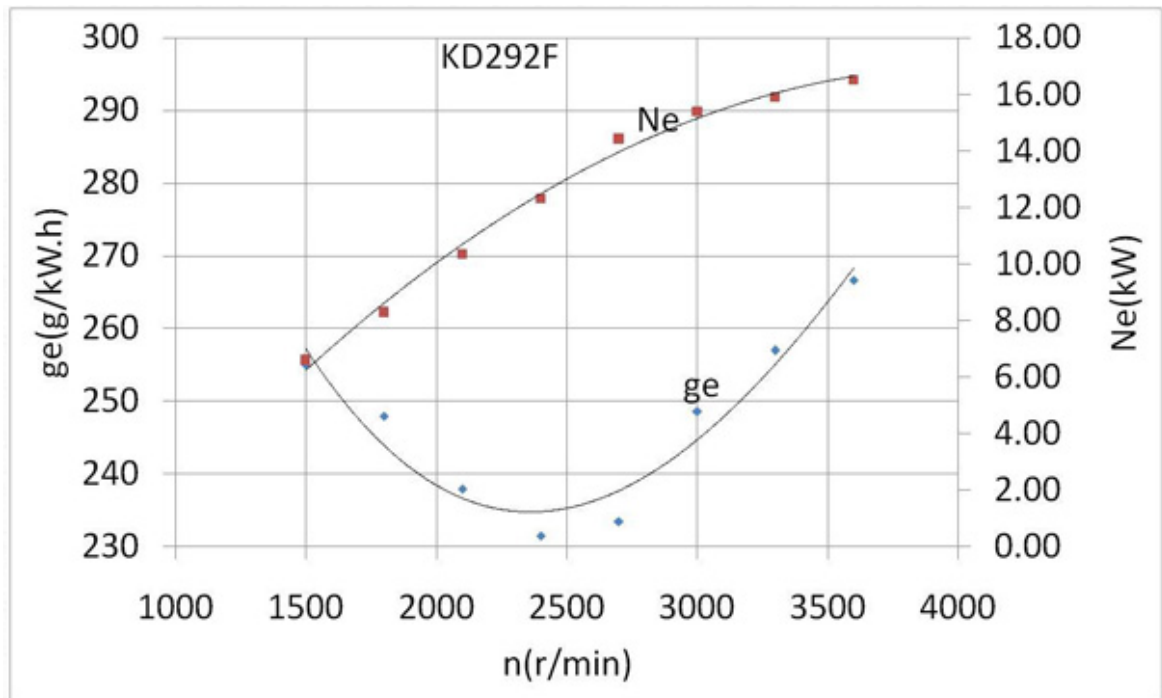
ANEXO D. INFORMACIÓN MOTOR KOOP CHINA KD292F

Tabla. Especificaciones técnicas del motor.

Características	Unidad		
Modelo		KD292F	
Diseño del motor		Motor diesel de 4 tiempos, refrigerado por aire, 2 cilindros en línea	
Tipo de inyección		Inyección directa	
Diámetro x carrera	mm	92 x 75	
Cilindrada	cm ³	997	
Potencia máxima	kw / rpm (hp / rpm)	16.5 / 3600 (22.1 / 3600)	
Capacidad de aceite (máxima / mínima)	Lts	2.75 / 1.80	
Relación de compresión		20.5 : 1	
Presión de aceite	mínima	1 bar (14.5 psi) a 900 rpm	
Consumo de aceite (pasado el rodaje inicial)	aprox.	1% del consumo de combustible a plena carga	
Sentido de rotación del eje toma fuerza		anti horario	
Calibración de válvulas (temperatura entre 10 y 30°C)	mm	0.15 / 0.15 (admisión y escape)	
Inclinación permanente máxima permisible	grados °	Lado escape bajo 30 ^{±1}	Lado volante alto 17 ^{±1} bajo 25 ^{±1} alto 25 ^{±1}
Peso (incluyendo tanque de combustible, filtro de aire, mofle y arranque eléctrico)	Kg aprox.	84	
Batería recomendada	min máx	12 VCD 45 Ah 12 VCD 88 Ah	

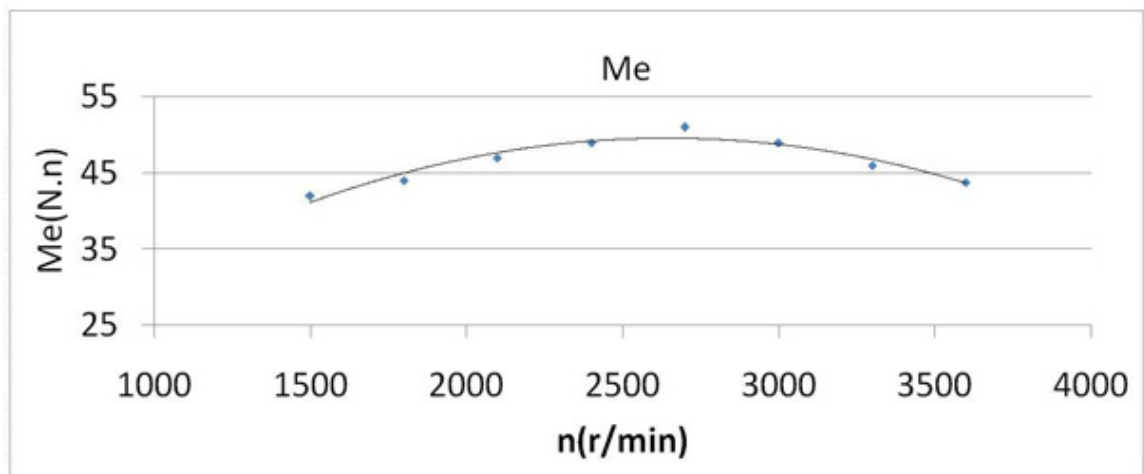
Fuente: CONDUSTRIAL. Información Motor Ecohorse KD292F. [En línea]. Motores – Motor Diesel. (Recuperado el 19 octubre 2017). Disponible en: <http://www.condustrial.com.co/motores-a-gasolina-motores-diesel-motores-electricos-motores-estacionarios-condustrial/343-motor-diesel-ecohorse-kd292f.html>.

Figura: Curva de Potencia generada y consumo específico de combustible en función de las rpm del motor.



Fuente: <http://www.koopchina.com/product/KD292F.html>

Figura: Curva de Torque suministrado en función de las rpm del motor.



Fuente: <http://www.koopchina.com/product/KD292F.html>

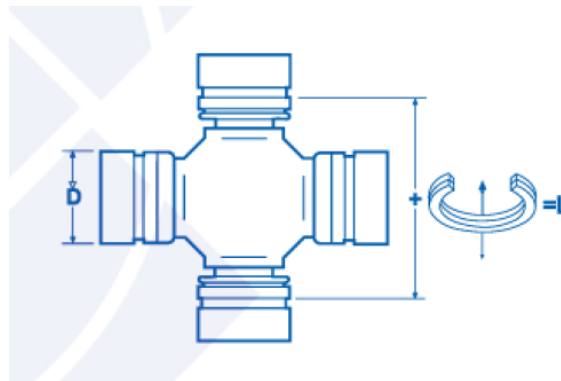
ANEXO E. INFORMACIÓN DE CRUCETAS PARA JUNTAS UNIVERSALES.

Tabla. Dimensiones para diferentes tipos de crucetas

Dimensión D	Dimensión L	Grasera	No. Parte
0.938" (15/16")	1.500" (1 1/2")	SI	338
0.969" (31/32")	1.444" (1 29/64")	SI	861
0.985" (31/32")	1.732" (44 mm)	SI	391
1.000"	1.719" (1 23/32")	SI	514G
1.000"	2.344" (2 11/32")	SI	507
1.024" (26 mm)	1.843" (46.8 mm)	SI	394
1.024" (26 mm)	2.205" (56 mm)	SI	390
1.064" (27 mm)	1.640" (1 41/64")	NO	436
	1.930" (49 mm)	NO	446
	2.188" (2 3/16")	NO	365
	2.375" (2 3/8")	SI	429
	2.781" (2 25/32")	SI	433
1.078" (1 5/64")	2.125" (2 1/8")	SI	315G
1.078" (1 5/64")	2.125" (2 1/8")	SI	317
1.103" (28 mm)	2.323" (59 mm)	SI	384
1.103" (28.0 mm)	2.205" (56.0 mm)	SI	394
1.125" (1 1/8")	2.563" (2 9/16")	SI	534G
1.125" (1 1/8")	2.625" (2 5/8")	SI	316
1.142" (29 mm)	2.047" (52 mm)	SI	387
1.188" (1 3/16")	2.188" (2 3/16")	SI	377

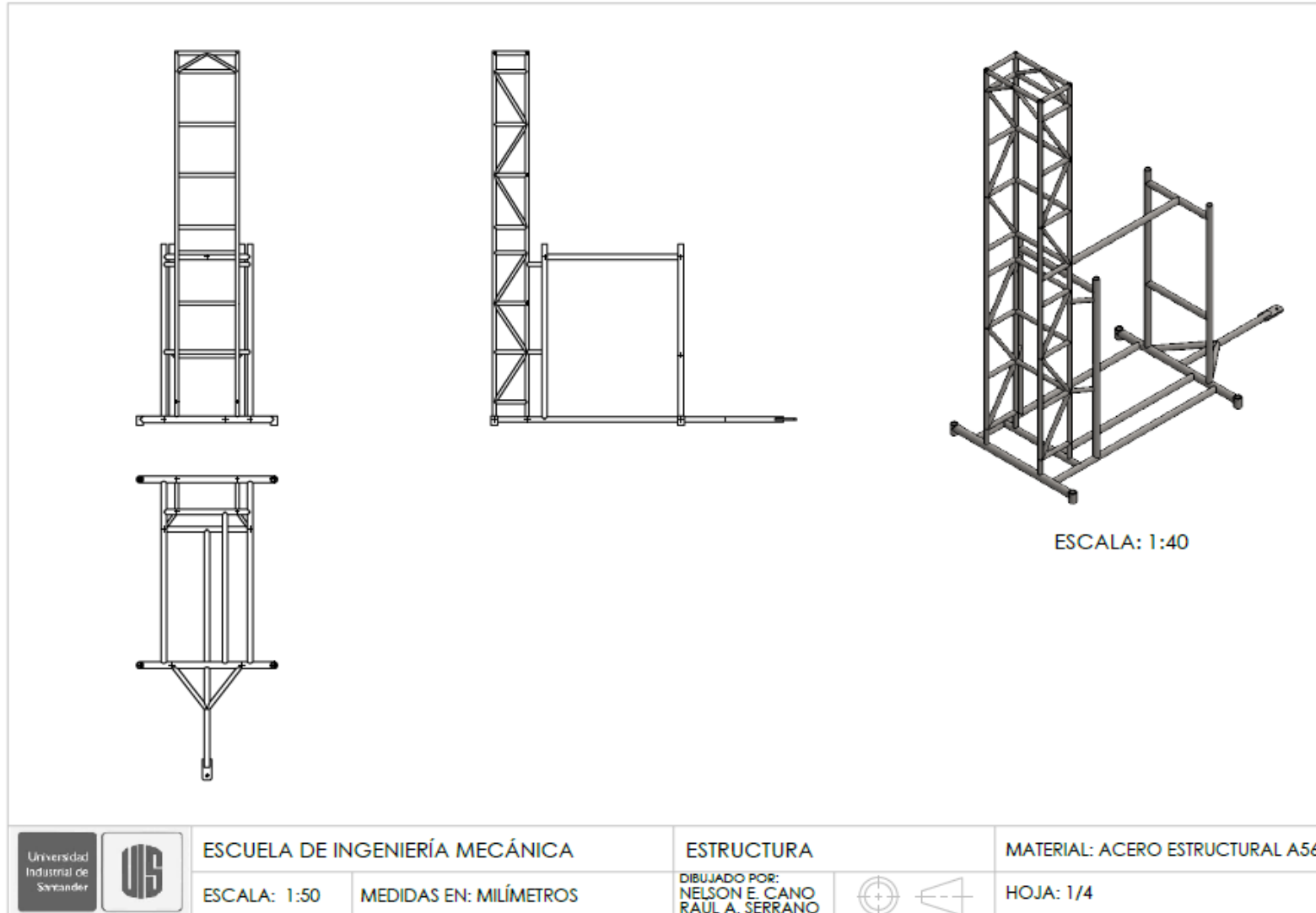
Fuente: PRECISION UNIVERSAL JOINT. Catálogo rxxprec07 – Crucetas. Federal Mogul, 2008.

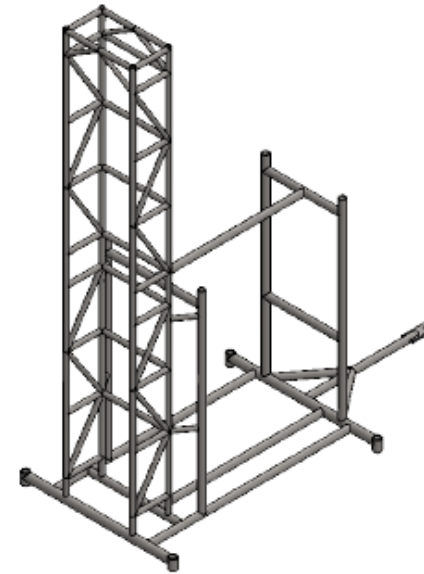
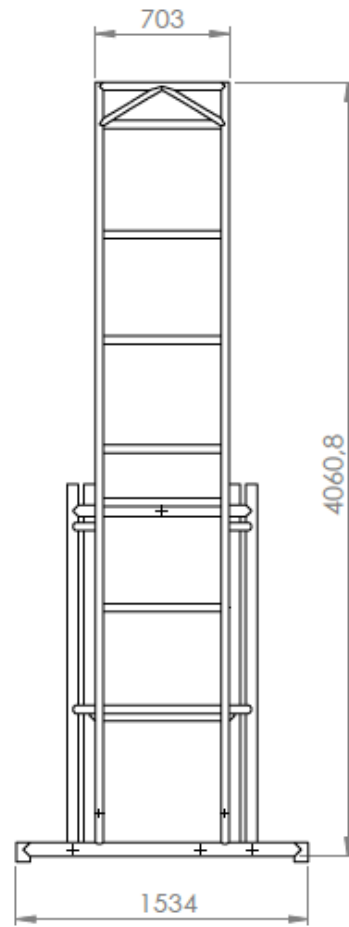
Figura. Esquema de medidas de una cruceta 338.



