

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **PROYECTO DE UN BANCO DE PRUEBA PARA UNA HERRAMIENTA UTILIZADA EN PERFILAJES DE POZOS PETROLEROS, TIPO TRACTOR DE POZO.**

Presentado ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela

Por el Bachiller

**Domínguez T, Basinger E**

Para optar al título de Ingeniero Mecánico

**Caracas 2014**

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **PROYECTO DE UN BANCO DE PRUEBA PARA UNA HERRAMIENTA UTILIZADA EN PERFILAJES DE POZOS PETROLEROS, TIPO TRACTOR DE POZO.**

**Tutor académico: Prof. José Manuel Gómez**

Presentado ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela

Por el Bachiller

**Domínguez T, Basinger E**

Para optar al título de Ingeniero Mecánico

**Caracas 2014**

## **DEDICATORIA**

A mi madre, por mostrarme el camino a seguir, con amor y perseverancia, y apoyando incondicionalmente todas mis decisiones, siendo mi ejemplo a seguir.

A mi abuela Josefina Martínez, que me da fuerzas para seguir adelante, donde quiera que estés, nunca me faltas.

## **AGRADECIMIENTOS**

Antes que nada a Dios, por darme fuerza en los momentos más difíciles.

A la ilustre Universidad Central de Venezuela, por brindarme las herramientas necesarias, para emprender este camino como profesional, a su personal docente y administrativo, por estar allí en el día a día, y por sus hermosos espacios, que formaron parte de mi hogar, mi segunda casa.

A mi mamá Yajaira Terán y a mis papas José Antonio Fernández y Zarzel Domínguez, mis hermanos: Zarzelito, Efraín, José Antonio y Zonia, por siempre estar en las buenas y en las malas, a Yeli por acompañarme cuando más la necesitaba, este es el resultado de lo que significan para mí.

A mi familia Terán, abuela Benilde, Abuelo Terán, tíos: Johana, Jaqui, John y Manuel, primos: Jonathan, Antonieta, Johan, Emmanuel, Fabiana y Joseph, por su guía, quienes con su alegría y amor, han motivado a mis logros.

A mi familia Domínguez, abuelo Zarzel y abuela Josefina, tíos Beatriz, Ilka, Ricardo y Osman. Y mis primos, por su cariño y apoyo incondicional.

A mi tutor: José Manuel Gómez, por ser como un padre para mi, gracias por tus enseñanzas y dedicación.

Al equipo Formula SAE UCV, por haberme hecho crecer, como persona y como ingeniero, siempre serán mi familia.

A todo el personal de Schlumberger, Maturín, al ingeniero William Antonio, y todo el equipo de MDT, especialmente al especialista de

mantenimiento, Henry Pérez, gracias por haberme hecho sentir en casa y darme esta gran oportunidad.

Por último, pero no menos importante, a mis compañeros de estudio y amigos, Ángel Ríos, Andrés, Anita, Juancarlos, Juan Avendaño, Reinaldo, Andrea, Gustavo, Javier y Abraham, gracias por estos años maravillosos, sin ustedes no hubiese sido lo mismo.

Y a todos aquellos, que me han dado aliento con sus oraciones, apoyo moral y económico.

## **RESUMEN**

**DOMINGUEZ T. BASINGER E.**

### **PROYECTO DE UN BANCO DE PRUEBA PARA UNA HERRAMIENTA UTILIZADA EN PERFILAJES DE POZOS PETROLEROS, TIPO TRACTOR DE POZO.**

**Tutor académico Prof. José Manuel Gómez. Tesis. Caracas, U.C.V.  
Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. Ingeniero  
Mecánico. Institución: Schlumberger. 2014. 143 páginas.**

**Palabras Claves: Diseño, Tractor de Pozo, Banco de Pruebas,  
Coeficiente de Fricción, Perfilaje de Pozo.**

**Resumen.** La investigación presentada parte de la observación sistemática de una herramienta usada por una empresa de servicios petroleros, para el perfilaje de pozos petroleros de alta desviación, tipo tractor de pozos, modelo: "TuffTRAC-XTRA-A". El análisis condujo a la investigadora a una primera conceptualización de un proyecto de diseño de un banco de prueba, para el tractor de pozo petrolero antes mencionado. Para su concepción se tomaron en consideración factores observados en la pasantía realizada por la estudiante en la empresa de servicios petroleros; donde analizo de la herramienta características tales como: mantenimiento, las fallas, y elementos de fabricación. Lo antes indicado, oriento el planteamiento del problema de la investigación, situada en la idea de la eficiencia y eficacia de la herramienta en estudio en el campo de trabajo; indicando que la competencia de la herramienta podría aumentar si los parámetros de rendimiento estuvieran evaluados previamente en un banco de pruebas diseñado específicamente para la herramienta. Por lo antes planteado el investigador presenta un diseño del banco de prueba específico para el tractor de pozos modelo indicado, cuyo diseño consiste básicamente en una simulación de la trayectoria a seguir por la herramienta en el pozo midiendo cambios de diámetro, desviaciones y fuerza de empuje de la misma.

## TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA .....	I
AGRADECIMIENTOS .....	II
RESUMEN .....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIV
ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS .....	XV
UNIDADES .....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO I .....	4
FUNDAMENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....	4
1.1 <i>Planteamiento del Problema</i> .....	4
1.2 <i>Objetivo General</i> .....	6
1.2.1 <i>Objetivos Específicos:</i> .....	6
1.3 <i>Justificación de la investigación</i> .....	7
1.4 <i>Antecedentes de la Investigación</i> .....	8
1.5 <i>Alcances</i> .....	11
1.6 <i>Limitaciones</i> .....	11
CAPITULO II .....	13
MARCO TEÓRICO .....	13
2.1 <i>Variables de interés relacionadas con el tractor de pozo</i> .....	13

2.1.1 Registros Eléctricos.....	13
2.1.2 Tractor de pozo “TuffTRAC-XTRA-A”.....	14
2.1.2.1 Descripción general y especificaciones .....	14
2.1.2.2 Teoría de Operaciones .....	16
<b>2.2 El diseño y su metodología.....</b>	<b>26</b>
2.2.1 Análisis de la necesidad.....	27
2.2.2 Generación de soluciones.....	28
2.2.2.1 Tormentas de ideas.....	28
2.2.2.2 Técnicas creativas para generar ideas .....	29
2.2.3 Evaluación, selección y desarrollo .....	30
2.2.3.1 Análisis morfológico.....	30
2.2.4 Desarrollo del diseño final .....	30
<b>2.3 Materiales para el banco de prueba del tractor de pozo. ....</b>	<b>31</b>
2.3.1 Aceros al carbón y sus propiedades. ....	31
2.3.2 Maquinabilidad .....	33
2.3.3 Soldadura.....	33
2.3.3.1 Soldadura por electrodo revestido.....	33
<b>2.4 Instrumentación .....</b>	<b>35</b>
2.4.1 Dinamómetro.....	35
<b>2.5 Paquete SolidWorks .....</b>	<b>36</b>
<b>2.6 Mecánica de materiales.....</b>	<b>39</b>
2.6.1 Esfuerzos internos.....	39
2.6.1.1 Resistencia de materiales aplicada .....	40
2.6.2 Teorías de Fallas.....	41
2.6.2.1 Teoría del esfuerzo cortante máximo.....	41
2.6.2.2 Teoría de la energía de distorsión .....	42
2.6.2.3 Comparación entre los dos criterios.....	42
<b>2.7 Consideraciones ergonómicas.....</b>	<b>43</b>
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>47</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>47</b>

3.1 Descripción del problema .....	47
3.1.1.- Metodología para las Operaciones .....	47
3.1.1.1- En la Base (antes de salir al trabajo de campo): .....	47
3.1.1.2- En el pozo.....	50
3.1.1.3.- En la Base (al regresar del trabajo): .....	54
3.2 Mapa Mental.....	56
3.3 Consideraciones del diseño.....	58
3.4 Generación de ideas.....	59
3.5 Planteamiento de ideas .....	63
3.6 Selección .....	70
3.6.1 Matriz morfológica .....	71
3.6.2 Selección de material .....	73
3.6.3 Selección del dinamómetro .....	73
CAPITULO 4.....	76
CÁLCULOS Y RESULTADOS.....	76
4.1 Modelado de sólidos del banco de pruebas.....	76
4.2 Simulaciones Estructurales.....	86
4.2.1 Simulación estructural de la sección de tubos .....	87
4.2.2 Simulación estructural de los apoyos del banco de pruebas.	
	93
4.3 Cálculo de los pernos.....	103
4.4 Condiciones de movimiento de la herramienta .....	104
CAPITULO 5.....	106
MANUAL DE OPERACIÓN .....	106
5.1 Información importante para los operadores de la maquinaria. ....	106
5.2 Funcionamiento de la herramienta.....	107
5.3 Protecciones.....	109

CAPITULO 6 .....	110
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	110
6.1 <i>Conclusiones</i> .....	110
6.2 <i>Recomendaciones</i> .....	110
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	112
GLOSARIO .....	114
APÉNDICES .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
APENDICES 1: PLANOS DE DISEÑO. ....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
ANEXO: MAQUETA.....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura nº 1. <b>Tractor de pozo “TuffTRAC-XTRA-A”</b> . Fuente: <a href="http://theogm.com/2012/02/25/pushing-the-boundaries-with-oilfield-tractors/">http://theogm.com/2012/02/25/pushing-the-boundaries-with-oilfield-tractors/</a> .....	14
Figura nº 2. <b>Tractor de pozo “TuffTRAC-XTRA-A” con configuración de dos cuerpos</b> . T Shereitov. Manual de mantenimiento del TuffTRAC, versión 1.9. 2013. ....	16
Figura nº 3. <b>Diferentes configuraciones del tractor de pozo “TuffTRAC-XTRA-A”</b> . T Shereitov. Manual de mantenimiento del TuffTRAC, versión 1.9. 2013.....	16
Figura nº 4. <b>Tractor de pozo “TuffTRAC-XTRA-A”, en trabajo operacional</b> . T Shereitov. Manual de mantenimiento del TuffTRAC, versión 1.9. 2013. ....	17
Figura nº 5. <b>Tren de engranajes, en los brazos del tractor de pozo</b> . Fuente: T Shereitov. Manual de mantenimiento del TuffTRAC, versión 1.9. 2013.....	20
Figura nº 6. <b>Brazos del tractor de pozo</b> . Fuente: el autor.....	21
Figura nº 7. <b>Eficiencia teórica en fondo de pozo de tractores en el mercado</b> . Fuente: T Shereitov. Manual de mantenimiento del TuffTRAC, versión 1.9. 2013. ....	25
Figura nº 8. <b>Ficha suministrada por PDVSA</b> . Fuente: el autor.....	32
Figura nº 9. Esquematación de la soldadura por electrodo revestido. Fuente: <a href="http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn45.html">http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn45.html</a> .....	34
Figura nº 10. <b>Dimensiones recomendadas para la estación de trabajo de pie</b> . Fuente: Niebel, Freivalds. Ingeniería Industrial, Métodos, Estándares Y Diseño Del Trabajo. 2005.....	45

Figura nº 11. <b>Mapa Mental realizado por la autora.</b> Fuente: el autor. ....	57
Figura nº 12. <b>Esquema final del Mapa Mental.</b> Fuente: el autor. ....	57
Figura nº 13. <b>Foto tomada del área de cables.</b> Fuente: el autor. ....	58
Figura nº 14. <b>Idea nº 1 para la unión de las tuberías.</b> Fuente: el autor. ....	63
Figura nº 15. <b>Idea nº 2 para la unión de las tuberías.</b> Fuente: el autor. ....	64
Figura nº 16. <b>Idea nº 3 para la unión de tuberías.</b> Fuente: el autor. ....	64
Figura nº 17. <b>Idea nº 1 para la trayectoria del banco de pruebas.</b> Fuente: el autor. ....	65
Figura nº 18. <b>Idea nº 2 para la trayectoria del banco de pruebas.</b> Fuente: el autor. ....	66
Figura nº 19. <b>Idea nº 3 para la trayectoria del banco de pruebas.</b> Fuente: el autor. ....	67
Figura nº 20. <b>Idea nº 1 para el apoyo del banco de prueba.</b> Fuente: el autor. ....	68
Figura nº 21. <b>Idea nº 2 para el apoyo del banco de prueba.</b> Fuente: el autor. ....	69
Figura nº 22. <b>Idea nº 3 para el apoyo del banco de prueba.</b> Fuente: el autor. ....	69
Figura nº 23. <b>Dinamómetro DN275.</b> Fuente: <a href="http://www.gisiberica.com/dinam%C3%B3metros/dinam%C3%B3metros.htm">http://www.gisiberica.com/dinam%C3%B3metros/dinam%C3%B3metros. htm</a> .....	74
Figura nº 24. <b>Tubo de revestimiento de 4,5 pulgadas de diámetro externo, 0,307 pulgadas de espesor y 30 pies de longitud.</b> Fuente: el autor. ....	79
Figura nº 25. <b>Tubo de revestimiento de 6 5/8 pulgadas de diámetro externo, 0,288 pulgadas de espesor y 15 pies de longitud.</b> Fuente: el autor. ....	80

Figura nº 26. <b>Tubo de revestimiento de 9 5/8 de diámetro externo, 0,312 pulgadas de espesor y 30 pies de longitud.</b> Fuente: el autor.....	80
Figura nº 27. <b>Adaptador cónico de 4 1/2 de pulgada a 6 5/8 de pulgada.</b> Fuente: el autor.....	80
Figura nº 28. <b>Adaptador cónico de 6 5/8 de pulgada a 9 5/8 de pulgada.</b> Fuente: el autor.....	81
Figura nº 29. <b>Codo de 45 grados.</b> Fuente: el autor. ....	81
Figura nº 30. <b>Apoyo para la tubería de 4 1/2 de pulgada.</b> Fuente: el autor. ....	82
Figura nº 31. <b>Apoyo para la tubería de 6 5/8 de pulgada.</b> Fuente: el autor. ....	83
Figura nº 32. <b>Apoyo para la tubería de 9 5/8 de pulgada.</b> Fuente: el autor. ....	83
Figura nº 33. <b>Abrazadera para la tubería de 4 1/2 de pulgada.</b> Fuente: el autor.....	84
Figura nº 34. <b>Abrazadera para la tubería de 6 5/8 de pulgada.</b> Fuente: el autor.....	84
Figura nº 35. <b>Abrazadera para la tubería de 9 5/8 de pulgada.</b> Fuente: el autor.....	85
Figura nº 36. <b>Banco de fijación de la patecla horizontal.</b> Fuente: el autor. ....	85
Figura nº 37. <b>Patecla Horizontal.</b> Fuente: el autor.....	86
Figura nº 38. <b>Propiedades del acero AISI 4340 normalizado.</b> Fuente: el autor.....	87
Figura nº 39. <b>Información de la malla.</b> Fuente: el autor.....	88
Figura nº 40. <b>Ensamblaje del banco de pruebas.</b> Fuente: el autor.....	89
Figura nº 41. <b>Fijación del banco de pruebas y colocación de las fuerzas actuantes.</b> Fuente: el autor.....	89