Fuente: PRECISION UNIVERSAL JOINT. Catálogo rxxprec07 – Crucetas. Federal Mogul, 2008.

ANEXO F. PLANOS ESTRUCTURA DE UNIDAD MÓVIL HECHOS EN SOLIDWORKS®.





ESCALA: 1:40

Universidad
Industrial de
Santander



ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

ESCALA: 1:30

MEDIDAS EN: MILÍMETROS

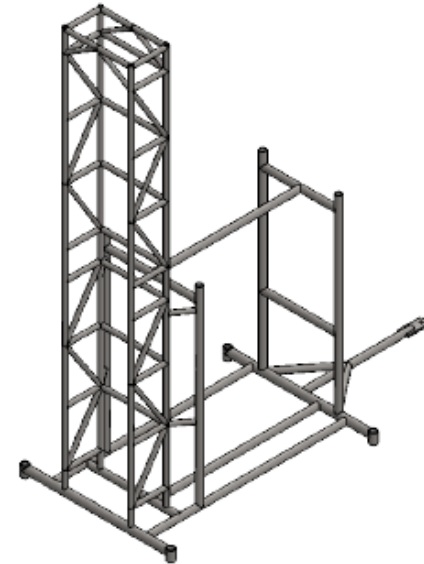
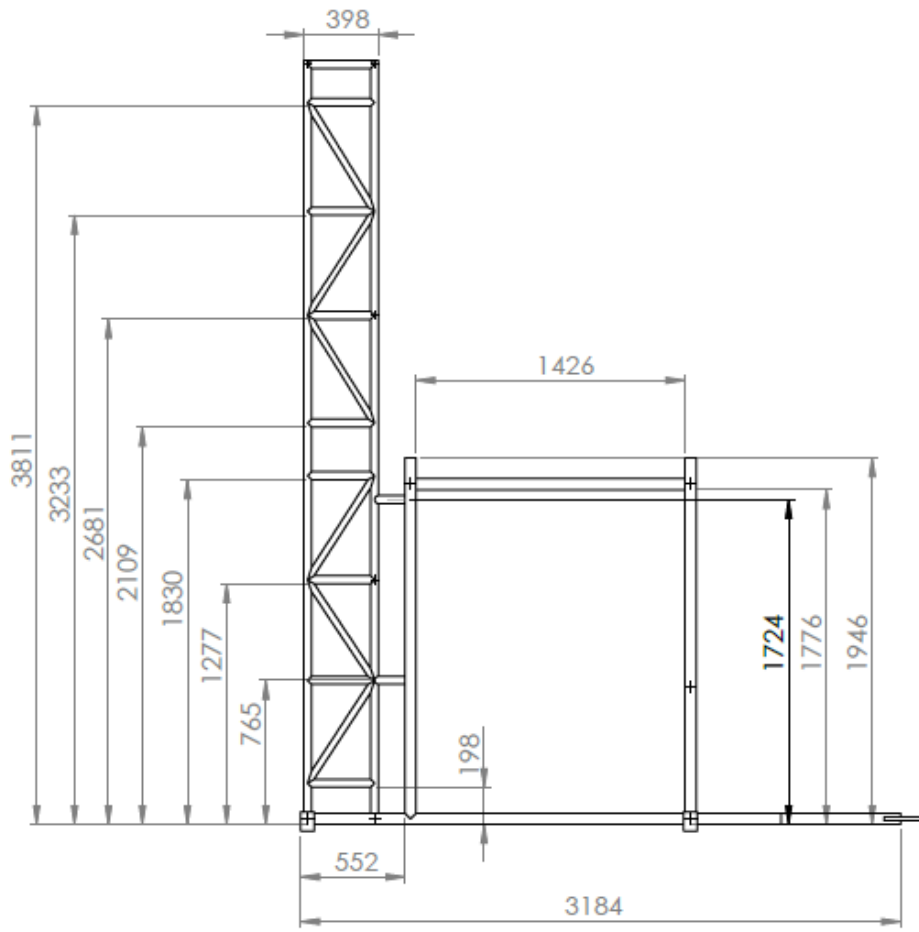
VISTA FRONTAL

DIBUJADO POR:
NELSON E. CANO
RAÚL A. SERRANO



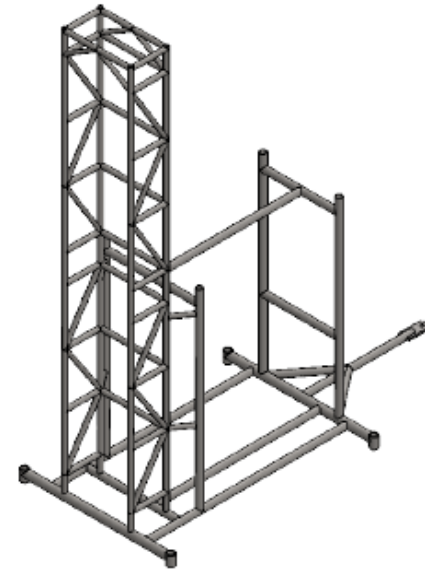
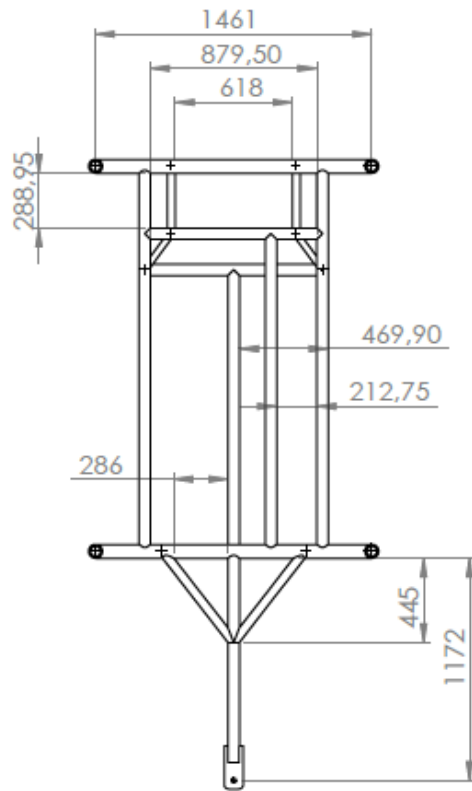
MATERIAL: ACERO ESTRUCTURAL A56

HOJA: 2/4



ESCALA: 1:40

	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		VISTA LATERAL DERECHA		MATERIAL: ACERO ESTRUCTURAL A56
	ESCALA: 1:30	MEDIDAS EN: MILÍMETROS	DIBUJADO POR: NELSON E. CANO RAÚL A. SERRANO		HOJA: 3/4



ESCALA: 1:40

Universidad
Industrial de
Serrander



ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

ESCALA: 1:30

MEDIDAS EN: MILÍMETROS

VISTA SUPERIOR

DIBUJADO POR:
NELSON E. CANO
RAÚL A. SERRANO



MATERIAL: ACERO ESTRUCTURAL A56

HOJA: 4/4

ANEXO G. INFORMACIÓN ADICIONAL Y ANALISIS DE TENSIÓN DIRECTA DEL ANALISIS ESTRUCTURAL REALIZADO EN EL SOFTWARE ANSYS®

Tabla. Unidades.

Sistema de unidades	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Ángulo	Grados
Velocidad Rotacional	rad/s
Temperatura	Celsius

Tabla 30. Geometría de la estructura.

Nombre del Objeto	<i>Geometría</i>
Estado	Definición completa
Definición	
Fuente	C:\Users\Usuario\Desktop\frame\frame_files\dp0\SYS-2\DM\SYS-2.agdb
Tipo	DesignModeler
Unidad de Longitud	Metros
Control de Elemento	Programa Controlado
Estilo de demostración	Color de Cuerpo
Recuadro de selección	
Longitud X	1.4605 m
Longitud Y	4.0386 m
Longitud Z	3.1496 m
Propiedades	
Volumen	4.11e-002 m ³
Masa	322.64 kg
Valor de factor de escala	1.
Estadísticas	
Cuerpos	1
Cuerpos Activos	1
Nodos	1655
Elementos	853

Tabla. Geometría de la estructura y grupos de cuerpo.

Nombre de Objeto	<i>Línea de cuerpo</i>
Estado	Meshed
Graficas de propiedades	
Visible	Yes
Definición	

Suprimido	No
Asignación	A56
Coordinate System	Default Coordinate System
Recuadro de selección	
Longitud X	1.4605 m
Longitud Y	4.0386 m
Longitud Z	3.1496 m
Propiedades	
Volumen	4.11e-002 m ³
Masa	322.64 kg
Estadísticas	
Nodos	1655
Elementos	853
Sección transversal IYY	2.7309e-007 m ² .m ²
Sección transversal IZZ	2.7309e-007 m ² .m ²

Tabla 32. Datos de mallado

Nombre objeto	<i>Malla</i>
Estado	Resuelto
Mostrar	
Mostrar estilo	Color de Cuerpo
Defaults	
Preferencias Físicas	Mecánico
Relevancia	0
Calibrado	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Fine
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	High
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	6.35e-003 m
Estadísticas	
Nodos	1655
Elementos	853
Malla métrica	Ninguno

Tabla. Analisis Estructural.

Nombre objeto	<i>Estática Estructural (B5)</i>
Estado	Resuelto

Definición	
Tipo de física	Estructural
Tipo de Analisis	Estática Estructural
Solucionador Target	Mecánico APDL
Opciones	
Temperatura Ambiente	22. °C

Tabla 34. Analisis Estructural y cargas

Nombre de objeto	Apoyo Fijo 2	Fuerza 1	Fuerza 2	Fuerza 3	Fuerza 4	Fuerza 5	Fuerza 6	Fuerza 7
Estado	Definición completa							
Alcance								
Método de Especificación	Selección de Geometría							
Geometría	8 curvas	1 curva						
Definición								
Tipo	Apoyo Fijo	Fuerza						
Suprimido	No							
Definida por	Vector							
Magnitud	490 N	7104.9 N	421.68 N	294.19 N	823.7 N	245.16 N	258.5 N	
Dirección	Definido							

Tabla. Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Beam Tool.

Nombre del Objeto	Herramienta Beam
Estado	Solucionado
Alcance	
Geometría	Todos los cuerpos de Línea

Tabla. Constantes para el material A56.

Density	7850 kg m ⁻³
Coefficient of Thermal Expansion	1.2e-005 C ⁻¹
Specific Heat	434 J kg ⁻¹ C ⁻¹
Thermal Conductivity	60.5 W m ⁻¹ C ⁻¹
Resistivity	1.7e-007 ohm m
Compressive Yield Strength [Pa]	2.05e+008
Tensile Yield Strength [Pa]	3.3e+008
Tensile Ultimate Strength [Pa]	4.6e+008
Reference Temperature [C]	22

Tabla. Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Beam Tool > Results

Nombre de Objeto	<i>Tensión Directa</i>
Estado	Solucionado
Definición	
Tipo	Tensión Directa
Por	Tiempo
Tiempo de Demostración	Pasado
Calcula Historia de Tiempo	Si
Supresión	No
Resultados	
Mínimo	-3.8218e+007 Pa
Máximo	1.5594e+007 Pa
Información	
Tiempo	1. s
Fase de Carga	1
Subpaso	1
Numero de iteraciones	1

Tabla. Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Beam Tool > **Direct Stress**

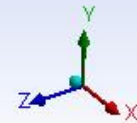
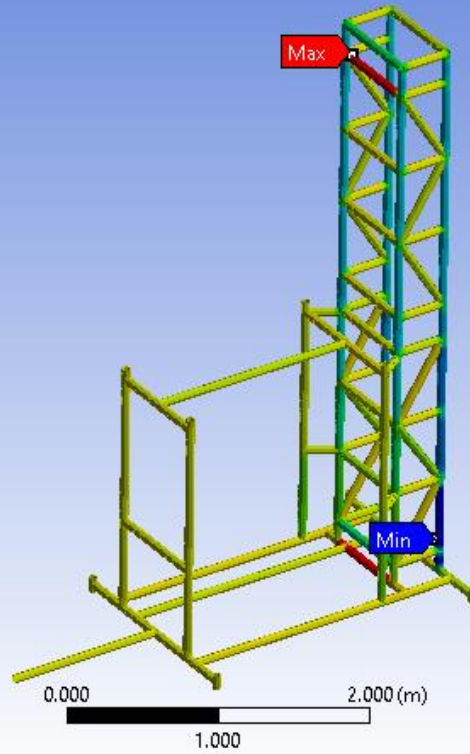
Time [s]	Mínimo [Pa]	Máximo [Pa]
1.	-3.8218e+007	1.5594e+007

Figura. Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Beam Tool > **Direct Stress > Figure**

B: Frame

Figure
Type: Direct Stress
Unit: Pa
Time: 1
13/10/2017 2:06 p.m.