Figura nº 42. <b>Esfuerzos de Von Mises para la fuerza aplicada en la primera sección.</b> Fuente: el autor. ....	90
Figura nº 43. <b>Deformación para la fuerza aplicada en la primera sección.</b> Fuente: el autor.....	90
Figura nº 44. <b>Esfuerzos de Von Mises para la fuerza aplicada en la segunda sección.</b> Fuente: el autor.....	91
Figura nº 45. <b>Deformación para la fuerza aplicada en la segunda sección.</b> Fuente: el autor.....	91
Figura nº 46. <b>Esfuerzos de Von Mises para la fuerza aplicada en la tercera sección.</b> Fuente: el autor. ....	92
Figura nº 47. Deformación para la fuerza aplicada en la tercera sección. ....	92
Figura nº 48. Factor de Seguridad para la pieza.....	93
Figura nº 49. <b>Fijación del apoyo al piso y colocación de las fuerzas actuantes.</b> Fuente: el autor.....	94
Figura nº 50. <b>Mallado de los apoyos.</b> Fuente: el autor. ....	95
Figura nº 51. <b>Esfuerzos de Von Mises para el apoyo de 4 ½ de pulgada.</b> Fuente: el autor.....	95
Figura nº 52. <b>Desplazamientos para el apoyo de 4 ½ de pulgada.</b> Fuente: el autor.....	96
Figura nº 53. <b>Factor de seguridad para el apoyo de 4 ½ de pulgada.</b> Fuente: el autor.....	97
Figura nº 54. <b>Esfuerzos de Von Mises para el apoyo de 6 5/8 de pulgada.</b> Fuente: el autor.....	98
Figura nº 55. <b>Desplazamientos para el apoyo de 6 5/8 de pulgada.</b> Fuente: el autor.....	99
Figura nº 56. <b>Factor de seguridad para el apoyo de 6 5/8 de pulgada.</b> Fuente: el autor.....	100

Figura n° 57. <b>Esfuerzos de Von Mises para el apoyo de 9 5/8 de pulgada.</b> Fuente: el autor.....	101
Figura n° 58. <b>Desplazamientos para el apoyo de 9 5/8 de pulgada.</b> Fuente: el autor.....	102
Figura n° 59. <b>Factor de seguridad para el apoyo de 6 5/8 de pulgada.</b> Fuente: el autor.....	103
Figura n° 60. <b>Diagrama de cuerpo libre</b> .....	105

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla nº 1. <b>Especificaciones técnicas de la familia de tractores.</b> Fuente: T Shereitov. Manual de mantenimiento del TuffTRAC, versión 1.9. 2013. 15	
Tabla nº 2. Tabla de la composición química del acero 36Mn2V, de la serie N80. Fuente: <a href="http://www.steeltubings.es/1-2-oil-well-drilling-tube.html">http://www.steeltubings.es/1-2-oil-well-drilling-tube.html</a> .. 32	
Tabla nº 3. <b>Matriz Morfológica.</b> Fuente: el autor. .... 71	
Tabla nº 4. <b>Especificaciones técnicas del dinamómetro.</b> Fuente: <a href="http://www.gisiberica.com/dinam%C3%B3metros/dinam%C3%B3metros.htm">http://www.gisiberica.com/dinam%C3%B3metros/dinam%C3%B3metros.htm</a> ..... 75	
Tabla nº 5. <b>Diámetros comerciales de tubos de revestimiento proporcionado por la empresa Jiangyn Changjiang Oil Special Pipe Manufacture.</b> ..... 76	

## ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

A	área
AISI	American Iron and Steel Institute
AC	corriente alterna
BOP	Blow out Preventer
C	carbono
CAD	computer-aided design (diseño asistido por ordenador)
Cu	cobre
CMTD	Cable Mounted Tension Device
Cr	cromo
DIST	Energía de Distorsión
EPP	Equipo de Protección Personal
F	fuerza
Fr	fuerza de fricción
FN	fuerza normal
FR	fuerza de resistencia
FS	factor de seguridad
FT	fuerza de tracción
Ft	fuerza total
g	gravedad
IDW	Integrated Depth Wheel System
LEH	Logging Equipment Head
m	masa

MH	Mono-cable Head
Mn	manganeso
N	fuerza normal
Ni	níquel
p	plomo
P	peso
PDVSA	Petróleos de Venezuela Sociedad Anónima
PEH	Perforating Equipment Head
Ph	peso de la herramienta
Pr	presión de las ruedas
Pt	peso de la sección de tubos
S	azufre
Si	silicio
T	tensión
V	vanadio
$\mu$	Coeficiente de fricción
$\sigma$	esfuerzo
$\epsilon$	deformación
$\delta$	cambio de longitud
d	longitud
Tmax	esfuerzo cortante máximo
Sy	esfuerzo cortante permisible

## UNIDADES

°C	grados centígrados
dBA	decibeles
in	pulgadas
Kg	Kilogramo
lbs	libras
m	metros
mm	milímetro
N	Newton
lbf	libra fuerza
MPa	Mega Pascal
Pa	Pascal
psi	libra fuerza por pulgada cuadrada
rpm	revolución por minuto

## INTRODUCCIÓN

En la época moderna el petróleo y el gas (Hidrocarburos); son fuentes de energía de gran importancia, no solo utilizadas como combustible para todo tipo de medios de locomoción, sino también como materia prima principal a partir de la cual se fabrican elementos y productos de todo tipo.

Como parte fundamental del proceso de la explotación de hidrocarburos está la actividad de registros eléctricos o perfilaje de pozos que se lleva a cabo desde la exploración hasta la producción de petróleo y gas, en el cual se logra identificar ciertas características de los pozos, como la litología, porosidad, permeabilidad, resistividad, corrosión de tuberías, entre otros, de donde la exactitud de los datos da respuesta a la optimización de los recursos en los yacimientos, y el aprovechamiento al máximo del mismo.

Las empresas de servicios petroleros a nivel mundial, diseñan y fabrican herramientas de trabajo innovadoras y de tecnología avanzada, para la realización del perfilaje de pozos, con el propósito de obtener datos precisos pudiendo brindar un servicio confiable y de alta calidad.

Puesto que la confiabilidad y rentabilidad es un factor clave de cualquier producto utilizado en la industria en general, más aún en la localización de un pozo, también es cierto que un equipo o herramienta a pesar de constituir una innovación maravillosa, también puede estar condenada al fracaso, si en el campo, por algunas condiciones, es incapaz de realizar lo que se espera.

Para alcanzar el rendimiento de alto desempeño en el campo, es indispensable las pruebas previas de las herramientas utilizadas en el proceso. Más aún, porque tienen que ajustarse a la gran diversidad de pozos, elementos ambientales, condiciones geológicas, entre otras

características de los campos en que se explora o explota el petróleo y el gas.

El desarrollo de este proyecto de investigación, contempla realizar un banco de prueba para el tractor de pozo, una herramienta comúnmente utilizada en el perfilaje de pozos, a fin de optimizar los procesos de control de calidad con el objetivo de reducir el número de fallas relacionadas a la herramienta, este tractor de pozo es específicamente un modelo denominado: "TuffTRAC-XTRA-A"; que es un tipo de tractor de pozos utilizada para agujeros entubados. La información que tiene esta investigación es el resultado de la pasantía que realizó la estudiante en Schlumberger, específicamente en el segmento de Registros Eléctricos: "Wireline", donde se brindo al investigador la oportunidad de realizar la observación sistemática de los trabajos de mantenimiento a la herramienta; así como, participar de forma activa tanto, en el mantenimiento como en operaciones de campo con el modelo de tractor de pozos que es objeto de estudio de este trabajo de investigación.

Este trabajo en el marco de la ingeniería mecánica representa un aporte importante en los aspectos tecnológicos de la industria petrolera.

Por último, como parte de esta introducción, se describe de forma resumida, la estructura del presente trabajo de grado.

El documento está estructurado en seis (6) capítulos, cuyo contenido de forma sintetizada es el siguiente: **el primero:** plantea el problema, los objetivos generales y específicos, la justificación, el alcance, los antecedentes y algunas limitaciones del trabajo de diseño del proyecto para un Banco de Prueba de la herramienta denominada tractor de pozos petroleros, **el segundo:** presenta las referencias teóricas que se considera pertinente para el desarrollo de este trabajo, **el tercero:** la metodología que se usara en el diseño del proyecto para un Banco de Prueba del tractor de pozo petrolero, **el cuarto:** Se indica las pruebas, los

cálculos y el ensamblaje, **el quinto:** despliega el Manual de Operación del proyecto, **el sexto y último:** es donde se desarrolla las conclusiones y algunas recomendaciones de la investigación realizada.

# CAPITULO I

## FUNDAMENTO DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1 Planteamiento del Problema

El perfilaje de pozo es el registro eléctrico continuo, realizado por aparatos de medición con el objeto de obtener información del pozo de hidrocarburos. Este registro arroja trazadores gráficos de los estratos del fluido del hoyo, ya sea: del agua, petróleo o gas; que indican propiedades o características del agujero como: las petrofísicas, las acústicas, las radiactivas, las electromagnéticas, las geológicas, u otras. El perfilaje de pozo está controlada desde la superficie por operadores de maquinas al servicio de las empresas prestadoras de servicio petrolero que entrega el producto de este servicio a la empresa petrolera matriz que lo solicito.

Entre las funciones que el perfilaje de pozo, encontramos las siguientes:

- a) Localización y evaluación de los yacimientos de hidrocarburos
- b) Toma y monitoreo del registro del pozo.
- c) Grabación contra profundidad de las características de las formaciones rocosas atravesadas.

Para las empresas que prestan servicios a la industria petrolera la innovación de herramientas de perfilaje de pozos petroleros, con el objeto de obtener datos precisos del pozo que está en estudio, es un reto. Hasta hace unas décadas, el perfilaje de pozos petroleros se realizaba mediante el impulso de la fuerza de gravedad, la que constituía el medio

de transporte de las herramientas y cableado que tomaban los registros para los pozos verticales.

La recuperación de hidrocarburos en los yacimientos condujo al auge de la perforación de pozos altamente desviados para maximizar el área de contacto con el yacimiento y mejorar el retorno de inversión. Sin embargo, la toma de información de perfiles eléctricos se vio limitada debido a que la trayectoria de los pozos desviados impedían que las herramientas de registro llegaran al fondo, debido a que la gravedad era insuficiente para superar la fricción generada por las paredes del pozo durante el descenso de las mismas.

En respuesta, las operadoras de servicios petroleros han desarrollado tecnología, que permite el acceso a los pozos de alta desviación. Entre estas tecnologías se desarrolló la herramienta denominada tractor de pozo.

Se busca que los equipos y las herramientas presenten las menores fallas durante las operaciones, debido a problemas mecánicos o electrónicos, ya que el tiempo perdido en el taladro representa altos costos económicos para la empresa.

Las compañías de servicios petroleros han creado alrededor del mundo centros de investigación donde se llevan a cabo diversos tipos y niveles de pruebas a las herramientas simulando el trabajo operacional.

Es por eso que este trabajo se propone elaborar un proyecto para el diseño de un banco de pruebas para el tractor de pozo, cuyo sistema

realice el ensayo en un ambiente controlado del trabajo que va a realizar la herramienta en el campo, simulando el trabajo operacional.

Para el desarrollo del trabajo de investigación se han conformado las preguntas indicadas a continuación:

- a. ¿Cómo se puede conceptualizar el banco de pruebas del tractor de pozo petrolero?
- b. ¿Cómo funciona el tractor de pozo petrolero?
- c. ¿Qué metodología se puede usar para elaborar el proyecto de diseño del tractor de pozo petrolero?
- d. ¿Cuáles son las especificaciones técnicas de la herramienta en estudio?

## **1.2 Objetivo General**

“Desarrollar el proyecto de un banco de prueba para el tractor de pozo petrolero”

### **1.2.1 Objetivos Específicos:**

- a. Conceptualizar el banco de pruebas para el tractor de pozo petrolero
- b. Describir las especificaciones técnicas del tractor de pozo petrolero.
- c. Analizar el funcionamiento del tractor de pozo petrolero.

- d. Seleccionar la metodología de diseño conceptual a utilizar en el desarrollo del banco de pruebas para el tractor de pozo petrolero.
- e. Definir el modelado geométrico del banco de prueba para el tractor de pozo petrolero.
- f. Establecer las pruebas de funcionamiento del banco de prueba diseñado para el tractor de pozo.
- g. Realizar un manual de operaciones para el banco de pruebas del tractor de pozo petrolero.
- h. Realizar el informe de la investigación realizada.

### **1.3. Justificación de la investigación**

La importancia de desarrollar un proyecto de banco de prueba para el tractor de pozo petrolero, se fundamenta en los aspectos descritos a continuación:

- a. La relevancia que tiene el área donde se va a desarrollar la investigación.
- b. Debido a que este trabajo de investigación se orienta al estudio de una herramienta de última tecnología.
- c. Por las facilidades que este trabajo pueda brindar a otras investigaciones futuras en el área de bancos de pruebas para herramientas que realicen registros geológicos.

#### **1.4. Antecedentes de la Investigación**

En el presente, ante la revolución tecnológica, informática y comunicacional que avanza a pasos agigantados, en las últimas décadas; propiciando una voraz competencia en todo lo que representa desarrollos tecnológicos y mercado.