ANSYS
R16.2



ANEXO H: MANUAL DE OPERACIÓN

I. ENCENDIDO DEL MOTOR

- **Antes del arranque inicial**

Los motores se suministran sin aceite ni combustible normalmente.

- **Aceite del motor**

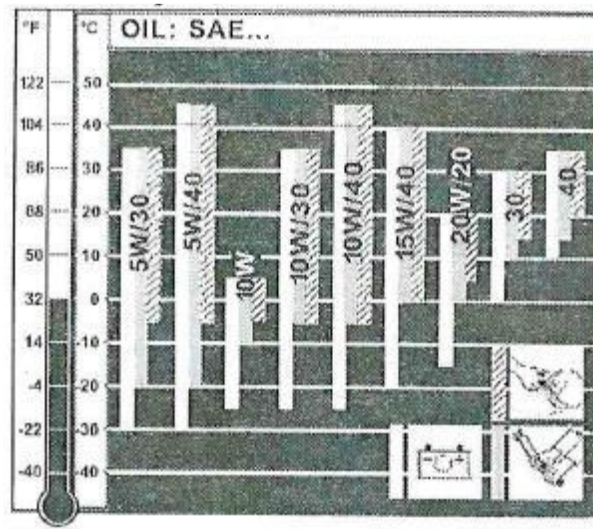
Calidad del aceite

Todos los aceites de marcas reconocidas son recomendados, siempre y cuando cumplan con una de las siguientes especificaciones:

GRADO DE SERVICIO API CH4, API CI4, API CJ4 o superior

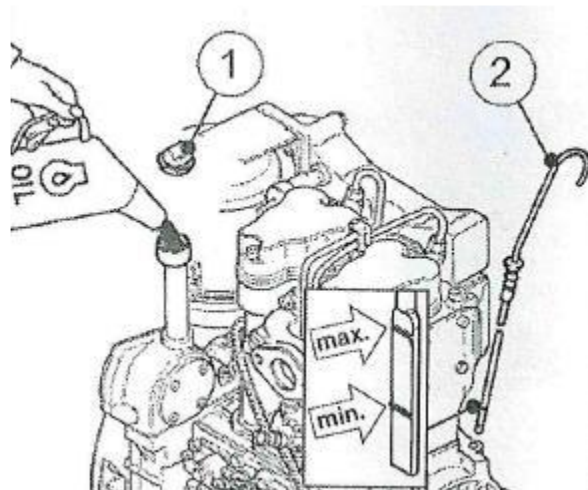
En caso de utilizar un aceite de inferior calidad, reduzca los intervalos de cambio de aceite a 150 horas de operación.

Viscosidad del aceite



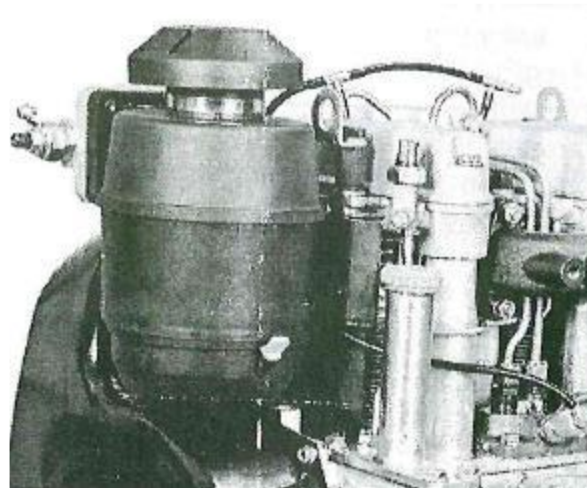
Seleccione la viscosidad del aceite recomendada dependiendo de la temperatura ambiente en la cual se va a operar el motor. En caso de utilizar un aceite, el motor deberá estar en posición horizontal y nivelado.

- Retire el tapón de llenado de aceite "1" y la varilla medidora de nivel de aceite "2".
- Agregue aceite al motor hasta la marca de máximo en la varilla medidora de nivel.
- Reinstale el tapón de llenado y apriételo a mano (únicamente).



ATENCIÓN: operar el motor con el nivel de aceite ya sea por debajo de la marca de mínimo o por encima de la marca de máximo, puede producirle daños al motor.

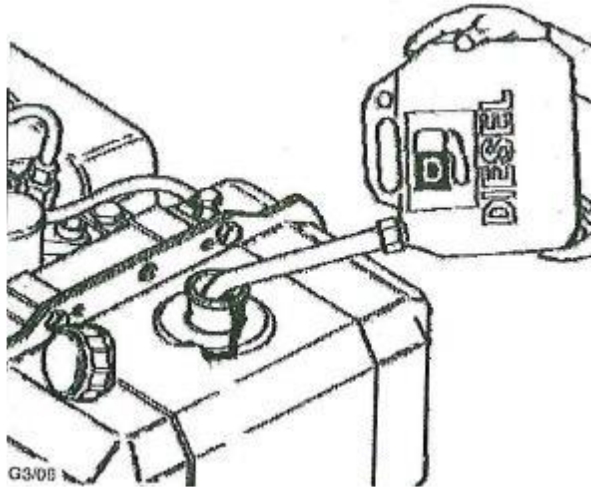
- **Filtro de aire en baño de aceite**



En caso que el filtro tenga una trampa para polvo, asegúrese que la salida del polvo apunte hacia la dirección correcta.

- Llene la cazoleta inferior hasta la marca de nivel de aceite.
- Monte la cazoleta inferior al cuerpo del filtro de aire, asegurándose que el empaque asiente correctamente y que los ganchos queden bien cerrados.

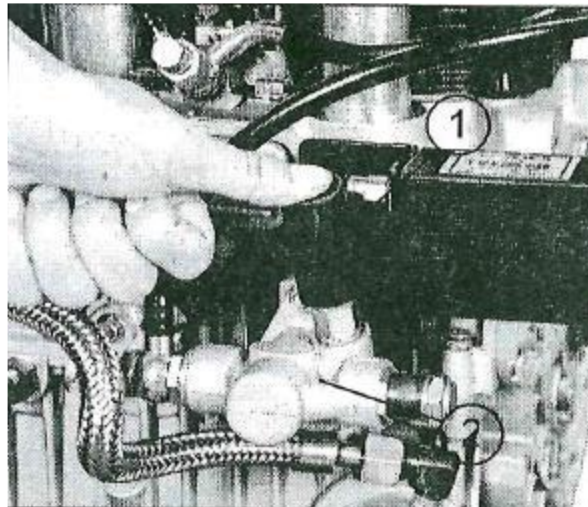
- **Combustible**



ATENCIÓN: Apague el motor antes de reabastecerlo de combustible. Jamás reabastezca de combustible cerca de una llama abierta o de una fuente de chispas. No fume. Utilice únicamente combustible limpio y fresco y limpie los elementos utilizados para el reabastecimiento. Tenga cuidado de no derramar combustible.

IMPORTANTE: El uso de combustibles con especificaciones diferentes, requiere previo consentimiento por escrito de la gerencia.

Al arrancar el motor nuevo o en caso que se hubiera apagado por agotamiento del combustible, se debe cebar el sistema de alimentación de combustible, operando la perilla "1" de la bomba de alimentación "2", hasta que escuche que el combustible retorna al tanque.

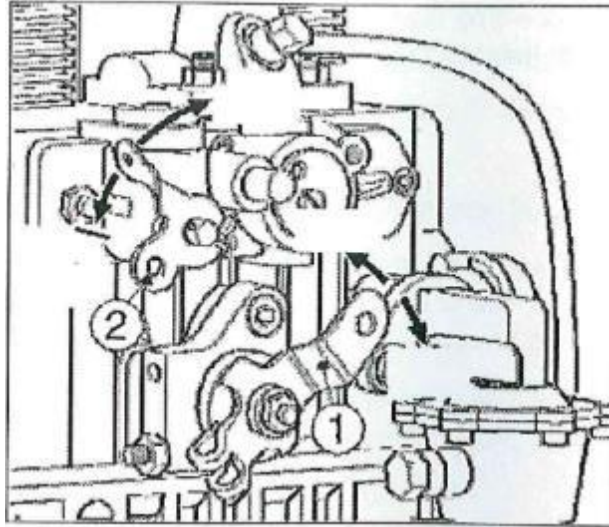


- **Arranque del motor**

ATENCIÓN: No opere el motor en espacios cerrados o con poca ventilación – peligro de envenenamiento. Antes de arrancar el motor, asegúrese que no haya personal dentro del área de peligro cercana al motor o al equipo movido por el motor, y que todas las guardas de seguridad estén debidamente instaladas.

- **Preparativos para el arranque**

- De ser posible, desengrane el motor del equipo que es movido por él.
- Los equipos auxiliares deberán colocarse en neutra.



Dependiendo de las condiciones de operación y de los requerimientos, coloque la palanca de control de velocidad "1" en la posición de medio arranque o en la posición de máximo arranque.

- Asegúrese que la palanca de apagado "2" esté en la posición de marcha "START"

ATENCIÓN: Jamás utilice ayudas para el arranque en forma de aerosol.

- **Arranque eléctrico**

- Siga los preparativos para el arranque en la sección anterior.
- Inserte la llave en el interruptor de encendido en la posición de apagado "OFF" y gírela hasta la posición de marcha "ON".
- Gírela hasta la posición de arranque "START"
- Tan pronto encienda el motor, suelte la llave. Esta deberá regresar a la posición de marcha "ON" por si misma y permanecerá en dicha posición durante la operación.
- La luz del indicador de servicio del filtro de aire (Equipo opcional) se encenderá solo durante la operación si el elemento del filtro de aire requiere limpieza o reemplazo.
- Regrese siempre la llave a la posición de apagado "OFF" antes de intentar un nuevo arranque del motor. El hacerlo repetidamente desde la posición de marcha "ON" impide que el motor de arranque enganche adecuadamente y probablemente resultará dañado mientras el motor esté aun marchando.

IMPORTANTE:

- En caso de contar con un módulo de protección del arranque, la llave deberá llevarse hasta la posición de apagado “OFF” durante al menos 8 segundos en caso que el motor no arranque, antes de intentar un segundo arranque.
- Dar arranque por 30 segundos como máximo. Si el motor no arranca, gire la llave hasta la posición de apagado “OFF” y elimine la causa de la falla.
- Dispositivo precalentador con temporizador automático (equipo opcional), Función de apagado automático (equipo opcional)
- A pesar de contar con la función de apagado automático, Usted deberá verificar el nivel de aceite del motor cada 8 a 15 horas de operación.

II. OPERACIÓN DE LA MESA ROTARIA

Para accionar la mesa rotaria, se mueve hacia atrás la palanca de mando correspondiente al embrague de este mismo eje, el cual recibe potencia desde el reductor de velocidad. Esto moverá el resorte de la prensa hacia atrás para conectar la mesa rotaria del reductor. Al conectarla, ésta ejercerá la rotación hacia la sarta mediante el acople del vástago de perforación con la parte superior de la mesa.

Para desconectar la mesa rotaria, se mueve la palanca hacia adelante, esto para mover el resorte hacia adelante y dejar el eje del *speed* libre.

III. OPERACIÓN DEL MALACATE

Dado que el malacate es el encargado para el ascenso de la sarta de perforación, su mayor uso va a ser en esta misma etapa.

Éste se opera mediante el uso de una manila, la cual va a estar amarrada a la parte superior del Swivel, y se rodea el tambor del malacate con la parte restante. El operador de la máquina sujeta el otro extremo de la manila y con este da apriete o afloje al malacate para que éste empiece a trabajar.

USO DE CUÑAS: Cada vez que se va insertando más tubería en el pozo, se debe ir poniendo las cuñas debajo de las partes roscadas de la tubería, para así insertar un nuevo tramo (2 metros). Después se quita la cuña y se retoma el proceso de rotación y perforación.

IV. OPERACIÓN DE LA BOMBA EJE LIBRE

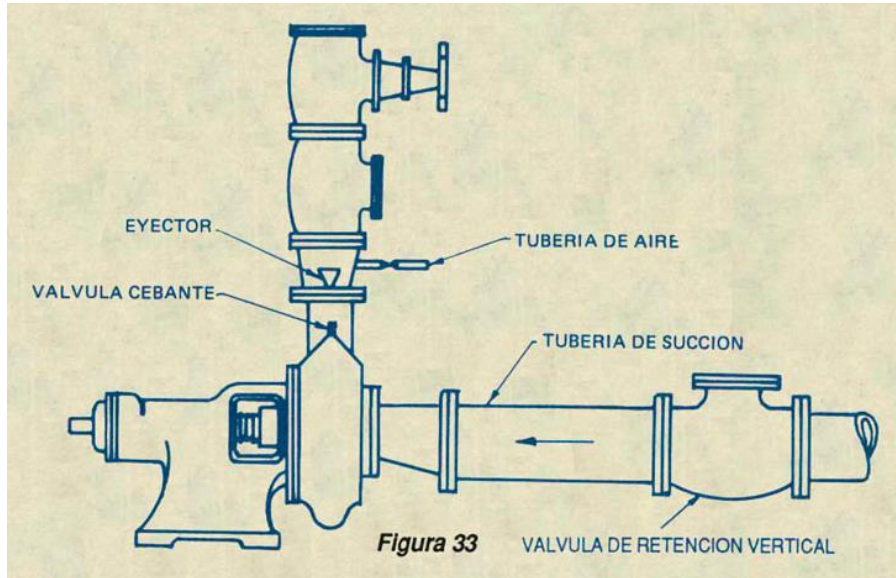
Esta operación se realiza mediante el accionamiento de la palanca de mando correspondiente al embrague en el eje de la bomba de lodos. Cuando el embrague está en su posición normal ó posición inicial, la bomba está conectada del eje del motor y por lo tanto se encuentra en funcionamiento, dado que durante todo el proceso es necesario el funcionamiento del sistema de circulación, debido al trabajo de la sarta de perforación. Solamente se acciona el embrague en la etapa de encendido y apagado del motor.