Evidentemente la situación antes descrita también influye en las operaciones del mercado de los hidrocarburos que están en la permanente confrontación a retos técnicos derivados de la necesidad de obtener petróleo a mayores profundidades en yacimientos cada vez más complejos, ambientes físicos hostiles y sometidos a severas regulaciones ambientales los que tienen mayor presión por los niveles de alta peligrosidad que representa trabajar en los campos petroleros. (Elevados niveles de riesgos humanos, económicos, ambientales, entre otros).

Esto implica que las operadoras de los mercados petroleros le den un valor sustancial a las pruebas, y que un Banco de Prueba en la base de la operadora formando parte integrante del desarrollo y comercialización de la herramienta, aumentando la eficiencia y eficacia en el despliegue del pozo petrolero a vestir.

Es así como diversos tipos y niveles de pruebas se llevan a cabo en varios centros tecnológicos en el mundo.

Entre los centros de tecnología de mayor importancia con que cuenta Schlumberger, están los mencionados a continuación:

- a) El Centro de Tecnología de Terminaciones de Yacimientos de Schlumberger en Rosharon, Texas, han sido utilizados para el desarrollo y la prueba de cañones de disparos, herramientas de adquisición de registros operadas con cable, equipos de disparos operados con la tubería de producción, y, más recientemente, pruebas de formación efectuadas a través de la columna de perforación y equipos de tubería flexible.
  
- b) El Centro de pruebas Schlumberger en Camerún Texas, posee un equipo de perforación con capacidad plena para la ejecución de pruebas de perforación, mediciones de pozos e integración de sistemas. Este centro cuenta con equipos de perforación para la ejecución de pruebas de perforación, mediciones de pozos e integración de sistemas. El equipo de perforación puede manipular tiros de sartas de perforación de tres (3) piezas y esta provisto de bombas de lodo de gran capacidad. Puede ser usado tanto en agujeros descubiertos como entubados y con distintas formas de desviaciones.
  
- c) En el Centro de Tecnología de Schlumberger en Sugar Land, Texas, se encuentra la Unidad de Pruebas de Perforación Génesis, donde se reproduce las condiciones de campo existentes en el fondo del pozo para diversos tipos de pruebas. Se pueden reproducir condiciones de flujo de lodo, presión, choques, vibraciones y rotación de herramientas de fondo de pozos bajo condiciones controladas, ya sea perforando a través del cemento o

utilizando un dispositivo inductor de choque conocido como adaptador de levas.

Así también; cabe mencionar otros Centros de pruebas, indicados a continuación:

- a) Centro de tecnología Schlumberger en Abigon-Inglaterra
- b) Centro de tecnología Schlumberger en Stonehouse Gloucestershire-Inglaterra.
- c) Centro de tecnología en Gatwick-Inglaterra
- d) Centro Integrado de productividad y operación de herramientas en Singapur
- e) Centro de tecnología de Oslo Noruega
- f) Centro de Fluidos de yacimientos de Schlumberger en Edmonton, Canadá.
- g) Centro de Tecnología en Nueva Jersey-Princeton
- h) Centro de aprendizaje Europeo Melun-Francia
- i) El Centro de productos Riboud de Schlumberger en Clamart-Francia

- j) Los centros de tecnología ubicados en Japón: Kabushiki Kaisha, Fuchinobe, Sagamihara, Kanagawa.

### **1.5. Alcances**

- a. Investigar la mecánica y principios de funcionamiento de la herramienta.
- b. Establecer los ensayos que se podrían realizar en el banco de pruebas del tractor de pozo petrolero.
- c. Conceptualizar el banco de prueba para el tractor de pozo petrolero.
- d. Presentar un Proyecto del Banco de Prueba del tractor de pozo petrolero.

### **1.6. Limitaciones**

- a. El Proyecto del Banco de Prueba esta concebido para un modelo en específico que es la herramienta de tractor de pozo.
- b. Este proyecto de diseño del Banco de Pruebas, no contempla la construcción del prototipo, por razones de tiempo.
- c. Tiene dificultad logística ya que la localización del equipo que se estaba estudiando se encuentra a una ciudad distante de Caracas , donde se desarrolló el trabajo.

- d. Además requiere contar con la participación de especialistas multidisciplinarios, razón que ha constituido una limitante importante, ya que algunos aspectos del diseño lo debería desarrollar un ingeniero eléctrico o un especialista en geología, entre otros profesionales.
  
- e. No toma en cuenta presión ni temperatura de profundidades de pozo.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

A continuación se presentan algunos conceptos teóricos que son necesarios para el entendimiento de algunos aspectos involucrados en el desarrollo de este proyecto y que de igual forma pueden contribuir en la discusión e interpretación de los resultados.

#### **2.1 Variables de interés relacionadas con el tractor de pozo.**

##### **2.1.1 Registros Eléctricos**

Los servicios de Registros Eléctricos se basan en la evaluación de las formaciones geológicas que conforman el reservorio, a través de registros eléctricos, que toman información como la litología, porosidad, permeabilidad, resistividad y corrosión de tuberías de pozos perforados en el mismo. Dichos registros son realizados mediante herramientas cilíndricas de diferentes diámetros las cuales poseen sensores conectados a un cable acerado, el cual en su parte interna posee conductores eléctricos que llevan los datos recopilados por dichos sensores una unidad móvil de registro. Esta unidad se encuentra dotada de diferentes módulos eléctricos (cada uno para trabajar con un tipo de herramienta diferente), estos módulos a través de un software y un hardware determinado procesan los datos tomados por las herramientas, y los muestran en un formato óptico determinado con la finalidad de que sean interpretados. Además de la corrida de registros (en hoyos abiertos y entubados), el segmento de “Wireline” se encarga en general de prestar servicios realizados con el cable de registros, como por ejemplo: colocación de tapones y empacaduras, cañoneos, entre otros.

## 2.1.2 Tractor de pozo “TuffTRAC-XTRA-A”

### 2.1.2.1 Descripción general y especificaciones

Los tractores de pozo, son una familia de tractores que incluye tres modelos de los mismos, los cuales son: “TuffTRAC-XTRA-A”, “TuffTRAC-MONO (XTRA-B)” y “UltraTRAC”, para la aplicación de esta investigación el banco de prueba será diseñado solo para el modelo “TuffTRAC-XTRA-A”.



Figura nº 1. **Tractor de pozo “TuffTRAC-XTRA-A”**. Fuente: <http://theogm.com/2012/02/25/pushing-the-boundaries-with-oilfield-tractors/>

En la siguiente tabla podemos observar un resumen de las especificaciones técnicas que poseen cada una.

**Tabla nº 1. Especificaciones técnicas de la familia de tractores.**  
Fuente: T Shereitov. Manual de mantenimiento del TuffTRAC, versión 1.9.  
2013.

Herramienta	TuffTRAC-XTRA-A	TuffTRAC-MONO (XTRA-B)	UltraTRAC
Tipo de Hoyo	Cerrado	Cerrado	cerrado y abierto
Cable	Heptacable	cualquier cable	Heptacable
Sistema de Telemetría	ETS	ETS, MTS	ETS
Sistema	EWAFE	EWAFE	EWAFE
Entrega de Potencia	3 fases, 750 VAC	DC, 1100 V	3 fases, 750 VAC
Registra mientras tractorea	No	Si	No
Diámetro de la herramienta	3-1/8 pulgadas	3-1/8 pulgadas	3-3/8 pulgadas
Máxima carga	1800 lbf	1800 lbf	2800 lbf
Máxima velocidad	3200 pie/hrs	2200 pie/hrs	3200 pie/hrs
Máxima presión	20.000 psi		
Máxima temperatura	175 grados centígrados	150 grados centígrados	175 grados centígrados
Longitud (2 cuerpos)	10.5 Pies	15.2 Pies	10.2 Pies

El tractor de pozo o “TuffTRAC-XTRA-A” es un tractor con ruedas accionadas, con capacidad de control de tracción. Las ruedas accionadas están localizadas al final de los brazos que abren en forma de tijera. Cada par de brazos tiene su propio motor y su sistema de apertura, transmisión y suspensión.

El número de sondas que contenga la sarta de herramientas, dependerá de lo que se necesite para cada trabajo.



Figura nº 2. Tractor de pozo “TuffTRAC-XTRA-A” con configuración de dos cuerpos. T Shereitov. Manual de mantenimiento del TuffTRAC, versión 1.9. 2013.

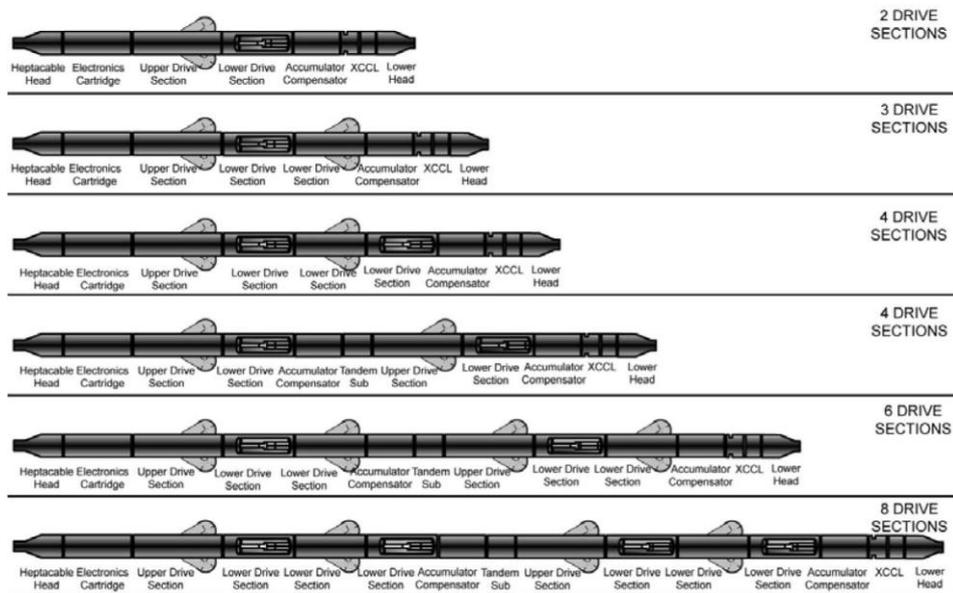


Figura nº 3. Diferentes configuraciones del tractor de pozo “TuffTRAC-XTRA-A”. T Shereitov. Manual de mantenimiento del TuffTRAC, versión 1.9. 2013.

### 2.1.2.2 Teoría de Operaciones

Los tractores de pozo son herramientas utilizadas para transportar herramientas de registro y de cañoneo, a las profundidades deseadas por el ingeniero cuando una sección del pozo es inclinada u horizontal, en ambientes altamente corrosivos.



Figura nº 4. **Tractor de pozo “TuffTRAC-XTRA-A”, en trabajo operacional.** T Shereitov. Manual de mantenimiento del TuffTRAC, versión 1.9. 2013.

#### **2.1.2.2.1 Limitación de carga**

La carga que requiere un tractor para moverse, depende del peso de la herramienta que transporta y la tensión del cable. La tensión del cable

aumenta cuando la herramienta se encuentra dentro del pozo y puede llegar a ser mayor que el peso de la sarta de herramientas. La tensión del cable también es afectada por la geometría del pozo, si el mismo tiene una gran cantidad de curvas y giros, se puede aumentar la tensión de manera significativa. Para realizar una estimación correcta de la tensión del cable, se utiliza el software de planificación de trabajos.

En una sección horizontal de pozo, la fuerza requerida para que el tractor mueva la sarta de herramienta es igual al peso de la sarta de herramientas por el coeficiente de fricción.

El coeficiente de fricción entre las paredes del pozo y la herramienta, es aproximadamente la misma que entre las paredes del pozo y el cable de registro, las variaciones de este coeficiente de fricción provienen del ambiente y la geometría del pozo, pero se hace más significativa cuando es entre un agujero cerrado y uno abierto. Un valor aceptable de coeficiente de fricción para el fondo de un pozo de agujero cerrado es de 0,25 mientras que para un pozo de agujero abierto es de 0,35 o superior, para cálculos se puede trabajar con un coeficiente promedio de 0,30. Para efecto de la siguiente investigación se trabajara con una herramienta que solo opera en pozos de agujeros cerrados o entubados. En resumen para mover una sarta de herramientas de 1000 libras de peso, se necesitaría una fuerza de 300 libras, en un pozo horizontal, con menos desviación esta fuerza disminuirá, y aumentara con mayor desviación.

#### **2.1.2.2.2 Movimiento del tractor de pozo**

Para que el tractor de pozo pueda moverse en la superficie del fondo del pozo, debe cumplir con una condición primordial:

La condición es que el sistema de tracción, proporcione la suficiente fuerza como para vencer el peso que ejerce la sarta de herramienta, más el cable de registro, que mientras la profundidad sea mayor este aumentara.

$$FT \geq FR$$

Dónde: FT es la fuerza de tracción que el sistema de accionamiento puede proporcionar, y FR es la resistencia al movimiento.

#### **2.1.2.2.3 Sistema de accionamiento**

El "TuffTRAC-XTRA-A" utiliza el sistema de accionamiento continuo, que se basan en las ruedas, pistas o discos inclinados, que son empujados contra las paredes del pozo. Los elementos de accionamiento están continuamente en contacto con las paredes del pozo y están proporcionando continuamente tracción. Cada par de ruedas es impulsado por su propio motor eléctrico, proporcionando alta eficiencia de transmisión en sus engranajes.

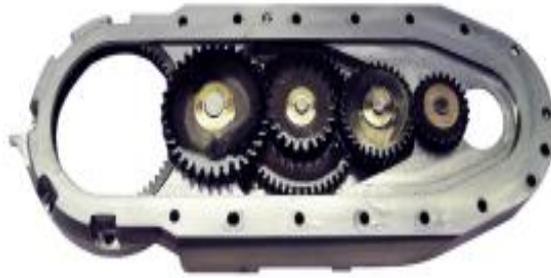


Figura nº 5. **Tren de engranajes, en los brazos del tractor de pozo.**  
Fuente: T Shereitov. Manual de mantenimiento del TuffTRAC, versión 1.9.  
2013.