EL ARRANQUE

Antes de arrancar una bomba centrífuga, tanto la carcasa de la misma como la tubería de succión tiene que estar totalmente llena del líquido que se desea bombear; mientras esta condición no haya sido satisfecha la bomba no podrá funcionar porque en vez de líquido succionará aire. Esto es conocido como “cebar” la bomba

Se conocen tres diferentes maneras de cebar bombas centrífugas:

- Llenando la carcasa y la tubería de succión.
 - Mediante una bomba auxiliar de vacío.
 - Con ayuda de un eyector de aire de vapor de agua.
- El primer método consiste en llenar la caja (carcasa) y la tubería de succión del líquido a bombear, a través de un orificio o válvula cebante que se encuentra en la parte superior de la carcasa.



- El segundo método consiste en usar la bomba auxiliar de vacío para aspirar el aire de la caja de la bomba y de la tubería de succión.
- En el tercer método el eyector extrae el aire de la caja de la bomba y de la tubería de succión y permite que el líquido que se va a bombear suba hasta el tope de la caja de la bomba. Se encuentra instalado en la parte más alta de la caja de la bomba.

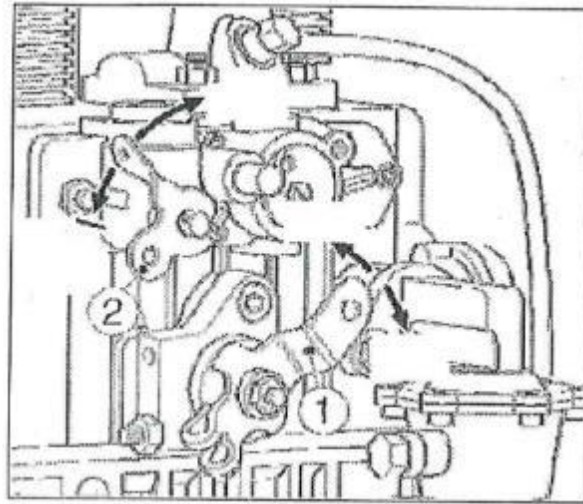
Antes de arrancar la bomba gire manualmente el eje con el fin de probar si las partes a moverse están libres. Es posible que por dilatación en la tubería se pueda producir algún contacto en los anillos.

Al arrancar la unidad tiene que graduarse la válvula de la descarga en forma gradual y lenta a fin de evitar una carga brusca repentina.

PROCEDIMIENTO PARA PARADA

Antes de parar el motor que impulsa la bomba cierre la válvula de descarga a la misma posición que tenía al momento del arranque. Luego apriétese el interruptor del apagado.

V. APAGADO DEL MOTOR



- Mueva la palanca de control de velocidad "1" hasta la posición de apagado "STOP".
- En motores que no utilicen la marcha mínima, lleve la palanca de control de velocidad "1" hacia atrás, luego lleve la palanca de apagado "2" hasta la posición de apagado "STOP" y sosténgala dicha posición hasta tanto el motor se detenga completamente.
- Una vez se haya detenido el motor por completo, suelte la palanca de apagado. Esta se regresará a la posición de marcha "START" por efecto de un resorte.
- Mueva la palanca de control de velocidad "1" nuevamente a la posición de apagado "STOP"

NOTA:

- Los motores con sistema eléctrico automático de apagado pueden apagarse también girando la llave de encendido a la posición de apagado "OFF".
- Durante el período de rodaje inicial o al final del trabajo, retire la llave del encendido y consérvela en un lugar seguro, fuera del alcance de personal no autorizado.

ANEXO I: MANUAL DE MANTENIMIENTO

I. MOTOR KOOP KD292F

El motor deberá apagarse antes de intentar realizarle cualquier trabajo de mantenimiento. Cumpla con los requerimientos legales al manipular o desechar el aceite usado, los filtros y los elementos utilizados para la limpieza. Mantenga la llave de encendido y la manija del arranque manual fuera del alcance de personal no autorizado. Para inmovilizar un motor con arranque eléctrico, desconecte el terminal negativo de la batería. Al finalizar los trabajos de mantenimiento, verifique que se hayan retirado todas las herramientas del motor y que se hayan vuelto a colocar en su posición correcta todas las guardas de seguridad, tapas, etc. Antes de arrancar el motor, asegúrese que no haya personal dentro del área de peligro (cercana al motor o al equipo movido por el motor).

Compendio del mantenimiento

La tabla de mantenimiento se suministra con cada motor. Esta etiqueta deberá ir fijada en el motor o en el equipo en una posición visible fácilmente. La tabla de mantenimiento rige los intervalos de mantenimiento.

Tiempo	Mantenimiento requerido
Cada 8 a 15 horas de operación o antes del arranque diario	Verifique el nivel de aceite. Verifique el área alrededor de la admisión del aire. Verifique el sistema de refrigeración por aire. Verifique el nivel de aceite en la cazoleta del filtro de aire en baño de aceite y que no esté contaminado.
Cada 250 horas de operación	Mantenimiento al filtro de aceite/filtro de aire en baño de aceite. Cambio de aceite y filtro de aceite. Verificación y calibración del juego de válvulas Limpieza del sistema de refrigeración por aire Verificar y apretar las piezas de fijación
Cada 500 horas de operación	Reemplazo del filtro de combustible. Mantenimiento al filtro de aire/filtro de aire tipo seco

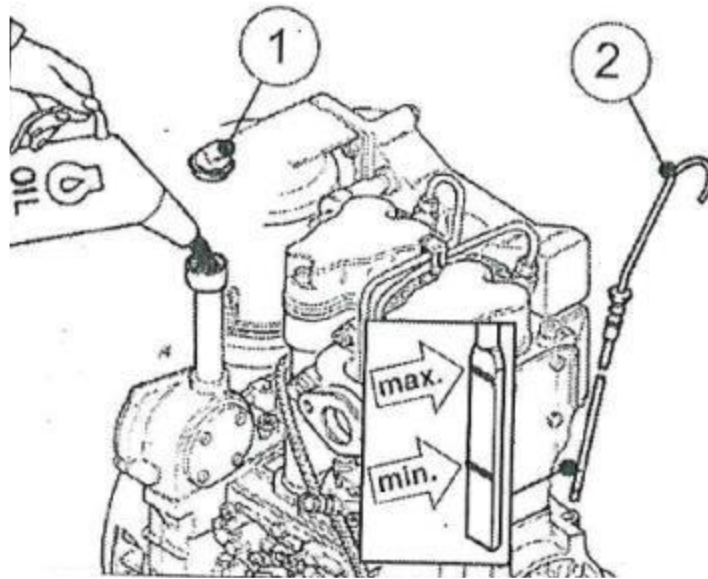
Para motores nuevos o recién reparados, deberán realizarle las siguientes operaciones después de las primeras 25 horas de operación: Cambio de aceite y filtro de aceite. Verificar el juego de válvulas y calibrar si fuera necesario. Verificar y apretar las piezas de fijación.

Para períodos de operación cortos: reemplace el aceite y el filtro de aceite a más tardar cada 12 meses, independiente de las horas de operación.

Mantenimiento cada 8 – 15 horas de operación

- **Verificación del nivel de aceite**

Al comprobar el nivel de aceite, el motor deberá estar apagado y en posición horizontal. Retire cualquier suciedad del área de la varilla medidora de aceite.



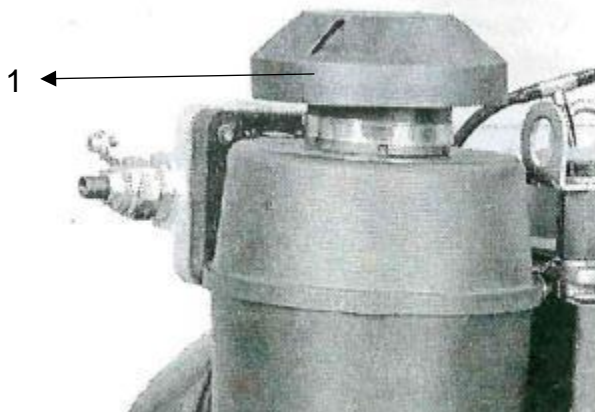
- Para comprobar el nivel de aceite, retire la varilla medidora de aceite "2" y límpiela con un trapo limpio y sin pelusas; inserte luego la varilla medidora hasta el tope y sáquela nuevamente.
- Verifique el nivel de aceite en la varilla medidora; de ser necesario ajuste el nivel hasta la marca de máximo "Max".

ATENCIÓN: Operar el motor con el nivel de aceite ya sea por debajo de la marca de mínimo "min" o por encima de la marca de máximo "Max", puede producirle daños al motor.

Verificación del sistema de admisión de aire

El hecho de encontrar excesiva contaminación es una indicación de que el aumento de la acumulación de polvo requiere de intervalos de mantenimiento más cortos.

Motor con filtro de aire en baño de aceite

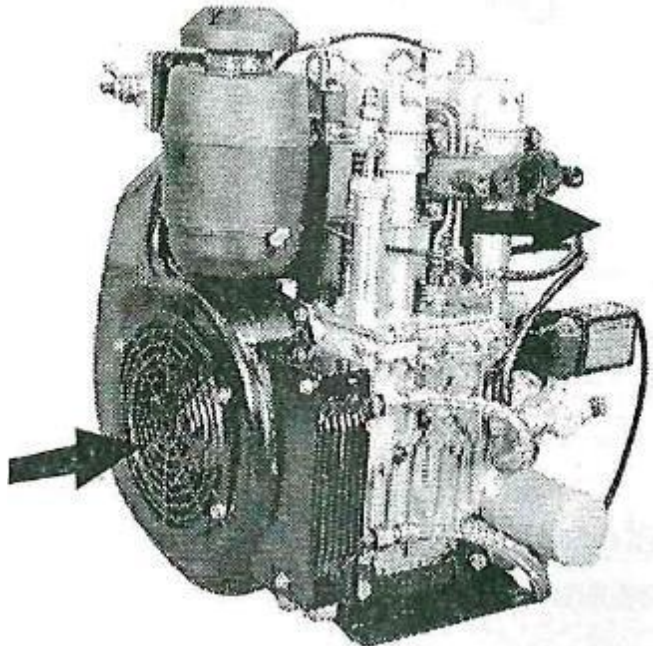


- Inspeccione si hay depósitos severos de suciedad y polvo en las entradas de aire “1” (dependiendo de la versión) y límpielas en caso de ser necesario.
- Asegúrese que la salida de polvo de la trampa de polvo (dependiendo de la versión) no se encuentre obstruida y límpiela en caso necesario.
- Inspeccione las entradas de aire “1” y límpielas en caso de ser necesario.

Verificación del sistema de refrigeración

El hecho de encontrar excesiva contaminación es una indicación de que el aumento de la acumulación de polvo requiere de intervalos de mantenimiento más cortos.

- Inspeccione las entradas y salidas de aire por suciedad acumulada, tal como hojas, acumulación de polvo, etc. y límpielas en caso de ser necesario.

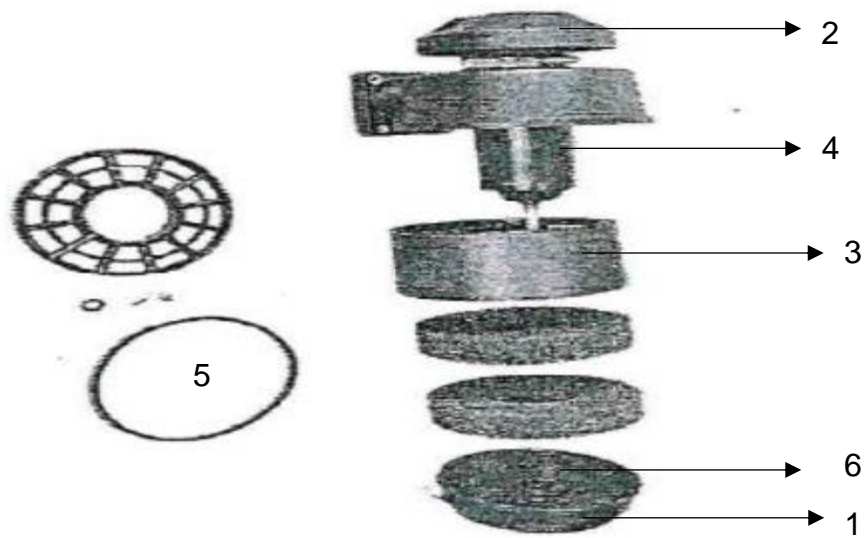


El indicador de temperatura (equipo opcional) se encenderá en caso que el motor se ponga demasiado caliente. **Apague el motor de inmediato**

Mantenimiento cada 250 horas de operación

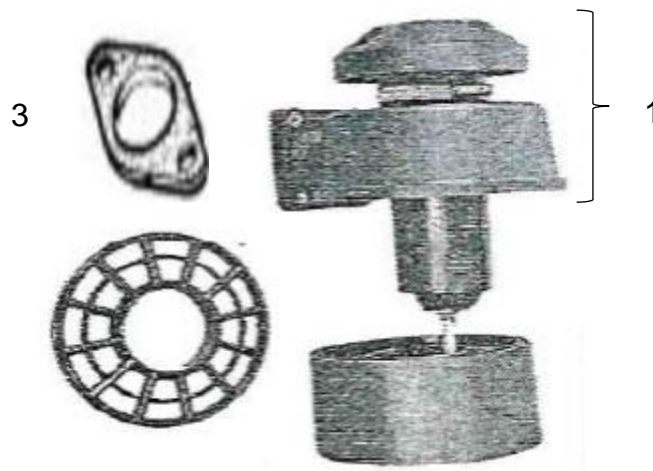
Mantenimiento del filtro de aire en baño de aceite

ATENCIÓN: Recoja el aceite usado y deséchelo de acuerdo con las regulaciones locales.



- Retire la cazoleta inferior "1".
- Retire el aceite y el lodo de la cazoleta inferior y lávela completamente.
- Retire la tapa anti lluvia "2" de la trampa ciclónica "3" y límpiela.
- Limpie hasta el conducto de admisión "4".
- Verifique el estado del empaque "5" y cámbielo si fuera necesario.
- Llene la cazoleta inferior con aceite nuevo hasta la marca de nivel de aceite "6" y móntela al cuerpo del filtro de aire

Si el empaque del filtro de aire está muy contaminado con polvo y suciedad, deberá limpiar también la parte superior del filtro de la siguiente manera:



- Suelte la parte superior del filtro de aire "1" del motor y enjuáguela con combustible.
- Permita que el combustible penetre completamente, luego límpiela bien antes de reinstalarlo.
- Instale un nuevo empaque del filtro en caso que la superficie de sellado esté dispareja, el cuerpo del filtro esté agrietado y/o falte la lana filtrante.
- Instale la parte superior del filtro de aire usando un empaque de brida "3" nuevo.

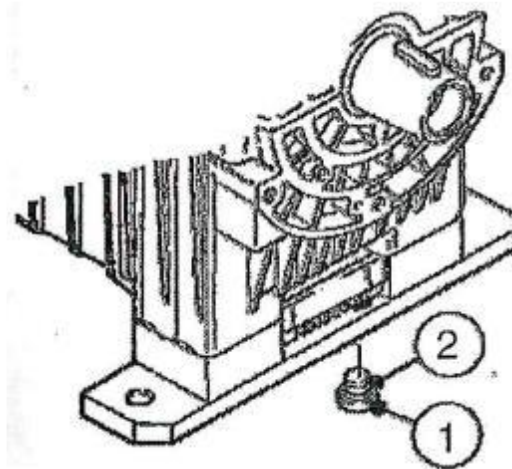
- Reinstale las demás partes del filtro y llene con aceite para dejarlo listo para continuar en operación.

Cambio de aceite y filtro de aceite

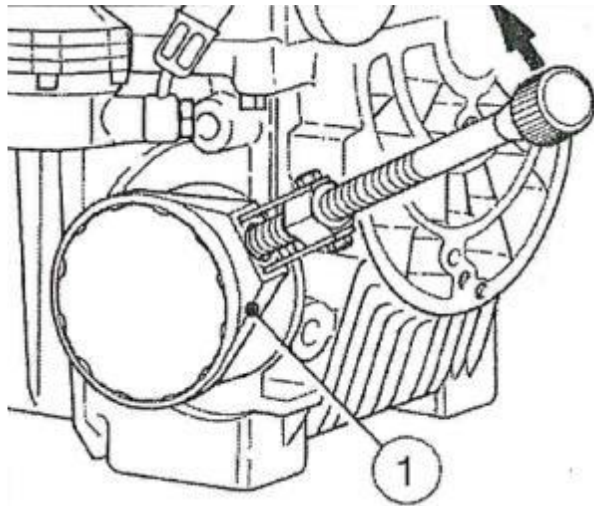
El motor debe estar apagado y en posición horizontal. Drene el aceite únicamente con el motor caliente.



Atención: Peligro de quemaduras con el aceite caliente! Recoja el aceite usado y deséchelo de acuerdo con las regulaciones locales.



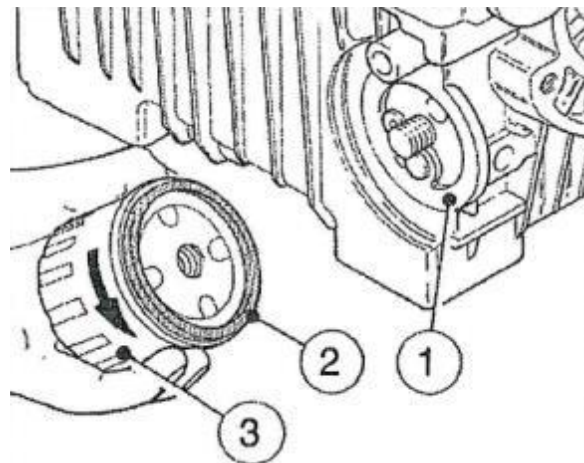
- Quite el tapón de drenaje de aceite "1" y drene completamente el aceite.
- Monte nuevamente el tapón de drenaje de aceite "1" con un empaque nuevo "2" y apriete.



- Desenrosque el filtro de aceite y deséchelo, utilizando una llave ajustable para filtros tipo correa u otra herramienta similar.
- Luego de limpiarla, reinstale la malla filtro de la válvula reguladora de presión.
- Limpie toda la superficie de sellamiento del filtro de aceite "1".
- Jamás reutilice el filtro de aceite ya que este es desechable. Unte un poco de aceite en el empaque "2" del filtro de aceite nuevo.
- Enrosque el filtro de aceite "3" y **apriételo a mano**.
- Agregue aceite nuevo al

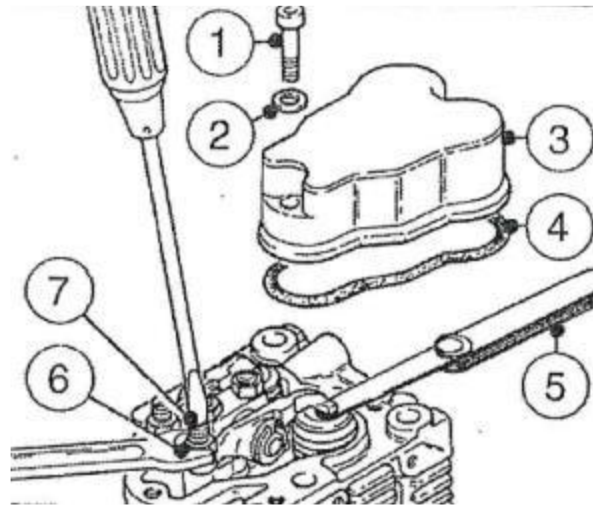
motor.

- Haga un breve arranque al motor para verificar que no hayan fugas de aceite por el filtro; ajústelo si fuera necesario.
- Verifique el nivel de aceite del motor; agregue si fuera necesario.



Verificación y calibración del juego de válvulas

- Ajustar únicamente con el motor frío (entre 10 y 30°C).
- Limpie cualquier suciedad del área de contacto entre la tapa balancines y la culata.
- Retire los tornillos "1" y remueva la tapa balancines completa "3" con sus empaques "2" y "4". Jamás reutilice los empaques.

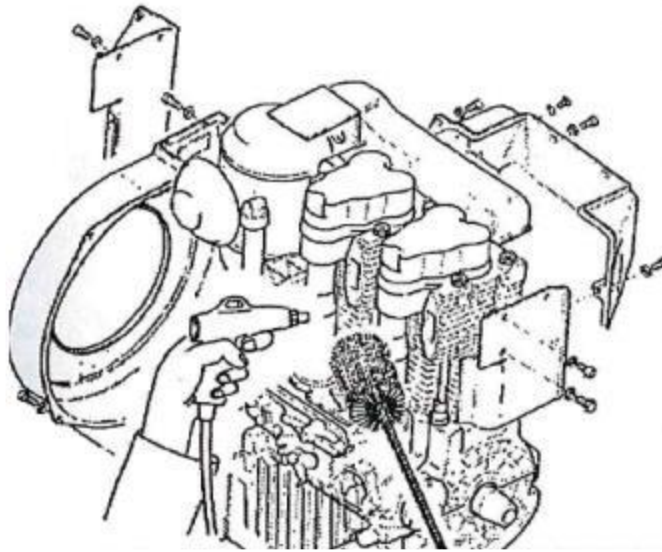


Procedimiento para calibrar el juego de válvulas

- El cilindro #1 queda al lado de la volante; la rotación del motor es en el sentido de las agujas del reloj (visto desde ese extremo).
- El cilindro #2 queda al lado del eje toma fuerza; la rotación del motor es en el sentido contrario a las agujas del reloj (visto desde ese extremo).
- Gire el motor en su sentido de giro normal hasta que la válvulas en el cilindro #2 estén en la posición de traslape de válvulas (la válvula de escape aún no ha cerrado del todo, válvula de admisión está comenzando a abrir).
- Gire 180° el cigüeñal (media vuelta) en el sentido de giro normal, luego verifique el juego de válvulas del cilindro #1 y ajústelas en caso de ser necesario.
- Vuelva a girar el cigüeñal otros 180° (media vuelta); verifique el juego de válvulas del cilindro #2 y ajústelas en caso de ser necesario.

Calibración del juego de válvulas

- Mida el juego de la válvula con la galga de 0.10 mm "5"
- Si requiere de ajuste, afloje la tuerca "6", gire el tornillo de ajuste "7" y vuelva a apretar la tuerca "6". Usted debe poder introducir y sacar la galga "5" con una resistencia al movimiento apenas perceptible.
- Reinstale las tapas de balancines en su posición y apriételas uniformemente.
- Haga un breve arranque al motor para verificar que no hayan fugas por las tapas de balancines.



Limpieza del sistema de refrigeración

Retire todas las guías de aire. **Si los depósitos de suciedad están secos** Limpie las guías de aire y todo el sistema de refrigeración incluyendo las culatas, los cilindros y las aletas de la volante sin humedecerlos, y soplelos con aire comprimido.

Atención El personal que manipule el aire comprimido deberá utilizar anteojos protectores. Jamás apunte el chorro de aire hacia animales, personas ni hacia Usted mismo!

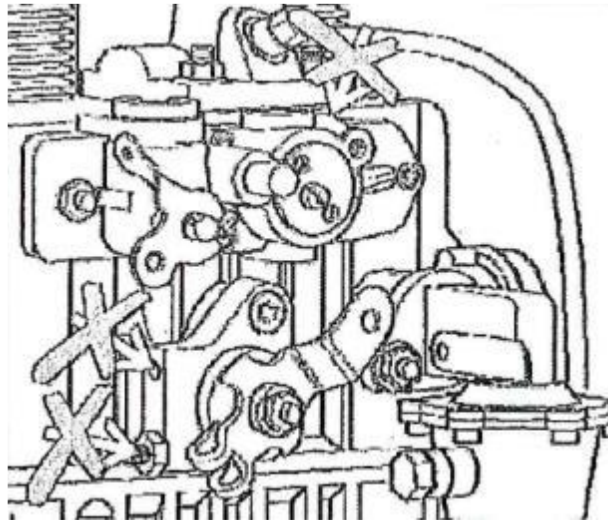
Si los depósitos de suciedad están húmedos o aceitosos Desconecte la batería. Aplique una solución detergente o desengrasante a todo el sistema siguiendo las instrucciones del fabricante, luego enjuague aplicando un chorro de agua con suficiente presión. No salpique los componentes eléctricos con el chorro de agua durante las operaciones de limpieza. Determine el origen de la contaminación con aceite y haga reparar las fugas que haya. Vuelva a montar todas las guías de aire.

Atención

- Jamás opere el motor sin las guías de aire debidamente montadas.
- Haga funcionar el motor inmediatamente después de limpiarlo hasta que se caliente; esto prevendrá la formación de corrosión.

Verificación de las uniones roscadas.

Verifique el estado y el apriete de todas las uniones roscadas, tuberías y mangueras, abrazaderas y otros elementos de fijación en el motor o en sus montantes, las cuales son accesibles durante el trabajo de mantenimiento. **No apriete los pernos de culata.**



Atención

Los tornillos de tope del sistema de regulación de velocidad y del sistema de inyección, vienen sellados con un esmalte o bien con un sello de plomo de seguridad, y no deben apretarse ni ajustarse.

Mantenimiento cada 500 horas de operación

Cambio del filtro de combustible

Los intervalos de mantenimiento para el filtro de combustible dependen de la pureza del ACPM utilizado, y de ser necesario, puede que tenga que ser reducido a cada 250 horas de operación.

ATENCIÓN: Al trabajar sobre el sistema de combustible, no lo exponga a llamas abiertas; no fumar.

Importante

- Mantenga toda el área limpia de modo que no ingrese suciedad al combustible. Las partículas extrañas que contenga el combustible, pueden dañar el sistema de inyección.
- Corte el suministro de combustible.
- Desconecte las mangueras de alimentación de combustible de ambos lados del filtro de combustible, e inserte un filtro nuevo. Asegúrese que la dirección del flujo de combustible sea la misma que indican las flechas.
- Abra nuevamente el suministro de combustible y si fuera necesario, accione la bomba de alimentación.
- Haga un breve arranque al motor para verificar que no hayan fugas por el filtro de combustible ni por las mangueras de alimentación.