#### **2.1.2.2.4 Sistema de tracción**

Dado que la función primaria del tractor de pozo es de transporte, puede ser considerado como el remolque de la sarta de herramientas de fondo de pozo. Se puede decir que tienen algunas similitudes con los equipos conocidos que trabajan en superficie, como camiones de transporte. La principal diferencia entre los sistemas del tractor de pozo, y los equipos que trabajan en superficie es la forma en que estos crean la fuerza de tracción, las maquinarias de superficie solo se basan en su peso para crear la fuerza de empuje, no pueden aumentar ni disminuir su propio peso. La ventaja que posee el tractor de pozo es que quizás es el único que puede ir en reversa, y que su fuerza radial puede ser controlada desde cabina, para así asegurar una tracción óptima.



Figura nº 6. **Brazos del tractor de pozo.** Fuente: el autor.

La aplicación de la fuerza radial correcta es importante para un funcionamiento correcto, si se aplica una fuerza radial insuficiente puede hacer que la herramienta deslice, si por el contrario es demasiada la fuerza aplicada puede impedir el movimiento de la herramienta y crear un desgaste innecesario.

En el mercado existen tres tipos de sistemas de tracción, que varían entre sí en la manera que controlan la fuerza radial de la herramienta, estos son: fuerza fija preestablecida, fuerza pasiva ajustable, fuerza activa ajustable.

El modelo del tractor de pozo “TuffTRAC-XTRA-A” que se utilizara para la siguiente investigación usa la fuerza activa ajustable, es la más innovadora que se ha creado hasta ahora.

Este sistema de tracción, permite que la fuerza normal que es generada por la herramienta se pueda ajustar al mismo tiempo que la herramienta realiza el trabajo de tracción. Esto es motivado a que la resistencia al movimiento que genera la sarta de herramientas puede ir cambiando a medida que se realiza el recorrido del pozo, por cambio en la inclinación del pozo, de las propiedades de las paredes, aumento del peso del cable por longitud, residuos en las paredes del pozo. Para estos casos el sistema de tracción responde a estos cambios ajustando la fuerza de tracción.

El valor del coeficiente de fricción para pozos entubados tiende a ser más estables que para pozos abiertos, pero aun así este puede cambiar, por lo tanto la fuerza normal que aplica la herramienta también tiene que ser ajustada.

$$FN = FT / \mu$$

Este es el objetivo de un sistema de tracción activa, permitir que el operador ajuste la fuerza radial si la herramienta comienza a deslizarse, esto se ha comprobado que permite culminar más trabajos con éxito especialmente en zonas de pozos complejos.

Otra función del sistema de tracción, es mantener siempre las ruedas del tractor de pozo en contacto con las paredes del mismo, cuando existen pequeños cambios de diámetro, no mayor de una pulgada. En un pozo entubado esta característica toma importancia, ya que se presentan continuamente. Esta puede ajustar automáticamente sin problemas la presión de apertura. Si existen muchos cambios, se puede requerir el reinicio de la herramienta.

#### **2.1.2.2.5 Sistema de suministro de energía**

Todos los tractores de pozo comerciales son accionados con un motor eléctrico, la diferencia está en cómo suministran la energía desde la superficie hasta el fondo del pozo.

En este caso el tractor de pozo modelo “TuffTRAC-XTRA-A”, usa un suministro de corriente alterna, trifásica, a través de un heptacable. En este sistema toda la electrónica se encuentra en la superficie, de frecuencia y tensión variable. La ventaja de este sistema es que no se encuentra electrónico de potencia a fondo de pozo lo que permite trabajar a temperaturas más altas, la desventaja es que requiere un heptacable y una fuente de alimentación en superficie capaz de suministrar los requerimientos.

#### **2.1.2.2.6 Comunicaciones y sistema de control**

Los tractores de pozo son maquinarias bastante complejas de la manera que interactúan con el pozo, a veces impredecibles. El éxito del trabajo depende en grandes cantidades con el sistema de comunicación que se tenga con la superficie.

Sistemas de comunicación se pueden dividir en dos tipos: los de alta velocidad de datos, los de baja tasa de transmisión.

El utilizado por el tractor de pozo “TuffTRAC-XTRA-A” es el de baja transmisión de datos, donde la cantidad de información intercambiada es bastante reducida, la ventaja de este sistema es su grado de simplicidad, lo que permite que el tractor pueda trabajar a altas temperaturas.

#### **2.1.2.2.7 Reversibilidad**

Muy pocas herramientas en el mercado poseen esta característica, pero el tractor “TuffTRAC-XTRA-A” es totalmente bidireccional. Esta puede alcanzar los mismos parámetros operacionales cuando asciende que cuando desciende. Un ejemplo de esta necesidad es cuando se utilizan las herramientas de cañoneo, luego de ser disparadas estas aumentan su diámetro y pueden quedar atascadas, este tractor de pozo que es el más utilizado para este tipo de trabajo fue empujar en el sentido contrario para que la herramienta suelte y vuelva al exterior.

La reversibilidad se logra mediante la inversión de la dirección de rotación de los motores eléctricos de la herramienta, también la bomba hidráulica realiza el trabajo inverso para lograr esta característica.

#### **2.1.2.2.8 Eficiencia energética**

La velocidad y la carga útil de un tractor dependen de la potencia disponible en el fondo del pozo, y de la eficiencia de la herramienta. Esta utilizará la potencia para el trabajo útil, y lo demás se disipará en calor.

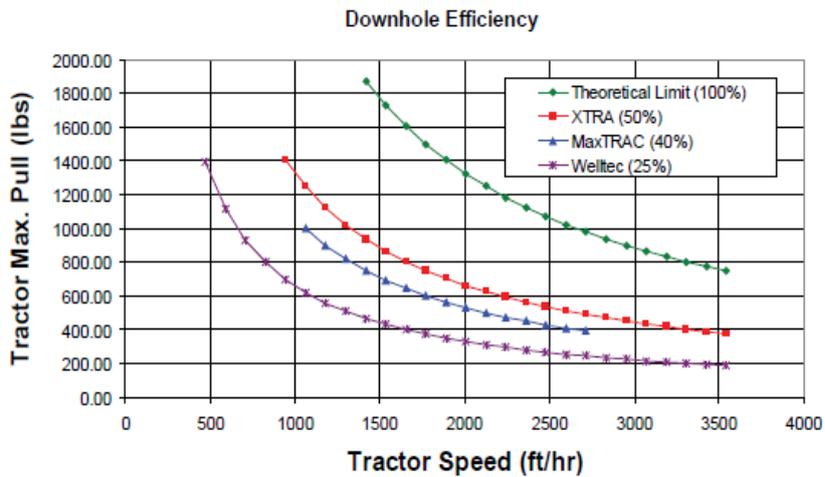


Figura nº 7. **Eficiencia teórica en fondo de pozo de tractores en el mercado.** Fuente: T Shereitov. Manual de mantenimiento del TuffTRAC, versión 1.9. 2013.

La principal conclusión que podemos extraer de la gráfica es que mientras aumenta la eficiencia se permite mayores combinaciones de carga/velocidad.

Cuando se trabaja a elevadas temperaturas la eficiencia juega un papel importante, mientras menor sea la eficiencia más calor se disipará, lo que lleva a un calentamiento propio de la herramienta, por encima de la temperatura ambiente.

La temperatura dentro de la herramienta se elevará en 0,3 grados centígrados por cada 1 watts de potencia disipada en forma de calor.

La figura nº 7, se asume que en el fondo del pozo todos los tractores reciben el máximo de la potencia, por eso se considera teórica ya que

esta condición no es siempre así, esto depende del sistema de entrega de potencia, la unidad que lo envía, el tipo de cable entre otras cosas.

#### **2.1.2.2.9 Sistema Modular**

Las herramientas que trabajan en fondo de pozo generalmente son modulares, y el tractor de pozo no es una excepción. Esto significa que la fuerza de tractorear puede aumentar, añadiendo módulos adicionales.

Para el caso del “TuffTRAC-XTRA-A”, se le pueden añadir hasta ocho secciones de brazos, lo que no es el caso práctico para el siguiente trabajo, ya que en Venezuela solo se cuenta con uno de hasta tres secciones modulares, pero podemos ver que la ventaja de esto es que se puede adaptar el tractor para el trabajo que este vaya a realizar.

La compartición de la carga depende del tipo de motor que posee el sistema de accionamiento, el modelo utilizado en esta investigación utiliza motores eléctricos de inducción, principalmente porque son altamente eficientes y distribuyen muy bien la carga, la única desventaja que proporcionan es su gran tamaño.

## **2.2 El diseño y su metodología**

El diseño es definido como “el proceso de transformar recursos (humanos o materiales) en productos o sistemas con el fin de satisfacer una necesidad” (Tablante, 1988). También podemos decir que es “formular un plan para satisfacer una necesidad” (Shigley, 1985).

El diseño en ingeniería mecánica es definido como “es el diseño de objetos y sistemas de naturaleza mecánica: piezas, estructuras,

mecanismos, maquinas y dispositivos e instrumentos diversos”. (Shigley, 1985)

El proceso de diseño surge del planteamiento de una necesidad o un problema a resolver, el siguiente proceso se puede llevar a cabo a través de una metodología de diseño asignada, que a través de la lógica y la creatividad, se logra llevar a cabo de manera exitosa el proceso y así escoger la solución más adecuada al problema planteado.

Los pasos del proceso del diseño mecánico son (Tablante, 1988)

- Análisis de la necesidad.
- Generación de soluciones
- Evaluación, selección y desarrollo

### **2.2.1 Análisis de la necesidad**

En este paso se debe estudiar a profundidad la necesidad existente, para comprenderla a fondo, no se debe generar una solución inmediata o relacionar el problema con un aparato, ya que esto limitaría el proceso creativo.

La investigación es el método más factible en este paso, esta se puede realizar mediante revisión bibliográfica, se puede realizar directamente

con los usuarios, y buscar diferentes tecnologías para la solución de problemas como este o similares.

La investigación para este trabajo se baso en la investigación bibliográfica, sobre diferentes tecnologías, y además se realizo una investigación directa en campo, con el usuario de la herramienta.

## **2.2.2 Generación de soluciones**

En el proceso, el diseño conceptual es el principal paso, para el desarrollo del proceso. Para este paso se necesita de dinámicas mentales y diversas metodologías, con el fin de generar ideas, para diseños alternativos, de donde saldrá la idea o la mejor versión para el diseño final. En este paso el diseñador no debe colocar ninguna traba a su mente creativa, tratando de esta manera de generar la mayor de ideas posibles, luego desechando las que no funcionen, y tomando las mejores alternativas.

### **2.2.2.1 Tormentas de ideas**

Es un método de generación de ideas, quizás una de las más utilizadas. Se trata de generar la mayor cantidad de ideas en grupo en el menor tiempo posible, luego estas ideas se discuten en grupo, se desechan las menos factibles, y se perfeccionan las de mayor factibilidad, repitiendo el proceso cuantas veces sea necesario.

Existen cuatro reglas fundamentales para llevar a cabo la tormenta de idea:

- a) No se debe criticar ninguna idea que se plantee, para así evitar un bloqueo creativo.
- b) Cualquier idea que se aporte es factible, ya que estas luego se pueden mejorar, o aportar contenido.
- c) Siempre se debe buscar tener la mayor cantidad de ideas posibles.
- d) Desarrollar ideas, así de esta manera de unas ideas pueden ir saliendo otras.

#### **2.2.2.2 Técnicas creativas para generar ideas**

Los mecanismos comúnmente usados para la generación de ideas son:

- a) Inversión: se trata de invertir las funciones, en un elemento determinado del equipo o la maquina, produciendo nuevas ideas con este planteamiento ilógico.
- b) Analogía: se realiza el diseño buscando empatía o similitud, con elemento realizados por el hombre o por la naturaleza.
- c) Empatía: esta técnica consiste en colocarse en el lugar del otro, para así poder percibir el problema desde otros puntos de vista.

### **2.2.3 Evaluación, selección y desarrollo**

En esta fase se toman las ideas generadas en las etapas anteriores, se analizan y se reformulan, y se toman aquellas que cumplan con las especificaciones principales de diseño.

Esta etapa es de sumo valor ya que esta nos va a permitir fijar los criterios de selección que consideremos más importante, para así elegir las ideas más factibles y que cumplan con las consideraciones de diseño que necesitemos para resolver el problema y concretar el diseño final.

#### **2.2.3.1 Análisis morfológico**

Este método consiste en evaluar alternativas de diseño, correspondiendo a unos factores y criterios, los que tengan más importancia del problema a resolver, para así escoger el diseño o la idea que se adapte mejor o tenga mejor puntaje.

Con las alternativas de diseño y los criterios a estudiar, se le asignara un puntaje a cada uno por orden de importancia, y se realizara una matriz morfológica entre las ideas y los criterios, de esta tabla la que resulte con mayor puntaje, será el diseño escogido para el desarrollo final.

### **2.2.4 Desarrollo del diseño final**

En esta etapa el diseñador define la estructura del diseño, los elementos que lo componen, dimensiones y medidas, y también el material que se utilizara para la realización del diseño así como los procesos de fabricación del mismo.

## **2.3 Materiales para el banco de prueba del tractor de pozo.**

### **2.3.1 Aceros al carbón y sus propiedades.**

Uno de los materiales metálicos más importante para la industria es el acero al carbono.

El acero al carbono es una aleación de composición química compleja. Además de hierro y carbono, este contiene elementos necesarios en su producción como lo son el silicio y el manganeso, y muchas impurezas que son difíciles de separarlos totalmente como lo son el azufre, el fosforo, el oxígeno, el nitrógeno y el hidrógeno. Su clasificación depende del contenido de carbono que este tenga, que mientras aumente, mejoran su resistencia a la tracción y dureza, mientras que la ductibilidad disminuye, por lo tanto seleccionar adecuadamente un acero requiere, un equilibrio entre resistencia y ductibilidad.

Según la ficha suministrada por la empresa PDVSA, figura nº 8 las tuberías usadas por la empresa, son de un acero al carbono N80, hecho a base de acero templado y no templado 36Mn2V.