II. BOMBA EJE LIBRE IHM 30A-L2

El funcionamiento normal de las bombas se obtiene debido a la eficacia con que el mecánico resuelva cada uno de los problemas de mantenimiento que a continuación detallamos:

ALINEACIÓN

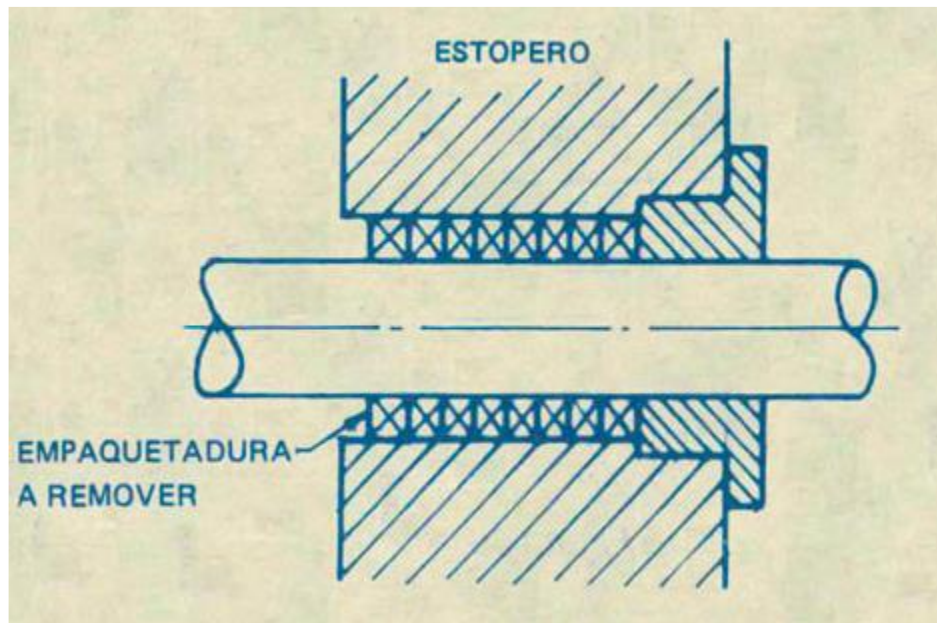
La unidad debe operar con un desalineamiento máximo de 0,003". La operación con un desalineamiento que sobrepase esta tolerancia causará vibraciones, desgaste excesivo de los bujes del acoplamiento, cojinetes, etc.

EMPAQUETADURAS

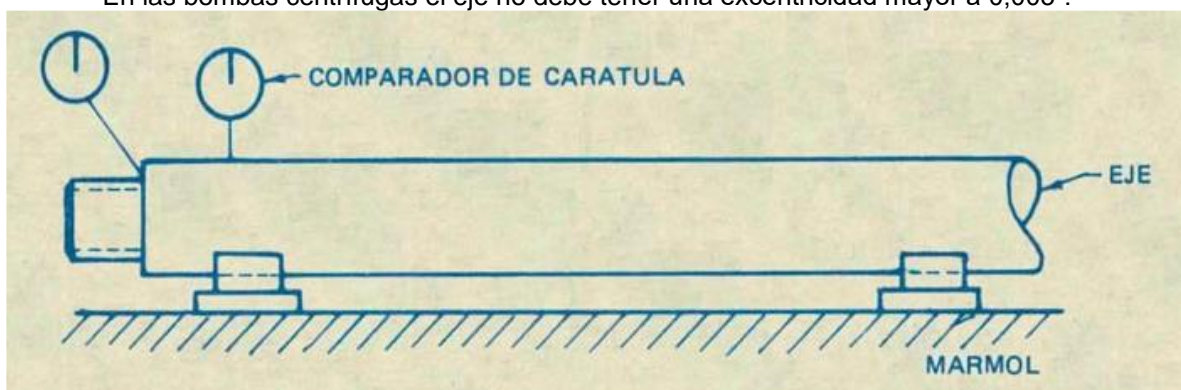
El mantenimiento consiste generalmente en reponer los empaques, con el siguiente procedimiento:

- Remueva la empaquetadura vieja con un gancho de material blando (para evitar rayar la camisa).

Nunca trate de agregar uno o dos empaques nuevos a uno viejo. Esto es falsa economía y daña los empaques nuevos.



- Asegúrese que el eje quede bien alineado axial y radialmente y sin rayaduras en la camisa. En las bombas centrífugas el eje no debe tener una excentricidad mayor a 0,003".

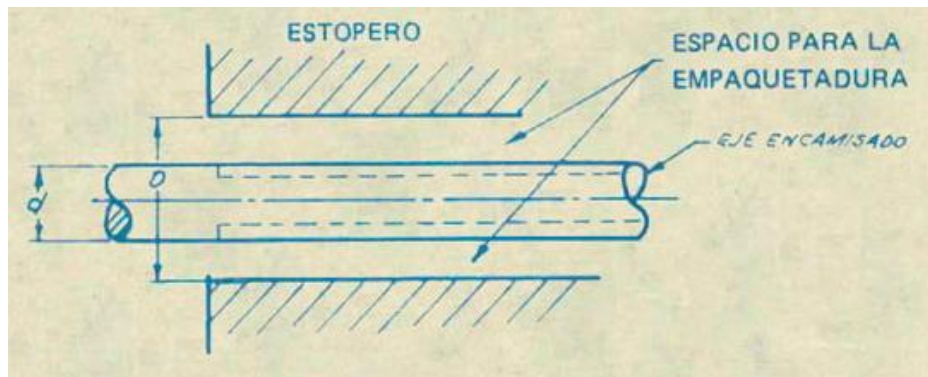


- Seleccione la empaquetadura. Aunque esta selección la realiza el jefe de taller o el ingeniero, sin embargo el mecánico debe saber que esta se escoge según la naturaleza del líquido, así

por ejemplo: Aceite caliente, ácidos concentrados, solventes, agua fría, vapor, soda cáustica, amoníaco, etc.

- Determine la dimensión de la empaquetadura.
 - Mida la caja del estopero (D)
 - Reste el diámetro de la camisa (d) y divida por dos.

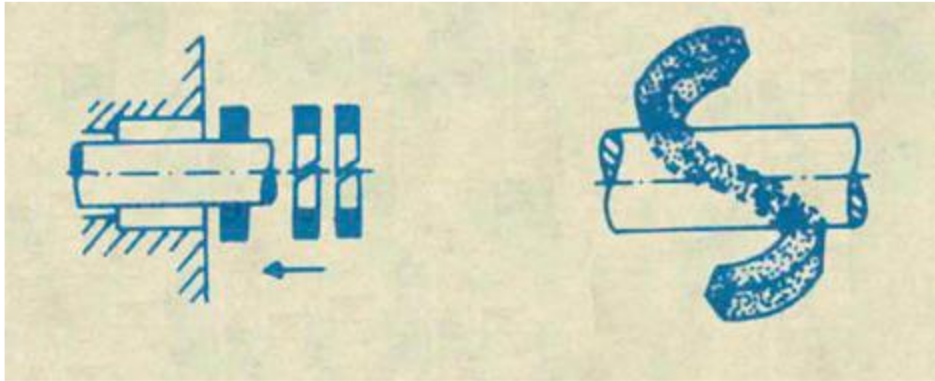
No se debe adivinar en la medida.



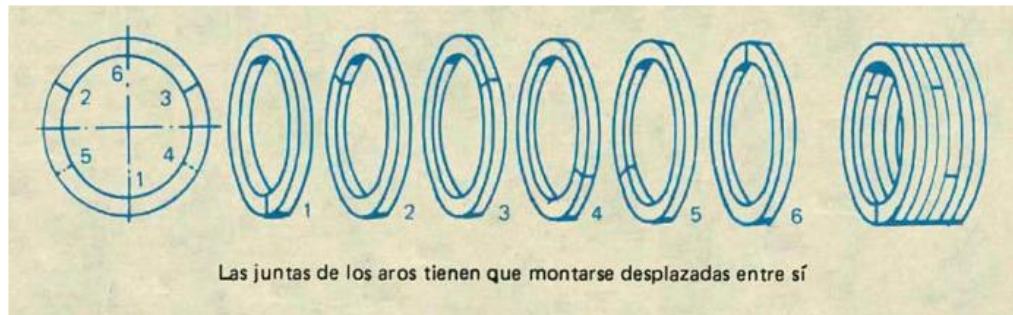
- Ajuste la empaquetadura alrededor de la camisa, haciendo un resorte de tracción y corte los extremos en forma diagonal a recta.



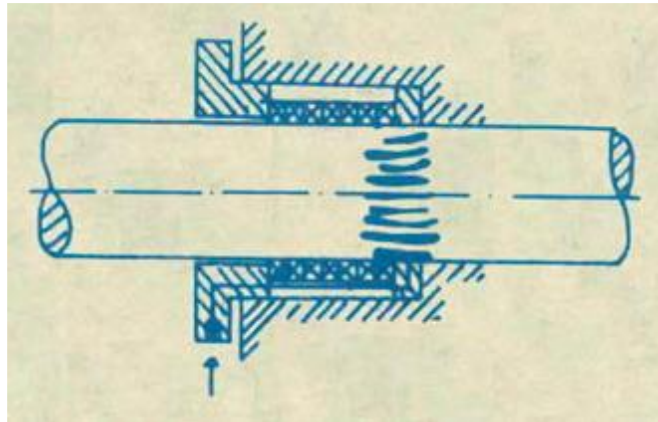
- Monte los aros. Este montaje se puede hacer en dirección axial si el eje está libre desde su extremo, o radial para el caso contrario; este último se recomienda para evitar la deformación del anillo.



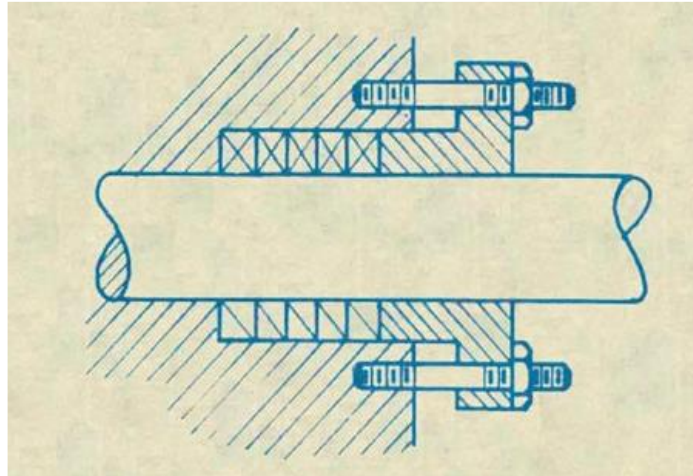
Asiente cada anillo en la caja antes de instalar el siguiente. Escalone las uniones de éstas a 90° si consiste de 4 anillos o más, a 120° si son tres anillos.



Al montar la empaquetadura tenga en cuenta que el buje interno para la conducción de la lubricación tenga el orificio alineado con la entrada en la caja.



- Monte y fije el prensa-estopas



Se conoce una forma de apretar el prensa-estopas para evitar escapes excesivos a cambio de un goteo normal. Si está goteando mucho por la unión, apriete cada tuerca hexagonal solamente un plano; esto corresponde a la sexta parte de una vuelta. Luego espere unos diez minutos. ¿Para qué? Para dar a la empaquetadura tiempo de ajustarse y reducir el escape excesivo.

Después de 10 minutos la empaquetadura se ha distribuido en la caja prensa estopas y usted puede apretar las tuercas otro plano si el escape es todavía excesivo.

- Almacene la empaquetadura en un sitio limpio y fresco en un envase original para fácil identificación y para evitar contactos con otros materiales.

La empaquetadura que se saca deberá examinarse con el objeto de obtener toda la información que sea posible sobre la camisa del desgaste del empaque.

Algunos de los síntomas más frecuentes encontrados son los siguientes:

- Desgaste excesivo en los anillos más cercanos al prensa-estopas mientras que las del fondo permanecen en buen estado, se debe a un apriete excesivo en la empaquetadura en un ajuste o por no insertar los anillos uno a uno y a empujarlo hasta el lugar antes de insertar el siguiente. El apriete excesivo es la causa principal de calentamiento y fallas de la empaquetadura.
- El carboneo o lustrado de la circunferencia interior de los empaques es causado por el calor excesivo, lubricación insuficiente o material del empaque inadecuado para las condiciones de presión y temperatura.
- El desgaste de la circunferencia exterior del anillo ocurre cuando giran dentro de la caja del estopero.
- El desgaste marcado en una porción de la circunferencia interior puede ser causado por cojinetes excesivamente gastados o el giro excéntrico del eje.
- Si algunos anillos se cortan muy escasos o se escogen excesivamente, los anillos adyacentes se hincharán y se deforman en el espacio abierto.

INSPECCION LA BOMBA

La caja de la bomba y el impulsor se deben inspeccionar periódicamente, según las condiciones de servicio, de ser necesario se deben quitar las materias extrañas y obstrucciones. Cerciórese de que los huecos del impulsor estén libres.

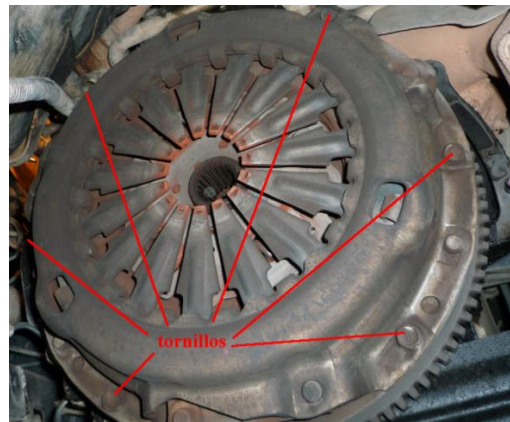
COJINETES Y LUBRICACIÓN

La vida de cualquier cojinete depende del cuidado que se le dé, se le aplique lubricante apropiado para tal fin.

III. EMBRAGUE PARA MESA ROTARIA Y BOMBA DE LODOS (CAPACIDAD 41 CV)

Se deben quitar los 6 tornillos (llave 12 mm) que sujetan el plato de presión al volante motor. Una vez quitados los tornillos, se saca el plato de presión y el disco del embrague. Tener cuidado con los ojos, que caerá bastante polvillo negro del desgaste del disco del embrague.

Una vez desmontado el plato de presión y el disco, se comprueba que las piezas nuevas son iguales que las piezas a sustituir.



Otro elemento a sustituir es el rodamiento de apoyo del primario, instalado en el cigüeñal. Si no se dispone de extractor específico para estos rodamientos, se puede sacar empleando un taco metálico y una copa para hacer las veces de extractor. Primero se mete el taco a presión en el rodamiento.



Luego se coloca la copa bien centrada en el cigüeñal y se pone la arandela y la tuerca del taco. Empezando a apretar la tuerca; si da vueltas el taco, se sujeta con una mordaza. Hay veces que le cuesta soltar al rodamiento, pero así se puede sacar sin problemas.



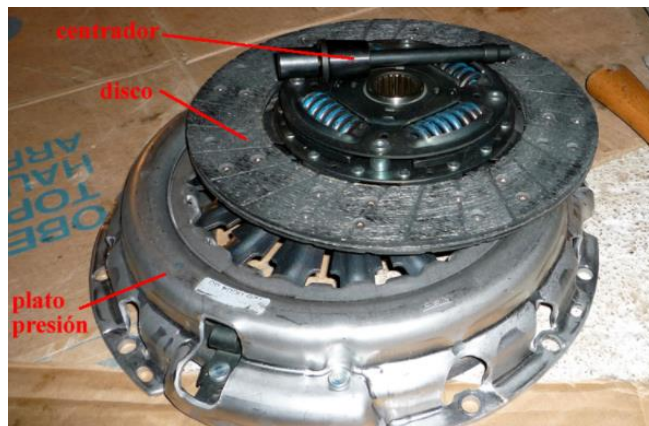
Hay que limpiar bien el asiento del rodamiento, dándole un poco de grasa y colocando el nuevo rodamiento. Se puede ayudar del rodamiento viejo o de una copa del diámetro adecuado para no golpear directamente sobre el rodamiento nuevo, evitando así romper el sellado del mismo.



Después, se coloca el volante motor en la misma posición, dando fijador en los tornillos. Si se ha apurado mucho el embrague y se ha marcado el volante motor, se puede llevarlo a rectificar antes de montarlo.



El siguiente paso es colocar el disco de embrague y plato de presión nuevos. Se necesita un centrador para dejar el disco bien centrado sobre el volante motor. Se debe ir apretando los 6 tornillos del plato de presión de forma progresiva para no forzar el muelle del plato.



IV. TRANSMISIÓN POR CORREAS DEL MOTOR A EJE DE REDUCTOR DE VELOCIDAD

INSTALACION DE UNA TRANSMISIÓN

A continuación encontrará algunas sugerencias que debe tomar en cuenta al momento de instalar una transmisión:

- Utilice un juego de bandas “hermanadas”, es decir, que sean del mismo fabricante.
- Limpie la grasa y el aceite de las poleas; quite cualquier rastro de óxido que pudiera haber en las ranuras de las poleas.
- Acorte la distancia entre centros de la transmisión hasta que las bandas puedan ser instaladas sin necesidad de forzarlas.
- Asegúrese que las poleas estén debidamente alineadas, que los ejes estén paralelos, que la transmisión tenga espacio suficiente para operar y que los rodamientos estén lubricados.

- Mueva las bandas manualmente en las ranuras de modo que el lado flojo de todas las bandas quede en la parte superior o en la inferior. No deje bandas con el lado flojo en la parte inferior (línea sólida) y otras con el lado flojo en la parte superior (línea punteada). Debido a que las bandas no se deslizarán en la ranura, dejarlas así dañará las bandas al momento de tensarlas para operación. Tense la transmisión hasta que aparezca un pequeño arco en el lado flojo de las bandas ya en operación.

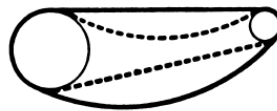
DE ESTE MODO:
(lado flojo en la parte superior)



O DE ESTE MODO:
(lado flojo en la parte inferior)



NO DEBE APLICARSE DE ESTE MODO:
(con lado flojo en la parte superior e inferior)



- Después de un día o dos, cuando las bandas hayan tenido tiempo de asentarse en las ranuras, ténselas una vez más.

TENSADO DE UNA TRANSMISIÓN.

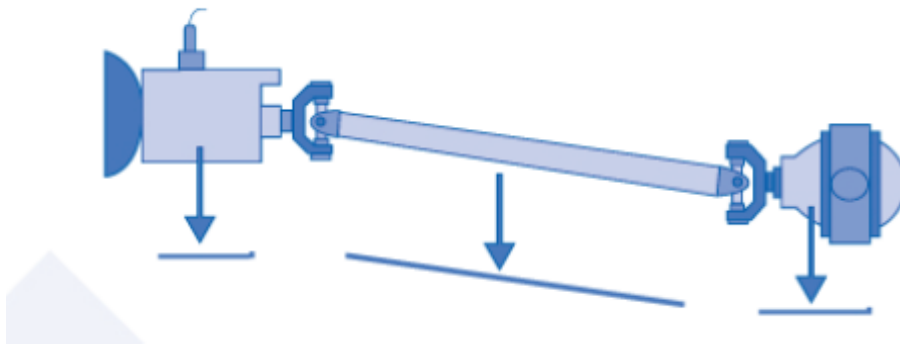
Reglas generales para tensar:

- La tensión ideal es la mínima requerida para que las bandas no se patinen bajo condiciones de picos de carga.
- Revise la tensión frecuentemente dentro de las primeras 48 horas de operación.
- Una sobretensión acorta la vida de las bandas y de los rodamientos.
- Mantenga las bandas sin materiales extraños que puedan causar deslizamiento.
- Inspeccione periódicamente la transmisión. Tense las bandas cuando haya deslizamiento.

V. JUNTAS UNIVERSALES (CARDAN DE EMBRAGUES A MESA ROTARIA Y A MOTOR HACIA BOMBA DE LODOS)

INCLINACIÓN

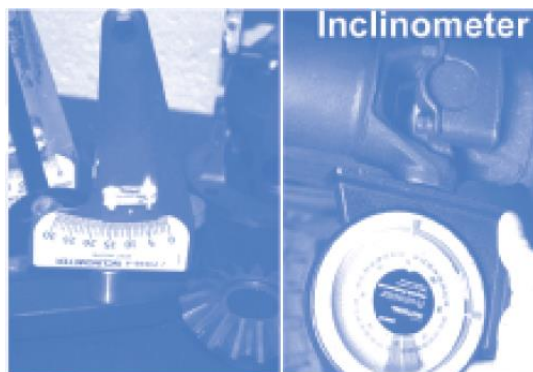
Al reemplazar una cruceta, tenga cuidado de verificar la inclinación del eje cardán, así como la posición que mantiene la transmisión y el eje trasero.



También es importante comprobar las condiciones de los soportes de motor así como el vencimiento de la suspensión, ya que esto puede provocar una mayor inclinación de cruceta dando como resultado vibraciones que pueden llegar a destruir la misma cruceta, al yugo o causar serios problemas en la unidad.



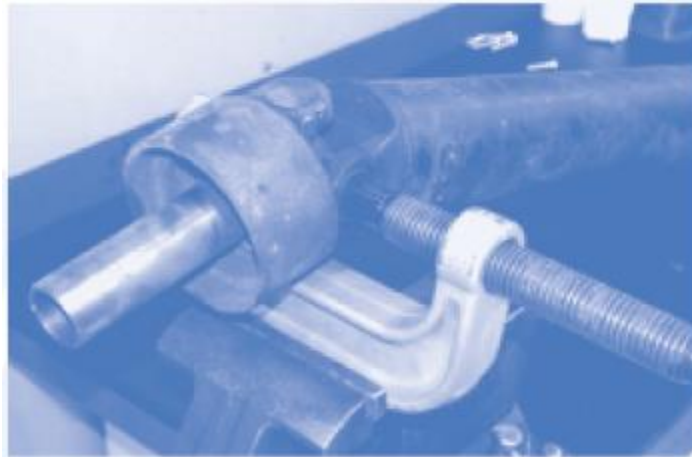
Para comprobar la inclinación del eje es importante utilizar una herramienta especial que nos pueda ayudar a determinar la inclinación del eje, el uso de un inclinómetro nos puede permitir saber la posición de la flecha cardán.



INSTALACIÓN

Al instalar una cruceta evite provocar daños a los componentes, utilice la herramienta adecuada.

Evite daños al yugo: Un inserto o una prensa pueden ayudar durante el reemplazo de una cruceta, de esta manera evitamos deformar el yugo.



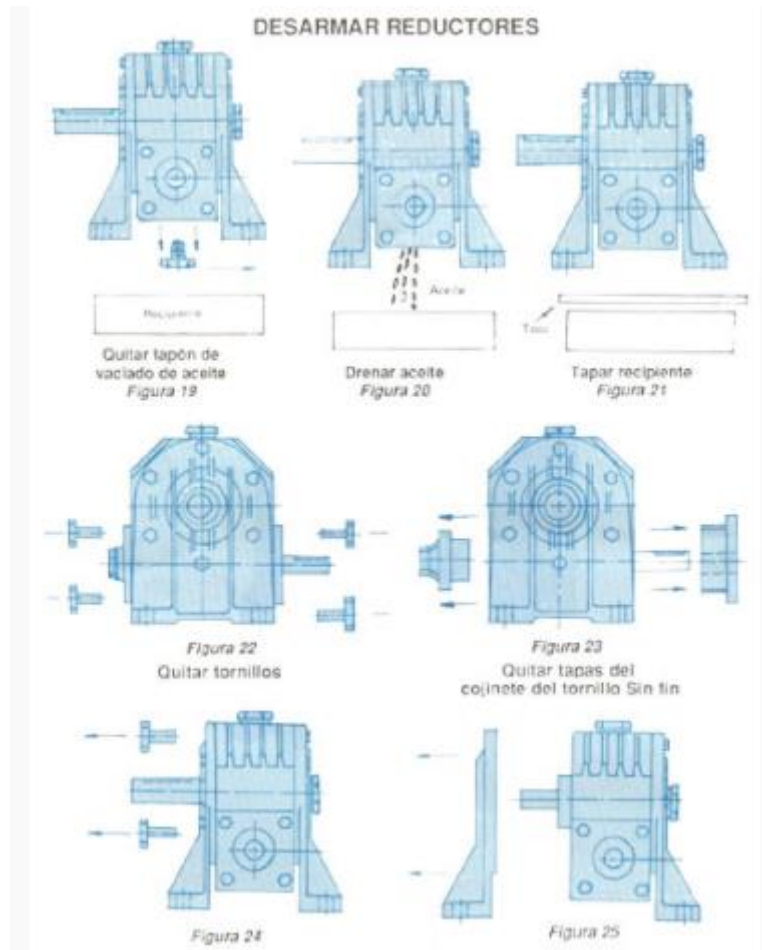
VI. REDUCTOR DE VELOCIDAD HACIA MALACATE Y MESA ROTARIA

LUBRICACIÓN

AGMA emite especificaciones que definen los aceites para engranajes en términos de números AGMA y esos números son usados para la recomendación del lubricante para las condiciones de operación frecuentemente encontradas. Una set de especificaciones cubre los lubricantes para engranajes bajo condiciones normales de carga, una lista separada se aplica a aceites donde existen condiciones moderadas de carga (no incluye las severas condiciones de extrema presión encontradas en los engranajes hipoidales de los automotores).

CENTROS DEL SIN FIN	Velocidad del Sin-Fin R.P.M	Temperaturadel Ambiente 50° a 125°F (10°C a 50°C)
Sin fin cilíndrico		
Hasta 6 pulgadas	Hasta 700	Cylessso TK 460
De 6 a 12 pulgadas	Hasta 450	Cylessso TK 460
De 12 a 18 pulgadas	Hasta 300	Cylessso TK 460
De 18 a 24 pulgadas	Hasta 250	Cylessso TK 460
Arriba de 24 pulgadas	Hasta 200	Cylessso TK 460
Sin fin de doble envolvente		
Hasta 6 pulgadas	Hasta 700	Cylessso TK 1000
De 6 a 12 pulgadas	Hasta 450	Cylessso TK 1000
De 12 a 18 pulgadas	Hasta 300	Cylessso TK 1000
De 18 a 24 pulgadas	Hasta 250	Cylessso TK 1000
Arriba de 24 pulgadas	Hasta 200	Cylessso TK 1000

MANTENIMIENTO

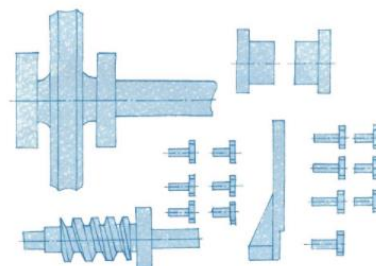


Quitar tapa del soporte de la corona, al retirar las tapas tener cuidado con los empaques.

- Extraer tornillo sin fin: Hago girar el eje del tornillo sin-fin en el sentido que indica la flecha y según el sentido del filete del sin-fin, ejerciendo presión para extraerlo.

REVISAR REDUCTOR

Lavado de piezas



En el lavado de piezas no es recomendable el uso de derivados de hidrocarburos a pesar de ser lo más usado por la facilidad de adquisición y por ser menos costoso. Se encuentran en el comercio productos detergentes que pueden ser aplicados puros o en solución con agua, los que presentan las siguientes ventajas:

- No son corrosivos.
- No contienen sustancias alcalinas.
- No son tóxicos.
- No son inflamables.
- No presentan problemas de contaminación.
- Su uso no presenta peligro para las partes del cuerpo que estén en contacto.
- No requieren del uso de aire o presión para el secado.

Cuando se utilizan derivados del petróleo, se recurre a aire a presión para acelerar el secado de piezas cuidando que el aire que se utiliza esté seco.