制造商 Manufacturer	 <b>Jiangyin Changjiang Oil Special Pipe Manufacture Co., Ltd.</b>		
标准/Standard	API 5CT &PDVSA	规格/Size	7" 23LB/FT BTC
钢级 Steel Grade	N80(Q)	炉号/Heat No. 批号/Lot No.	27DA5280 121003DA4
包号 Bundles	2339	总重量 Total Weight	1305 Kg
支数 Pieces	3	总长度 Total Length	37.01 m
出口批号 Export No.	CS-120803-5		
原产地 Country of origin	China		

Scanned by CamScanner

Figura nº 8. Ficha suministrada por PDVSA. Fuente: el autor.

En la tabla mostrada a continuación, se puede observar la composición química, del acero que utiliza PDVSA para las tuberías de revestimiento, donde sus principales elementos aleados es el Carbono y el Silicio, seguidos por el Níquel, el Cobre, el Cromo, el Manganeso y el Vanadio, y de poco contenido de Plomo y Azufre.

Tabla nº 2. **Tabla de la composición química del acero 36Mn2V, de la serie N80.** Fuente: <http://www.steeltubings.es/1-2-oil-well-drilling-tube.html>

Material	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	V
36Mn2V	0.34-0.39	0.25- 0.40	1.45-1.70	≤0.025	≤0.015	≤0.15	≤0.20	≤0.20	0.11-0.16

### **2.3.2 Maquinabilidad**

La maquinabilidad de un material es la facilidad que el mismo presente, en el momento de ser mecanizado por arranque de viruta, comúnmente los materiales que presentan alta resistencia, disminuyen su maquinabilidad, haciendo difícil y costoso el proceso de mecanizado.

La maquinabilidad del acero aumenta cuando son de alto contenido de plomo y azufre, por lo tanto por la característica anterior se puede decir que el acero de los tubos de revestimiento es difícil de mecanizar.

### **2.3.3 Soldadura**

Es un proceso de fabricación donde se unen dos piezas de un material, a través de la fusión, donde se puede agregar un material de aporte, que se funde entre las piezas a soldar y cuando se enfrían se convierten en una unión fija llamada cordón.

#### **2.3.3.1 Soldadura por electrodo revestido**

La soldadura por electrodo revestido se basa en la diferencia de potencial que existe entre el electrodo y la pieza a soldar, esta ioniza la atmósfera, donde el aire pasa a ser conductor, formando así un arco eléctrico entre el electrodo y la pieza. El calor que genera el arco eléctrico hace que el electrodo se funda y cree así un cordón de soldadura

El proceso de la soldadura manual por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW, del inglés Shielded Metal Arc Welding) comienza cuando se establece el arco eléctrico ente el electrodo y la pieza a soldar.

Cuando se estabiliza el arco eléctrico, el calor que el mismo genera, funde al electrodo, y esa misma atmósfera protege al material fundido de alguna contaminación. Esa fundición se deposita en el sólido, rodeada por la escoria, esta por efecto de la viscosidad flota, y protege a la soldadura de algún agente contaminante y del enfriamiento súbito.

Este material fundido se enfría y genera un cordón de soldadura entre los dos sólidos a unir.

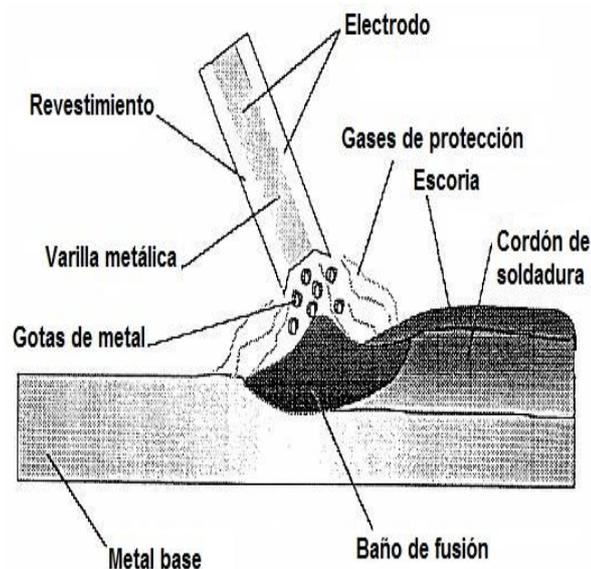


Figura nº 9. Esquematación de la soldadura por electrodo revestido.

Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn45.html>

En aplicaciones para aceros considerados altos en carbono, en soldadura de tubos se recomienda utilizar electrodos de tipo celulósicos, por sus propiedades de alta penetración, contener gran cantidad de hidrógeno, y poca escoria.

## **2.4 Instrumentación**

Es el campo de elementos que permite medir, controlar y registrar las variables obtenidas de un proceso con el fin de optimizar los recursos utilizados en éste, como también de mantener esas variables dentro de unas limitaciones específicas. Estos equipos sirven para ayudar al usuario en la medición, regulación, observación, ofrecer seguridad, etc., de una variable dada en un proceso productivo. En otras palabras nos permite en tiempo real de un proceso ver si el mismo va encaminado hacia donde deseamos y de no ser así se utilizan los instrumentos para actuar sobre el sistema y proceder de forma correctiva.

Un sistema de instrumentación es una estructura compleja que reúne un conjunto de instrumentos, un dispositivo o sistema de medición, unas conexiones entre estos elementos y por último, y no menos importante, unos programas que se encargan de automatizar el proceso y de garantizar la repetitividad de las medidas. El elemento clave fundamental de un sistema de instrumentación, es el elemento sensor, el cual tiene como función percibir y convertir la señal de entrada, que vendría siendo la variable física, en una variable de la señal de salida.

### **2.4.1 Dinamómetro**

Es un instrumento que se utiliza para medir fuerzas, y algunas veces se puede medir el peso de objetos, y en este último caso se puede comparar a una báscula por el similar funcionamiento de medida. Su funcionamiento se basa en el estiramiento de un resorte que sigue los fundamentos de la Ley de Hooke en el rango de medición, siendo las deformaciones proporcionales a la fuerza aplicada.

El dinamómetro está conformado generalmente de un muelle que se encuentra de forma habitual en un cilindro, y en algunas ocasiones se encuentra dentro de otro cilindro, el cual posee dos ganchos (uno en cada extremo del muelle). Además en el cilindro externo tiene marcada una escala, que expresa unidades de fuerza, de manera que cuando se coloca un peso que ejerce fuerza en sobre el gancho inferior, el cilindro interno se mueve y cuando logra estabilizarse el dinamómetro, se puede leer en el cilindro exterior en valor que representa la fuerza ejercida.

Existen varios tipos de dinamómetros que se usan en la industria, los cuales son:

- a) Dinamómetros Tubulares
- b) Dinamómetros para grúa
- c) Dinamómetro tracción célula externa
- d) Dinamómetro tracción célula interna
- e) Dinamómetros especiales

## **2.5 Paquete SolidWorks**

Con el pasar de los años las herramientas computacionales del campo de la ingeniería han alcanzado avanzados niveles de desarrollo en lo que a potencia de cálculo, memoria, interfaz con el usuario y

simulaciones multifísicas se refiere. Uno de los paquetes de análisis y simulación ingenieriles más utilizados en el mundo es la desarrollada por la empresa norteamericana Dassault Systèmes Solidworks Corporation.

Los distintos paquetes de simulación que existen de SolidWorks ofrecen la posibilidad de configurar entornos virtuales del mundo real tomando en cuenta una amplia gama de parámetros como lo son la durabilidad, respuesta dinámica y estática, movimiento del ensamblaje, transferencia de calor, dinámica de fluidos y moldeo de plásticos por inyección; y así poder realizar pruebas de diseños, evaluando el rendimiento del diseño, la calidad y la seguridad antes del proceso de fabricación. El programa permite modelar piezas y conjuntos, de los cuales se puede extraer tanto planos técnicos como otro tipo de información importante antes de realizar la producción. El programa tiene su funcionalidad con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD.

Para que la geometría sea apta, en algunos casos, es necesario realizar la idealización en el modelo CAD, se aplica el borrado o supresión de operaciones del modelado geométrico como chaflanes, redondeos u otros detalles, que se consideran insignificantes para el análisis y que por el contrario consumen un mayor tiempo computacional y espacio de almacenamiento.

El programa incorpora herramientas de control de calidad para comprobar si hay problemas, como entidades múltiples, que el modelo pudiera tolerar, pero que harían muy difícil o imposible generar la malla.

Para completar la creación del modelo matemático, se definen las propiedades de los materiales, cargas, soportes, y restricciones implicadas en el problema, y se proporciona información sobre el tipo de análisis que deseamos realizar.

En este paso se aplica un proceso de individualización en el que la geometría o modelo matemático se divide (generación de mallas). Es decir, se sustituye un modelo continuo por uno discreto. Al discretizar, se logra pasar de un sistema continuo (infinitos grados de libertad), que es regido por una ecuación diferencial o un sistema de ecuaciones diferenciales cuya solución es compleja y en muchos casos imposible, a un sistema con un número de grados de libertad finito cuyo comportamiento se modela por un sistema de ecuaciones, lineales o no, bastante simplificado.

La resolución del problema es la parte con menos interacción del usuario en un análisis de elementos finitos, al ser el núcleo de la aplicación la que realiza los cálculos.

Para el análisis de resultados el programa representa los esfuerzos de acuerdo a su magnitud, visualizar la estructura deformada y los factores de seguridad a través de códigos de colores. También se puede observar el comportamiento del modelo en imágenes animadas y dinámicas.

Entre las soluciones destacadas del programa tenemos:

- a) Análisis estructural: Valida los factores de seguridad y rendimiento, con un análisis de elementos finitos para llevar a cabo una simulación estructural.

- b) Análisis de fatiga: Predice errores de fatiga de los componentes al examinar ciclos de carga repetidos o aleatorios.
- c) Análisis de vibraciones: Averigua hasta qué punto los modos inestables o vibratorios pueden disminuir la vida útil del equipo y acabar con los fallos.
- d) Optimización estructural: optimiza un diseño para que cumpla el rendimiento definido de resistencia/peso, frecuencia o rigidez.

Es importante introducir algunos conceptos que se utilizan en el software, que nos permiten comparar los resultados y las simulaciones se están realizando correctamente.

## **2.6 Mecánica de materiales**

La mecánica de materiales es una rama de la mecánica que estudia los sólidos deformables, que permite conocer el comportamiento de esfuerzos y desplazamientos de piezas mecánicas sometidas cargas, para así establecer su duración y resistencia.

### **2.6.1 Esfuerzos internos**

El esfuerzo  $\sigma$  se define como la fuerza que actúa por unidad de área transversal de un sólido

Los esfuerzos pueden ser normales si las tensiones actúan perpendicularmente al área de estudio, o cortantes si actúan tangencialmente al plano en estudio.

Los esfuerzos normales son de compresión o de tensión. “Un esfuerzo de compresión es aquel que tiende a acortar y aplastar un cuerpo ensanchándolo en las direcciones transversales. Un esfuerzo de tensión es aquel que tiende a estirar el miembro (se reduce la sección transversal), y romper el material” (Mott, 1996)

### **2.6.1.1 Resistencia de materiales aplicada**

En la realidad, se presenta esfuerzos combinados en los elementos, resultados de múltiples cargas que actúan sobre ellos. Estas cargas se presentan de dos maneras: estáticas y dinámicas.

Estas cargas aplicadas pueden producir deformación en la pieza o plano en estudio.

**Ec (4):** 
$$\epsilon = \delta / d$$

En la ecuación (4) podemos observar que la deformación ( $\epsilon$ ) de la pieza será el cambio de longitud de la pieza ( $\delta$ ) entre la longitud original ( $d$ ) de la misma.

Las piezas diseñadas, pueden ser sometidas a cargas que no puedan soportar por lo que la misma fallara o cederá, al cabo de un tiempo.

La ductibilidad es el grado en la que se deforma un material, antes de su fractura, cuando se utilizan en los diseños materiales dúctiles, hay mayores posibilidades de detectar la falla a tiempo, ya que sucede muy

poco una falla repentina, estos materiales son mejores soportando cargas repetidas, a diferencia de los que no lo son llamados frágiles.

La medida que determina que un material es dúctil, es el porcentaje de elongación del material. Desde el punto de vista teórico se considera que un porcentaje de elongación mayor a 5% el material es considerado dúctil. En la práctica se recomienda utilizar materiales con un porcentaje de elongación mayor al 12%, para piezas sometidas a cargas repetitivas. (Mott, 1996).

## **2.6.2 Teorías de Fallas**

Los esfuerzos estáticos que permite una estructura, son determinados a través de criterios que se llaman teorías de fallas. Dependiendo del tipo de material: frágil o dúctil, cada teoría tiene su tipo de formulación. Se consideran materiales frágiles aquellos que se deforman muy poco antes de su rotura, en cambio los materiales dúctiles son aquellas que admiten gran deformación antes de la rotura.

Para materiales dúctiles existen dos tipos de teorías de fallas,

### **2.6.2.1 Teoría del esfuerzo cortante máximo**

También conocida como teoría de Tresca. Esta teoría establece que el material no fallara mientras que el máximo esfuerzo cortante  $T_{max}$  al que este expuesto sea inferior al esfuerzo cortante permisible  $S_y$  que el material puede soportar sin presentar deformaciones plásticas.

$$E_c (5): \quad T_{max} \geq S_y/2$$

### **2.6.2.2 Teoría de la energía de distorsión**

Esta teoría es la más utilizada en el caso de materiales dúctiles que son sometidos a tracción. La teoría establece que un elemento estructural falla cuando en algunos de sus puntos la energía de distorsión por unidad de volumen sobrepasa un cierto umbral. El sólido no falla si la energía de distorsión presente es menor que la energía de distorsión permisible para el material.

$$\text{Ec (6):} \quad \text{DIST} \geq S_y/2E$$

### **2.6.2.3 Comparación entre los dos criterios.**

La teoría del esfuerzo cortante máximo, en comparación con la teoría de la energía de distorsión, es más conservador. Sin embargo la diferencia es relativamente pequeña: en casos de cargas combinadas la diferencia entre los valores críticos fijados por cada teoría no excede el 15 %. Comparado con los factores de seguridad generalmente utilizados y las incertidumbres usualmente involucradas en el diseño mecánico, la elección entre los dos criterios carece de mayor importancia. El criterio de Von Mises se ajusta más a la realidad para el caso de materiales dúctiles sometidos a cargas de tracción: pero si se desea ser conservador, debería elegirse el criterio de máxima tensión cortante. (Beer, Johnston y Dewolf, 2004).

## 2.7 Consideraciones ergonómicas

La ergonomía es la disciplina encargada de diseñar puestos de trabajo, herramientas y tareas adaptables a la fisionomía, psicología y anatomía del trabajador, con la finalidad de optimizar la interacción entre humano – máquina – ambiente para garantizar procesos seguros tanto para el trabajador como para el usuario final del producto. Para diseñar una maquinaria o herramienta es importante tener en cuenta este aspecto, con el objeto de lograr el bienestar en el momento de su utilización y así optimizar el proceso.

Es un área muy importante ya que su buen funcionamiento ayuda a la productividad de la empresa, y a cuidar la salud de sus trabajadores. Otros aspectos relevantes son:

- a) Disminución de costos por incapacidad de trabajadores.
- b) Mejoramiento de la calidad del trabajo.
- c) Reducción de lesiones y enfermedades ocupacionales.
- d) Aumento de la producción.
- e) Disminución de la pérdida de materia prima.

Al disminuir los trabajos manuales, se reduce en gran forma el riesgo de accidentes en los trabajadores, lo que lleva a una disminución de paradas en la cadena de producción. Para garantizar la ergonomía de la maquinaria, se debe tomar en consideración la correcta localización e

instalación. Un diseño realmente ergonómico toma en cuenta los siguientes puntos:

- a) Dimensiones del cuerpo.
- b) Movimientos y posturas forzadas.
- c) Ruidos y vibraciones.
- d) Efectos por altas temperaturas.
- e) Magnitud de esfuerzos.
- f) Iluminación en el área de trabajo.

Para abarcar estos aspectos, se debe pensar en un diseño que se adapte a la antropometría del ser humano estándar, con respecto a las dimensiones del cuerpo humano. Debe ser estándar para que su utilización se ajuste a individuos de diferentes tamaños. Para este caso se tomaremos en cuenta un diseño para el promedio, basándose en los siguientes aspectos:

- a) Ajustar la altura de trabajo según la tarea.
- b) Garantizar espacio suficiente para la movilidad del operario.
- c) Dispositivos de accionamientos al alcance de los operarios.
- d) Facilitar una postura de trabajo conveniente.

En la siguiente imagen, se pueden observar las alturas y espacios recomendados para una postura de pie en el trabajo:

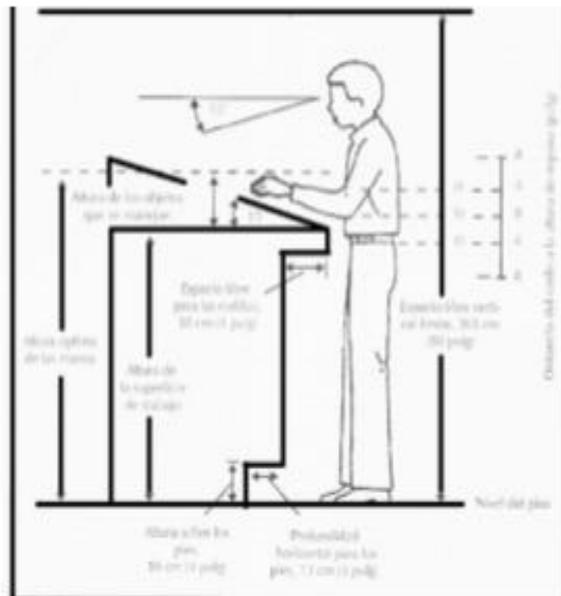


Figura nº 10. **Dimensiones recomendadas para la estación de trabajo de pie.** Fuente: Niebel, Freivalds. Ingeniería Industrial, Métodos, Estándares Y Diseño Del Trabajo. 2005.

La movilidad del trabajador es esencial, ya que el cuerpo humano no está diseñado para estar inmóvil completamente durante períodos prolongados de tiempo. Los discos entre las vértebras no tienen irrigación de sangre por sí solos, necesitan de la presión del movimiento para ayudar a la circulación de la sangre. No obstante, también hay que considerar que estos movimientos no deben ser bruscos ni deben requerir de un esfuerzo muy grande para el operador de la máquina.

Además, la maquinaria no debe generar ruidos por encima de los 80 dBA que es el mayor valor que puede soportar el oído humano.

Otro punto a tomar en cuenta es que el diseño no debe ser una fuente que genere exceso de calor y por último la iluminación del área de trabajo donde se encuentre el operador.

Estos puntos son de suma importancia ya que si no se toman en consideración pueden ser una causa principal de alguna de las siguientes enfermedades:

- a) Lesiones en la espalda.
- b) Agotamiento por calor.
- c) Reducción de la capacidad auditiva.
- d) Problemas de circulación.

## **CAPITULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Descripción del problema**

Los ingenieros de campo a cargo cumplen con una metodología de trabajo en los proyectos asignados.

El mismo se describirá a continuación, donde se partió de la observación, y del trabajo que se realizo en las pasantías de campo con la empresa, ya que se considera como una parte fundamental para el desarrollo del banco de pruebas.

#### **3.1.1.- Metodología para las Operaciones**

##### **3.1.1.1- En la Base (antes de salir al trabajo de campo):**

##### **3.1.1.1.1.- Preparación de los juegos de herramientas.**

Independientemente del servicio que se vaya a prestar lo primero que se debe hacer es preparar dos juegos de herramientas para bajar al hoyo; uno corresponderá a la bajada planificada y otro será un respaldo de la anterior. Los dos juegos de herramientas deberán estar en óptimo estado de calidad con los mantenimientos respectivos realizados. Se deberán realizar el encendido de todo el juego de herramientas, las calibraciones pertinentes si las necesita, y simular el registro que estas deben realizar.

Para preparar los juegos de herramientas se debe solicitar al ingeniero la lista de chequeo correspondiente al servicio a prestar. En dicha lista se especifica cada una de las partes necesarias para armar el equipo de bajada. Las herramientas se deben montar (en el orden indicado en la lista de chequeo) en la unidad móvil de registros, o en su defecto en la unidad que las va a transportar. Es importante mencionar que cada una de las partes de los juegos de herramientas debe llevar sus respectivas tapas protectoras de rosca. Esta preparación debe hacerse con un día de anticipación.

#### **3.1.1.1.2.- Preparación los equipos básicos que deben ir en la unidad móvil de registros.**

Existen una serie de equipos que siempre deben estar en la unidad móvil de registros, y antes de salir para cualquier trabajo debe verificarse que estén en la misma. Entre estos equipos se tienen:

- a) Equipos básicos para armar el pozo: tapas protectoras de rosca, el plato de conexión vertical, la eslinga pequeña de conexión vertical, el cuello de ganso, la cadena de vestir, grilletes, eslinga de seguridad, pateclas y el ancla.
- b) Equipo de control de presión: BOP de Schlumberger "Wireline", conexión 8" redondo, caja de empaque, stuffin, bomba de mano, limpia cable.
- c) Megometro, simpson, regleta, extensión flexible, conexión lateral, llave fuente.

- d) Cabeza de registro (LEH, PEH o MH) conectada al cable de registro, IDW y CMTD instalados y calibrados (listos para funcionar), barra de peso, conexión de tierra.
- e) Equipos de seguridad: clips de seguridad, extintores, cuñas de goma, cuñas de hierro y guantes de seguridad.
- f) Equipos de limpieza: trapos, estopa y benzol.
- g) Documentos: papel para imprimir registros, permisos de trabajo, hojas de chequeo de profundidad del operador del cabrestante.

#### **3.1.1.1.3- Chequeo de la unidad móvil de registros.**

Antes de salir para cualquier trabajo debe verificarse la unidad móvil de registros según el siguiente procedimiento:

Antes de encender la unidad:

- a) Verificar que el nivel de aceite del motor este completo.
- b) Verificar nivel de aceite hidráulico.
- c) Verificar el nivel del agua del radiador.
- d) Verificar el estado y el tensado de las correas del ventilador.
- e) Chequear nivel de combustible y drenar el tanque de diesel.
- f) Drenar el tanque de aire.
- g) Verificar el estado de los neumáticos.
- h) Verificar el panel de instrumentos de 12 voltios y luces exteriores.

Después de encender la unidad:

- a) Verificar todos los manómetros y luces del panel del conductor.
- b) Anotar presión de aire (recomendable > 120 lbs).
- c) Verificar perdidas de aire.
- d) Verificar perdidas de aceite o combustible.
- e) Verificar mangueras de agua y aceite.
- f) Accionar los dispositivos que permiten encender la cabina del operador del cabrestante y verificar visualmente su enganche.

Adentro de la Cabina del operador del cabrestante

- g) Anotar presión de bomba de carga (recomendable >300 psi).
- h) Pase el interruptor de 12 voltios dentro de la cabina.
- i) Chequee que la velocidad del motor este en 1200 rpm.
- j) Conecte el generador de 110 voltios.
- k) Verifique el voltaje y anote.
- l) Verifique el ciclaje y anote.
- m) Pase el interruptor de 110 voltios de AC de (apagado a encendido) y continúe el trabajo.
- n) Antes de trabajar con la bobina verifique que las pastillas de freno estén despegadas.

### **3.1.1.2- En el pozo**

Antes de salir para cualquier trabajo debe verificarse la unidad móvil de registros según el siguiente procedimiento.

### **3.1.1.2.1.- Vestida del pozo**

Al llegar a un pozo se debe realizar una reunión de seguridad con todo el personal que va a estar involucrado directa o indirectamente con el servicio a realizar, luego se debe llenar el correspondiente permiso de trabajo para que el pozo sea entregado al personal de Schlumberger “Wireline” por el cliente.

Una vez que el pozo ha sido entregado al personal de “Wireline”, se debe vestir el pozo. Para ello se debe seguir el siguiente procedimiento:

- a) Desenrollar el cable de registros en el suelo haciendo una forma de ocho, esto es para evitar la falta o la sobre tensión al momento de vestir el pozo.
- b) Sacar todas las partes del equipo a bajar en el hoyo, y colocarlas en la corredera en el orden en que van a ser bajadas.
- c) Subir a la planchada el plato de conexión vertical, las pateclas, el ancla y la eslinga de seguridad, los grilletes, las cadenas de seguridad y el equipo de control de presión, con la ayuda de los cabrestantes auxiliares del taladro.
- d) Instalar la patecla superior en el bloque viajero, con el ancla y la eslinga de seguridad. Igualmente se instala la patecla de inferior y se asegura a la estructura del taladro con la cadena de seguridad y los grilletes.
- e) Instalar el equipo de control de presión.
- f) Subir la cabeza de registros para enhebrarlas con las pateclas.
- g) Una vez enhebrada la cabeza de registros se debe subir la patecla superior con el bloque viajero.

- h) Subir una por una las partes el juego de herramientas a la planchada con el cabrestante de la unidad móvil de registros y conectarlas en la misma, con ayuda del plato y la llave muerta (llave especial para conectar las herramientas de “Wireline”).
- i) Una vez que el juego este armado se debe calibrar en coordinación con el ingeniero el cero del registro a nivel de la planchada.
- j) Colocar la bomba de mano y el limpia cable conectándolo a una salida de aire del taladro. En ese momento se dice que el pozo está vestido o lo que es lo mismo listo para comenzar a bajar el juego de herramientas.

#### **3.1.1.2.2 Corrida de Registros.**

Una vez que el pozo este armado, se procede a calibrar las herramientas, dependiendo del tipo, estas serán calibradas en superficie o dentro del pozo. Este proceso lo realiza el ingeniero o el especialista de campo, para ello deben introducirse en el software utilizado en Schlumberger “Wireline” parámetros como densidad y resistividad del lodo, estudio del pozo, tipo de lodo (base aceite o base agua), entre otros; los cuales son necesarios para calibrarlas. En algunas ocasiones se necesitan muestras del lodo y del filtrado para calibrar las mismas. La ayuda de los técnicos en la planchada es fundamental para realizar el proceso, ya que para la calibración de algunas herramientas se realizan procedimientos específicos como posicionamiento de sensores, y colocación de dispositivos calibradores.

Una vez que se han realizado las calibraciones necesarias en superficie, se comienza a bajar las herramientas, o lo que es lo mismo se comienza con la corrida de registros. Dicha corrida la realizan el operador de equipos (operador del cabrestante) y el ingeniero especialista. El operador del cabrestante se encarga de bajar y subir las herramientas de registro, a través del cabrestante de la unidad móvil de registros; esta operación la realiza desde la cabina. Este se encarga de anotar las medidas de profundidad que indican las marcas del cable registros.

El ingeniero especialista es el que coordina la operación; se asegura de que la herramienta esté funcionando bien durante toda la corrida, igualmente observa el registro que va apareciendo en los monitores de la unidad a medida que progresa la corrida. Se encarga de controlar la sobre tensión en el cable de registros, y da órdenes al operador del cabrestante de subir o bajar las herramientas, según lo requerido. Introduce parámetros al programa, para el correcto funcionamiento de las herramientas, e igualmente interpreta el registro a medida que va apareciendo, esto con la finalidad de dar al cliente información importante del pozo, además de indicar las condiciones que imperan en él determinando si es necesaria la corrida de más juegos de herramientas. Una vez que ha concluido la realización del registro, se imprimen las copias solicitadas por el cliente y se procede a desvestir el pozo.

### **3.1.1.2.3 Desvestida del Pozo**

Luego de haber finalizado la corrida se procede a desvestir el pozo, para ello se realiza un procedimiento contrario al de vestir el pozo. Primeramente se sacan del hoyo y se bajan a la corredera cada una de

las partes del juego de herramientas por separado, se limpian y se acomodan en la unidad que las va a transportar. Los equipos de vestir el pozo también se bajan a la corredera e igualmente se limpian y se acomodan en la unidad móvil de registro. Finalmente una vez que todos los equipos de Schlumberger “Wireline” se bajen de la planchada, se entrega el pozo a la compañía propietaria del taladro.

#### **3.1.1.2.4.- Chequeo de la unidad móvil de registros.**

Al finalizar el trabajo:

1. Desconecte los interruptores en forma ordenada dentro de la cabina.
2. Baje las rpm del motor al mínimo y deje descansar el motor 10 minutos antes de apagar el camión.
3. Anotar las horas de trabajo, que se muestran en el medidor.
4. Verificar el nivel de aceite hidráulico.
5. Verificar el aceite del motor.
6. Drenar tanque de aire.
7. Completar tanque de combustible.