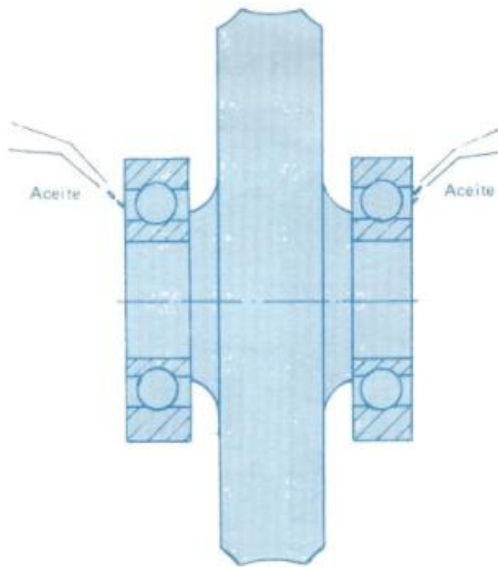
- Revisión de rodamientos: Aplicar los conocimientos adquiridos sobre rodamientos. Al encontrar juego excesivo, pistas deterioradas o aros partidos, se debe cambiar el rodamiento. Vida útil del rodamiento.
- Revisión de corona y tornillo sin-fin: Verificación visual y al tacto del estado de los dientes de la corona y del espiral del sin-fin.

El juego excesivo entre corona y sin-fin no es reparable, salvo construyendo un sin-fin o una corona que elimine ese juego. Revisar bujes si los hay.

- Armar reductor: Aceitar ligeramente los rodamientos y hacerlos girar para cubrir las pistas de lubricante.

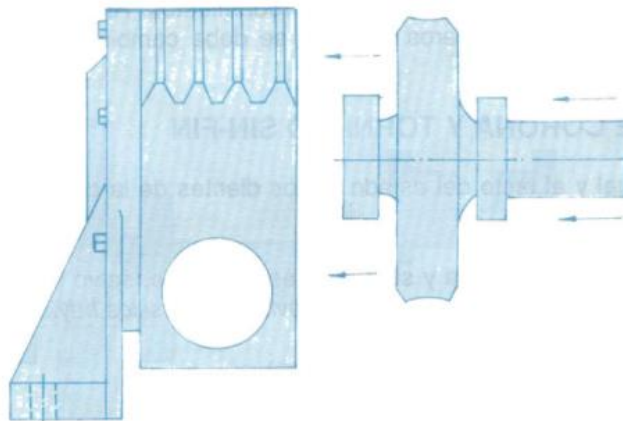
Los reductores para baja transmisión utilizan rodamientos rígidos de bolas y los de alta potencia, utilizan rodamientos de rodillos cónicos.

Para el montaje de rodamientos de rodillos cónicos se aplica el montaje en disposición en "X".

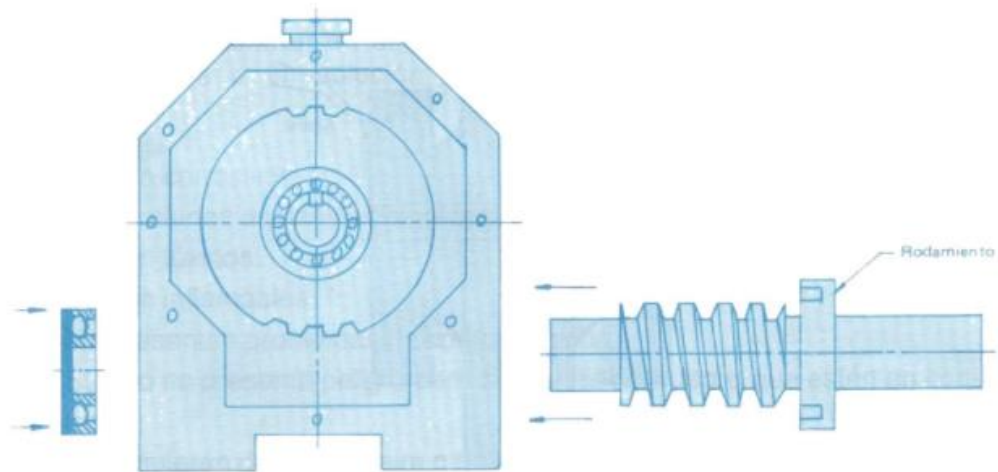


- Montar sin-fin y rodamiento: Al montar el sin-fin se aplica presión ligeramente haciéndolo girar en el sentido que se indica en la gráfica.

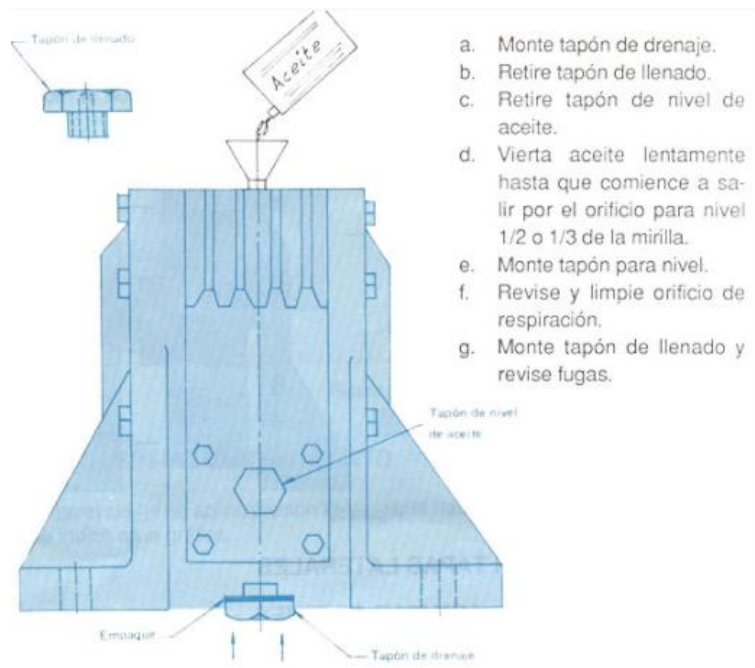
MONTAR CORONA



- Montar tapa: Antes de montar la tapa verifique el estado del empaque; si es necesario, repóngalo construyendo uno nuevo o aplicando un material para sellamiento después de haber limpiado correctamente la superficie. Para la aplicación de productos de sellamiento basta con cubrir una de las superficies, que al montar la tapa y ajustar los tornillos, ésta se esparce homogéneamente.



- Llenado de aceite.



- Monte tapón de drenaje.
- Retire tapón de llenado.
- Retire tapón de nivel de aceite.
- Vierta aceite lentamente hasta que comience a salir por el orificio para nivel 1/2 o 1/3 de la mirilla.
- Monte tapón para nivel.
- Revise y limpie orificio de respiración.
- Monte tapón de llenado y revise fugas.

VII. MANTENIMIENTO DE BATERÍAS

RECARGA DE LA BATERÍA

- CUIDADOS EN LA PREPARACION DEL CIRCUITO DE CARGA: Posicionar las baterías para que haya un espaciamento entre ellas de, por lo menos, 20 mm.

Poner en el mismo circuito solamente baterías de misma capacidad y mismo estado de carga. Eso evita que las baterías poco descargadas sufran sobrecarga cuando conectadas en el mismo circuito de una batería que necesite mayor tiempo de recarga.

Las baterías deben siempre ser conectadas en serie, o sea, el polo positivo de una batería debe estar conectado al polo negativo de la batería vecina, quedando, por lo tanto, siempre abierto el polo positivo de la primera y el polo negativo de la última batería.

Todas las baterías para recarga deberán tener su densidad y/o tensión en abierto chequeadas, de modo que sea posible clasificar las baterías en grupo (estado de carga), para que estas sean puestas en un mismo circuito en el proceso de recarga.

Atención: nunca conecte el polo positivo con el polo negativo de una misma batería o de la misma serie, pues eso ocasionará cortocircuito.

Verificar si las conexiones (pipas) están con buen contacto, aplicando una pequeña torsión en ellas, presionándolas contra el polo.

- Recarga con corriente constante: Al recargar la batería con una corriente constante, el voltaje aumenta lentamente durante la recarga. Al final, el voltaje aumenta rápidamente y el proceso debe ser interrumpido en el valor límite de voltaje.

Ejemplo: Batería de 45 Ah.

Corriente de Recarga: $45 \times 0,1 = 4,5$ A (10% de la capacidad nominal de la batería).

El tiempo de recarga varía entre 6 y 15 horas dependiendo del estado de carga de la batería. Batería levemente descargada necesita menor tiempo de recarga, mientras que una batería profundamente descargada necesita un tiempo mayor.

La tabla a continuación contiene el tiempo necesario de recarga, con corriente constante a 10% de la capacidad nominal:

Tensión de la batería en vacío (voltios)	Tiempo de recarga (horas)
12,00 a 12,20	4,5
11,80 a 11,99	7,0
11,50 a 11,79	9,0
11,00 a 11,49	11,0
Baterías profundamente descargadas	15,0

Atención: la temperatura durante el proceso de recarga no deberá sobrepasar 50° C.

Nota:

- Poner siempre la cantidad de carga necesaria para la batería. Tiempos prolongados de carga, principalmente con corriente constante, pueden causar en la batería un estado de sobrecarga, ocasionando pérdida de agua innecesaria en el proceso.
- Evitar cargas rápidas sin control de temperatura, corriente y tiempo.
 - Recarga con Tensión Constante: En este método de carga, la corriente inicial impuesta a la batería debe ser limitada a 25 A y la tensión a 14,4 V.

El tiempo de carga de la batería varía según el estado de carga de la batería, conforme la tabla abajo:

Tensión de la batería en vacío (voltios)	Tiempo de recarga (horas)
12,00 a 12,20	6 a 12
11,80 a 11,99	10 a 16
11,50 a 11,79	16 a 20
11,00 a 11,49	20 a 24
Baterías profundamente descargadas	24 a 30

Atención: la temperatura de la batería durante el proceso de recarga no deberá sobrepasar 50° C.

- ACCIONES DURANTE Y DESPUÉS DE LA RECARGA

Durante el proceso de recarga, verifique constantemente los siguientes puntos:

- Temperatura del electrolito, si posible. Si no, la temperatura de la caja de la batería debe ser verificada y ella no puede sobrepasar 50° C. El proceso de recarga debe ser interrumpido si esa temperatura es sobrepasada. Cuando todas las baterías del circuito de recarga alcancen un valor de 45° C, el proceso de recarga puede ser retomado.
- Tiempo de recarga: Se recomienda esperar alrededor de 20 minutos para que los gases se disipen antes de retirar los cables de las baterías, porque algunos recargadores permanecen cargados y pueden producir chispas.

Ponga las tapas de ventilación o tubos de gas de vuelta a sus lugares si ellos son retirados. Lave la batería con agua caliente y séquela.

VIII. MESA ROTARIA

Para el mantenimiento de la mesa rotaria se siguen estos pasos:

- Vaciado de valvulina en el *speed* y corona: Se desocupa la parte interna del bastidor de la mesa rotaria para su posterior desarmado de la estructura y desarmado de la tapa superior.

- Desarmado: Se debe hacer una marca en la tapa superior y el bastidor para una correcta ubicación en el armado. Después se aflojan las tuercas y tornillos y se suelta la tapa superior y la tapa del eje del speed, para extraer el eje del speed y después el de la corona, en el cual se encuentran los dos rodillos de carga radial y axial, y la corona misma. Posterior a este paso se puede hacer el cambio de la pieza que se necesite, de acuerdo a cual se encuentra en falla.



- Ensamblaje: se acopla primero el eje de la corona, con sus elementos ubicados. Después se acopla el eje del *speed*, junto con su rodamiento cónico y el flanche, atornillado en el mismo eje. Este flanche se encuentra estriado en su parte interna, por lo tanto en el eje también hay una sección estriada especial para este elemento. Posteriormente se atornillan la tapa del eje del *speed* y la tapa superior.
- Llenado de valvulina: Se debe llenar hasta cierto nivel de la carcasa, el cual está delimitado por la ubicación de los engranajes helicoidales en un sentido vertical, para que queden totalmente cubiertas de este lubricante.

ANEXO J. CARTA CERTIFICACIÓN EMPRESA



PERFORACIONES, MONTAJES, EQUIPOS Y SUMINISTROS S.A.S.
Nit. 900.449.347-3

Yopal, 17 de octubre de 2017

Señores
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO
Ciudad

La empresa **PERFORACIONES MONTAJES EQUIPOS Y SUMINISTROS S.A.S.**, Nit. 900.449.347-3, en representación legal del señor **ELIBERTO SERRANO CABRERA** con Cedula de Ciudadanía No. 9.534.122 de Sogamoso, **CERTIFICA**, que los estudiantes **RAUL ANDRES SERRANO BAYONA**, identificado con Cedula de Ciudadanía No. 1.118.560.215 expedida en Yopal, y **NELSON ERNESTO CANO CORREDOR**, identificado con Cedula de Ciudadanía No.1.118.558.808 de Yopal, realizaron el diseño y construcción de una Unidad Móvil de Perforación para pozos profundos de agua, con capacidad para 100 metros de tubería de acero SCH 80, de diámetro 2 pulgadas, para trabajo en zona de sabana, instalando un motor Diésel de 22 HP a 3600 RPM, con bomba centrífuga para el sistema de circulación de 10 HP y sistema de levantamiento el cual trabaja a 60 ft/min. Todo esto se desarrolló con asesoría, financiación y mano de obra de la empresa y se comprueba que la máquina trabaja en óptimas condiciones.

Atentamente,

PERFORACIONES MONTAJES EQUIPOS Y SUMINISTROS SAS
ELIBERTO SERRANO CABRERA
REPRESENTANTE LEGAL

Carrera 20 No. 17 – 15. Celular 310 – 8716905
permonteqsas@gmail.com