#### **3.1.1.3.- En la Base (al regresar del trabajo):**

Al regresar a la base después de un trabajo, se debe limpiar la unidad móvil de registros (tanto por fuera como por dentro) y todos los equipos

utilizados. Se reporta cualquier anomalía, así como también cualquier accidente, pérdida o situación peligrosa que se halla presentado. Además se debe completar cualquier material (documentos, equipos mecánicos o eléctricos, etc.) que haga falta, con la finalidad de mantener la unidad siempre lista para salir a cualquier trabajo.

De acuerdo con la política de mantenimiento después de realizar un trabajo de corrida de registros se debe realizar el mantenimiento uno a las herramientas eléctricas utilizadas, el cual se hace según el siguiente procedimiento:

- a) Limpiar las herramientas.
- b) Chequear visualmente las herramientas, con la finalidad de observar su estado general. Reportar cualquier anomalía.
- c) Quitar y limpiar las tapas protectoras de rosca.
- d) Limpiar y engrasar las roscas de las herramientas.
- e) Revisar el estado de los sellos. Si están desgastados se deben cambiar.
- f) Colocar nuevamente las tapas protectoras de rosca a las herramientas y acomodarlas en sus estantes.

Si alguna herramienta ha presentado fallas en el pozo o alguna anomalía que no ha permitido que el trabajo culmine con éxito, retraso del mismo, o disminución de su calidad, se debe reproducir la falla en la base para así poder comenzar con las investigaciones pertinentes.

Este proyecto de diseño únicamente abarcará dos etapas indicadas a continuación:

- a) Las pruebas antes del trabajo de campo para disminuir los contratiempos que en este se puedan presentar.
- b) Reproducción de fallas presentadas por la herramienta con el objeto de realizar los correctivos pertinentes para poder ampliar en procesos posteriores la eficiencia y eficacia de la herramienta en la asignación.

### **3.2 Mapa Mental**

A continuación se presenta un mapa mental realizado para ayudar a esclarecer el problema, colocando las causas, las consecuencias, las restricciones, los síntomas, y el grupo de personas involucradas en la falla del tractor de pozo.

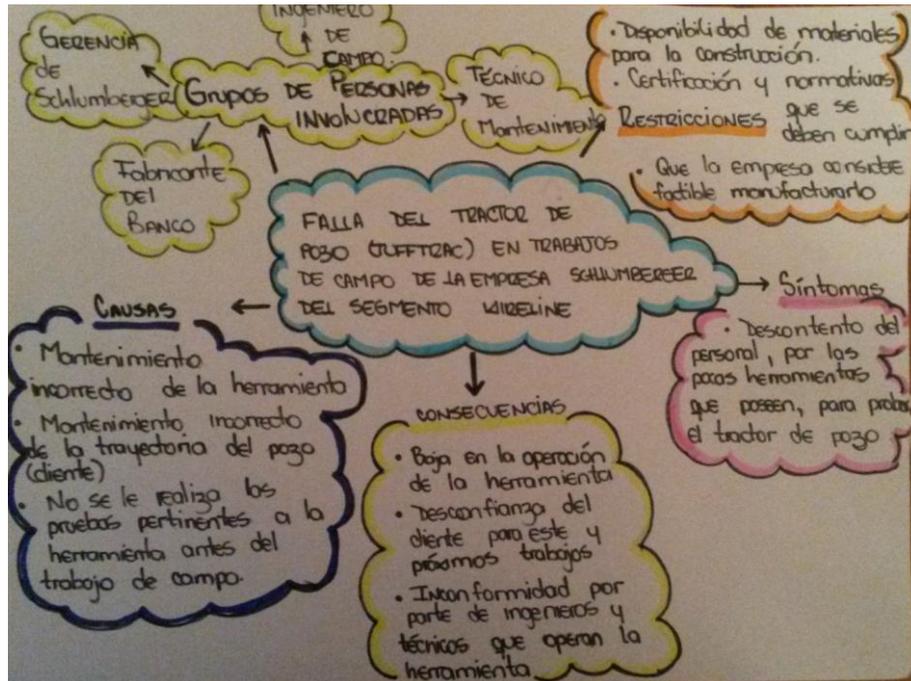


Figura nº 11. Mapa Mental realizado por la autora. Fuente: el autor.



Figura nº 12. Esquema final del Mapa Mental. Fuente: el autor.

### 3.3 Consideraciones del diseño

- El banco de pruebas a diseñar será utilizado en la base de Schlumberger Maturín.
- El banco de pruebas medirá y simulara el trabajo que realiza el tractor de pozo, en un trabajo real.
- Este equipo estará situado en un área llamada “área de cables” donde se cuenta con 50 a 60 metros de largo y 5 de ancho.



Figura nº 13. Foto tomada del área de cables. Fuente: el autor.

- En el banco de prueba será diseñado para probar solo el tractor de pozo de modelo “TuffTRAC-XTRA-A”, hasta de tres secciones modulares.

### **3.4 Generación de ideas**

La generación de ideas es un proceso innato en el ser humano, lo cual le permite pensar y forma criterios, para tomar decisiones acerca de una situación y la mayoría de veces para solventar un problema.

Como se dijo en el capítulo anterior, hay múltiples técnicas que se usan para la generación de ideas, entre una de la más usada esta la tormenta de ideas.

Para esta investigación se utilizo esta técnica, pero para un grupo de cinco personas, estudiantes de la escuela de ingeniería mecánica.

Al grupo se le explicó el problema que presentaba el personal de la base de Maturín, con la falla de la herramienta y solo se les realizo la siguiente pregunta, ¿de qué manera creen que se pueda probar esta herramienta antes del trabajo, o solventar la falla?

Se les explicó la técnica, esta tomo diez minutos, resaltando que no valía la calidad de las ideas sino la cantidad de las mismas, rigiéndonos por los conceptos anteriormente estudiados.

Los resultados de las mismas fueron las siguientes:

Integrante 1:

- a) Crear tuberías en superficie que simulen el trayecto para verificar el punto donde falla.
- b) Crear medios donde se simule las tuberías con poco mantenimiento.
- c) Mejorar las herramientas para casos de operación más extremos.
- d) Hacer un estudio de la tubería para ver su mantenimiento.
- e) Creación de algún liquido o fluido capaz de limpiar la tubería quitando cualquier sedimento existente
- f) Hacer mantenimiento de la herramienta lo más seguido posible y realizar un mantenimiento más minucioso cuando la herramienta deje de operar.
- g) Colocar una cámara capaz de soportar las condiciones dentro del pozo y así se lograra asegurar el estado del pozo en vivo.

Integrante 2:

- a) Construir una tubería estándar en laboratorio y probar la herramienta.
- b) Hacer funcionar la herramienta dentro de una nueva herramienta que sirva de apoyo como tubería.

- c) Asegurar que el mantenimiento de la herramienta es óptimo.
- d) Asegurar que el mantenimiento de la tubería sobre la que se va a trabajar es lo suficientemente óptimo para que la herramienta funcione.
- e) Colocar una cámara en la herramienta para determinar las condiciones del pozo a la altura que demuestre la falla.

Integrante 3:

- a) Hacer banco de pruebas con tuberías del diámetro del pozo tipo acordeón, con misma superficie interna para simular los ángulos de apoyo.
- b) Colocar ruedas más grandes al tractor.
- c) Colocar más ruedas al tractor.
- d) Hacer un tractor con movimiento tipo gusano (se adapta mejor a la superficie de la tubería).
- e) Colocar cámaras y luces al tractor (auto limpiables).

Integrante 4:

- a) Construir un modelo de desviación semejante y probarla.
- b) Aplicarle a la herramienta un fluido por si se pega.
- c) Evaluarlo en tierra en un banco con tierra más densa.
- d) Modelos a escala en terrenos diferentes.
- e) Probar en lagos de poca profundidad con tuberías incorporadas.

- f) Realizar pasos en tierra con tuberías de diferente material de poco mantenimiento para asegurar fallas practica.

Integrante 5:

- a) Colocar un camión conectado a la herramienta y ver la cantidad de fuerza que puede halar.
- b) Medir con un dinamómetro la fuerza a la que estén empujando las ruedas.
- c) Tener una herramienta supersónica que mida todos los parámetros y muestre que se encuentra en correcto estado.
- d) Hacer mantenimiento a la herramienta con un robot.
- e) Meter la herramienta en un horno y probarlo bajo alta temperatura.
- f) Recrear el ambiente de trabajo de alguna forma.

De esta tormenta de idea, se tomaron las más factibles como:

- a) Simular el trayecto de la herramienta.
- b) Simular la tubería con poco mantenimiento o sucia.
- c) Conservar la superficie interna de la tubería para el banco de pruebas.
- d) Medir con un dinamómetro

### 3.5 Planteamiento de ideas

De la generación de ideas, y comprendiendo mejor el problema desde el punto de vista del mapa mental, se realizó por el autor un planteamiento de idea, donde se verificaron varias opciones para la geometría del banco de pruebas y la disposición de todas las piezas en general. Estas se presentan a continuación:

Se muestra las opciones para la unión de los tubos de revestimiento de diferentes diámetros.

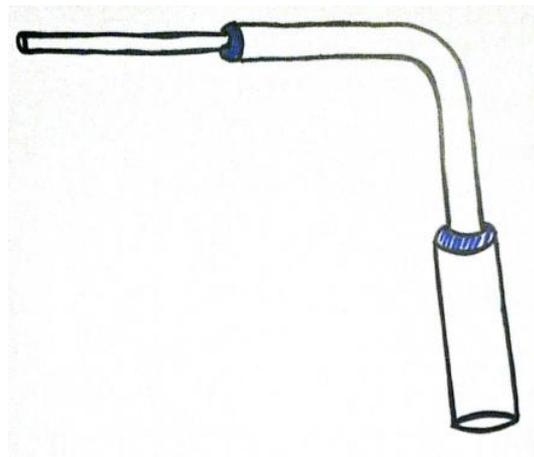


Figura nº 14. **Idea nº 1 para la unión de las tuberías.** Fuente: el autor.

La idea número 1 consta de un sistema donde el tubo de diámetro menor, encaja en el tubo de diámetro mayor, deslizando entre ellos de manera telescópica.

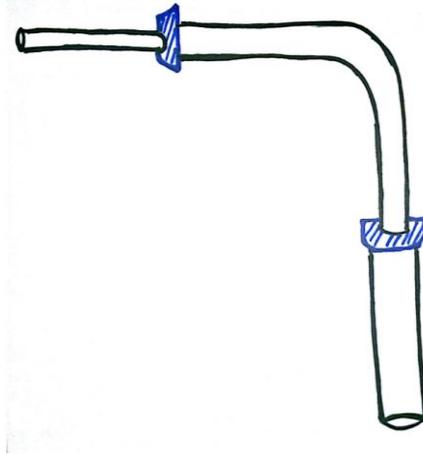


Figura nº 15. **Idea nº 2 para la unión de las tuberías.** Fuente: el autor.

La idea número dos se trata de una lámina soldada en el extremo del tubo de diámetro menor, y luego se soldaría al diámetro mayor.

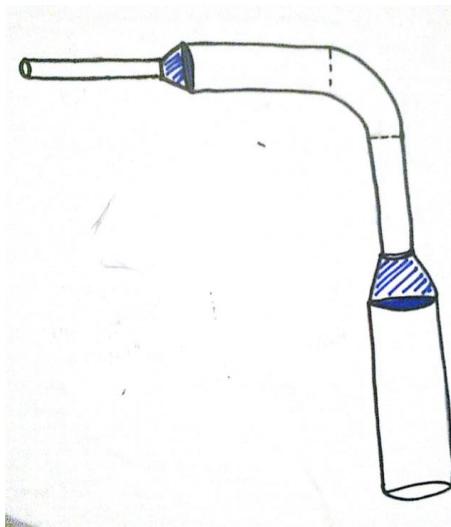


Figura nº 16. **Idea nº 3 para la unión de tuberías.** Fuente: el autor.

La idea número 3 consta de un sistema se realizaría colocando unos adaptadores cónicos, maquinados donde su diámetro menor pueda ser soldado con el tubo de menor diámetro y luego con el de mayor diámetro.

Para la trayectoria que tendrá el banco de pruebas también se establecieron tres ideas, que se presentaran en las imágenes siguientes.

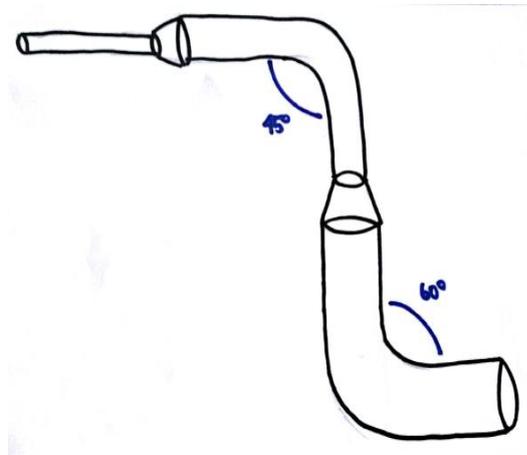


Figura nº 17. **Idea nº 1 para la trayectoria del banco de pruebas.**  
Fuente: el autor.

La idea número 1 para la trayectoria de los tubos consta de un segmento de tubería de 4½ pulgadas, de 30 pies de largo, subsiguiente a este un segmento de tubería de 6⅝ pulgadas, de 15 pies de largo. Luego una desviación de 45°, con un segmento de tubería de 6⅝ pulgadas de 15 pies de largo, un segmento de tubería de 9⅝ pulgadas de 15 pies de largo, y una desviación de 60° y terminar con un segmento de tubería de 9⅝ pulgadas de 15 pies de largo.

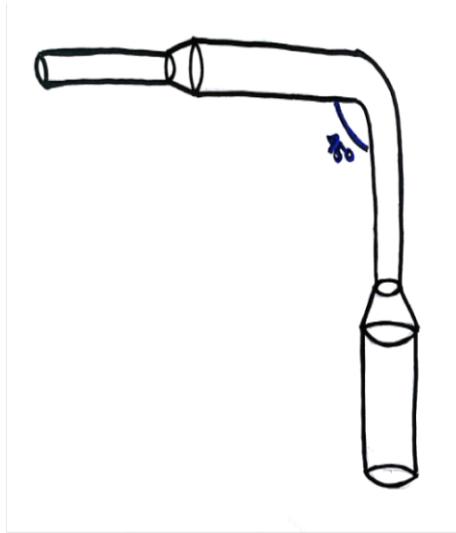


Figura nº 18. **Idea nº 2 para la trayectoria del banco de pruebas.**  
Fuente: el autor.

La idea número 2 para la trayectoria de los tubos consta de un segmento de tubería de  $4\frac{1}{2}$  pulgadas, de 30 pies de largo, subsiguiente a este un segmento de tubería de  $6\frac{5}{8}$  pulgadas, de 15 pies de largo. Luego una desviación de  $45^\circ$ , con un segmento de tubería de  $6\frac{5}{8}$  pulgadas de 15 pies de largo, y un segmento de tubería de  $9\frac{5}{8}$  pulgadas de 30 pies de largo.

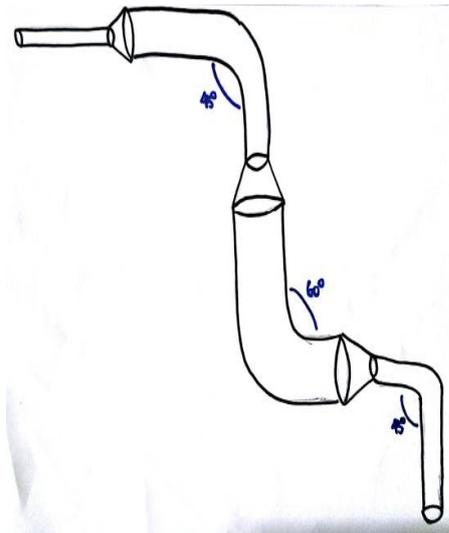


Figura nº 19. **Idea nº 3 para la trayectoria del banco de pruebas.**  
Fuente: el autor.

La idea número 3 para la trayectoria de los tubos consta de un segmento de tubería de  $4\frac{1}{2}$  pulgadas, de 30 pies de largo, subsiguiente a este un segmento de tubería de  $6\frac{5}{8}$  pulgadas, de 15 pies de largo. Luego una desviación de  $45^\circ$ , luego un segmento de tubería de  $6\frac{5}{8}$  pulgadas de 15 pies de largo, luego un segmento de tubería de  $9\frac{5}{8}$  pulgadas de 15 pies de largo, luego una desviación de  $60^\circ$ , luego un segmento de tubería de  $9\frac{5}{8}$  pulgadas de 15 pies de largo, subsiguiente un segmento de tubería de  $4\frac{1}{2}$  pulgadas, de 15 pies de largo, Luego una desviación de  $45^\circ$ . Para terminar con un segmento de tubería de  $4\frac{1}{2}$  pulgadas, de 15 pies de largo.

Ahora se muestran las opciones que se evaluaron como apoyo para el banco de pruebas..

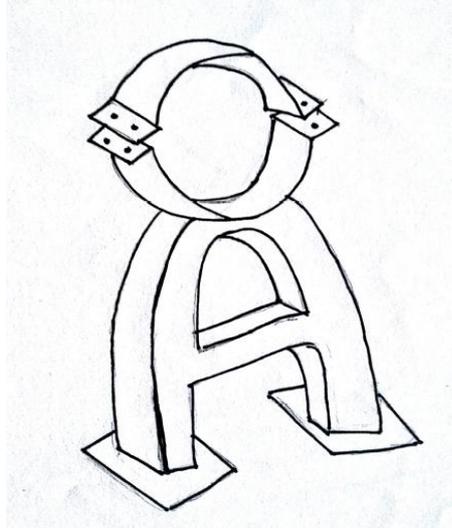


Figura nº 20. **Idea nº 1 para el apoyo del banco de prueba.** Fuente: el autor.

La idea número uno para el apoyo del banco de prueba consta de un apoyo en “A”, con una “U” soldada, y su abrazadera para poder fijar el tubo.

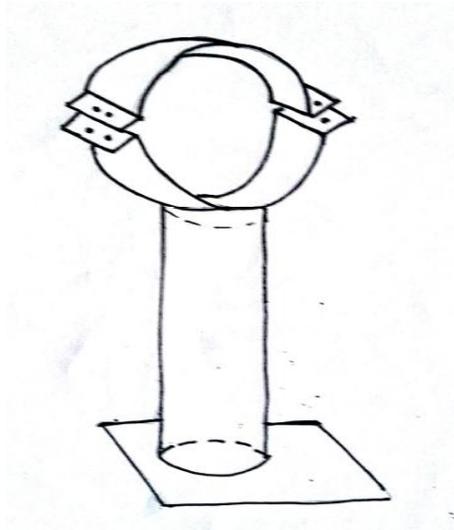


Figura nº 21. **Idea nº 2 para el apoyo del banco de prueba.** Fuente: el autor.

La idea número dos para el apoyo del banco de prueba consta de un apoyo de sección redonda, con una “U” soldada, y su abrazadera para poder fijar el tubo.

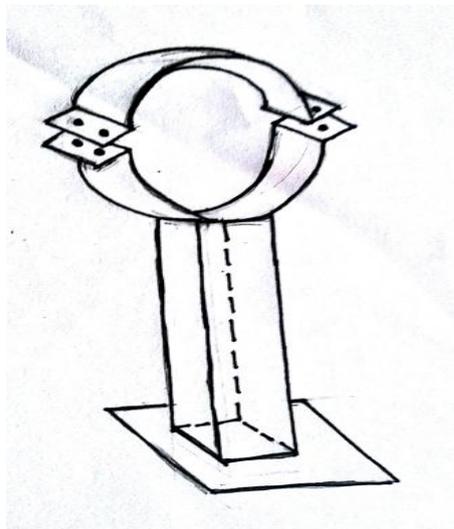


Figura nº 22. **Idea nº 3 para el apoyo del banco de prueba.** Fuente: el autor.

La idea número tres para el apoyo del banco de prueba consta de un apoyo de sección cuadrada, con una “U” soldada, y su abrazadera para poder fijar el tubo.

### **3.6 Selección**

En esta fase se busca saber con certeza las opciones más viables para el diseño final, por lo tanto se establecen criterios de selección, a cada idea se le asigna una ponderación de 0 a 5 puntos, siendo 0 la opción menos viable y 5 la opción más viable; de la misma forma a cada criterio se le multiplica por un porcentaje estipulado según su grado de importancia, para así obtener la puntuación real de cada uno de los criterios. Una vez que evaluado cada idea por separado, se suman las puntuaciones obtenidas para conseguir una puntuación total, la opción que obtenga el mayor puntaje será el mejor concepto-solución a desarrollar. Los criterios a evaluar son:

- a) Ergonomía: facilidades para el usuario en la operación del equipo, posición cómoda, seguridad y su limpieza y mantenimiento.
- b) Durabilidad: ya que la maquinaria se encontrará al aire libre, con esta característica se busca que aumentar la vida útil del mecanismo, prolongando el tiempo entre cada turno de mantenimiento.
- c) Construcción: se busca facilitar la manufactura del equipo, simplificando los materiales a usar y la complejidad de los procesos de fabricación.

- d) Costo-Beneficio: se requiere equilibrar los costos de fabricación del equipo y de mantenimiento con respecto a la ganancia que éste otorgará a la empresa.

### 3.6.1 Matriz morfológica

Aplicando los criterios para los para los parámetros de selección y ponderándolo de acuerdo a la escala de estimación anteriormente descrita, se evaluaron cada una de las opciones propuestas de una manera objetiva, lógica y neutral, con el fin de elegir el diseño que reuniera las características que mejor se ajustaran a las necesidades.

Tabla nº 3. **Matriz Morfológica**. Fuente: el autor.

	Ergonomía (20%)		Durabilidad (30%)		Construcción (20%)		Costo-Beneficio (30%)		Total
<b>Fijación de los tubos</b>									
Opción 1	4	0,8	3	0,9	2	0,4	4	1,2	3,3
Opción 2	3	0,6	2	0,6	1	0,2	3	0,9	2,3
Opción 3	3	0,6	4	1,2	4	0,8	5	1,5	4,1
<b>Tipo de apoyo</b>									
Opción 1	2	0,4	1	0,3	4	0,8	2	0,6	2,1
Opción 2	4	0,8	5	1,5	3	0,6	5	1,5	4,4
Opción 3	3	0,6	2	0,6	3	0,6	4	1,2	3

Trayectoria									
Opción 1	3	0,6	2	0,6	3	0,6	3	0,9	2,7
Opción 2	3	0,6	4	1,2	4	0,8	4	1,2	3,8
Opción 3	1	0,2	1	0,3	2	0,4	2	0,6	1,5
Tipo de material									
Acero al carbono	3	0,6	4	1,2	5	1	4	1,2	4
Aluminio	4	0,8	2	0,6	3	0,6	2	0,6	2,6
Cobre	2	0,4	0	0	2	0,4	5	1,5	2,3

En la tabla N° 3 se muestran los resultados obtenidos en la Matriz Morfológica utilizada para cada planteamiento de idea, tenemos:

- a) Fijación de tubos: la opción que resulto más viable fue la opción 3, que consta de un sistema que contiene unos adaptadores cónicos maquinados, donde su diámetro menor pueda ser soldado con el tubo y luego con el de mayor diámetro.
- b) Tipo de apoyo: la opción resultante fue la opción 2, que consta de una sección tubular esférica, que contiene una unión en forma de “U” soldada en la parte superior, que recubre el tubo de revestimiento del banco de prueba y que a su vez integra la sujeción del tubo, este apoyo se fijaría a través de una placa de sección cuadrada cementada al piso.
- c) Trayectoria: la opción 2 fue la más factible para el diseño, que consta de un segmento de tubería de 4½ pulgadas, de 30 pies de largo, subsiguiente a este un segmento de tubería de 6⅝ pulgadas, de 15 pies de largo. Luego una desviación de 45°, luego un

segmento de tubería de 6<sup>5</sup>/<sub>8</sub> pulgadas de 15 pies de largo, luego un segmento de tubería de 9<sup>5</sup>/<sub>8</sub> pulgadas de 30 pies de largo.

d) Tipo de material: el más conveniente resultó ser el acero.

Las unidades que se seleccionaron para trabajar en el diseño fueron unidades del sistema inglés, por ser los utilizados en la industria, y facilitar la construcción del mismo, algunos cálculos si se realizaran en el sistema métrico internacional.

### **3.6.2 Selección de material**

El material que se seleccionó para realizar el banco de prueba es un acero al carbono N80, hecho a base de acero templado y no templado 36Mn2V, ya que se ha probado que este acero es uno de los mejores para este tipo de trabajos y por lo tanto en la práctica los proveedores de PDVSA utilizan este acero para hacer los tubos de revestimiento que son usados en pozos petroleros.

### **3.6.3 Selección del dinamómetro**

El dinamómetro que se seleccionó para realizar la medición de la fuerza de empuje del tractor, fue un dinamómetro para grúas modelo DN275 de la empresa Ibérica, ya que este facilita la medición de cargas colgadas. Este dinamómetro incluye un mando para control remoto estándar, un gancho rotatorio con cierre de seguridad, una pantalla de alto contraste, como también indicadores de pantalla y una función de retención que mantiene la lectura visible en la pantalla luego de retirar la carga. El dinamómetro presenta las siguientes características:

- Control remoto por infrarrojos con tres botones
- Teclado con códigos de color
- Tres unidades de peso (kg, lb, N)
- Función retención de la pantalla
- Pantalla con rotación de 360 grados
- Grillete giratorio y perno de 360 grados
- Calibración externa
- Carcasa de policarbonato
- Carcasa de aluminio inyectado y magnesio
- Gancho cromado con grillete de seguridad
- Apagado automático
- Indicador de batería baja
- Batería recargable



Figura nº 23. **Dinamómetro DN275**. Fuente:  
<http://www.gisiberica.com/dinam%C3%B3metros/dinam%C3%B3metros.htm>

En la siguiente tabla, se presentan descritas las especificaciones técnicas del dinamómetro seleccionado:

Tabla nº 4. **Especificaciones técnicas del dinamómetro.** Fuente:  
[http://www.gisiberica.com/dinam%C3%B3metros/dinam%C3%B3metros.h](http://www.gisiberica.com/dinam%C3%B3metros/dinam%C3%B3metros.htm)  
 tm

<b>Modelo</b>	DN275
	LHS 2000
<b>Capacidad</b>	2000 kg
<b>Resolución</b>	0,5 kg
<b>Repetibilidad (S.D.)</b>	0,5 kg
<b>Precisión (+/-)</b>	1 kg
<b>Unidades de peso</b>	kg, lb, N
<b>Tiempo de estabilización</b>	1-2 segundos cuando el peso está estable
<b>Calibración</b>	Externa
<b>Pantalla</b>	5 dígitos rojos LED de 15 mm
<b>Alimentación</b>	Alimentación eléctrica o batería interna recargable (hasta 30 horas por carga)
<b>Temperatura en funcionamiento</b>	-10° a 40°C
<b>Carcasa</b>	Aleación de aluminio fundido y magnesio
<b>Dimensiones</b>	195 x 130 x 450 mm, incluyendo el gancho y el grillete
<b>Peso neto</b>	4,8 kg

## CAPITULO 4

### CÁLCULOS Y RESULTADOS

#### 4.1 Modelado de sólidos del banco de pruebas

Se empleó un programa de elementos finitos para realizar el modelado de sólidos del diseño según la idea ganadora en el capítulo III, donde luego se colocara la configuración final de cada parte del banco de prueba. El modelado del banco de prueba se realizó con medidas de tubos y tochos de acero estándar del mercado de tubos de revestimiento, donde también se tomó el mismo material empleado por la empresa PDVSA.

**Tabla nº 5. Diámetros comerciales de tubos de revestimiento proporcionado por la empresa Jiangyn Changjiang Oil Special Pipe Manufacture.**

Tamaño	Peso	diámetro externo		espesor		Acabado
	lb/ft					grado
		In.	Mm	In.	mm	N-80
						1、 Q
4 1/2"	9.5	4.500	114.30	0.205	5.21	--
	10.50	4.500	114.30	0.224	5.69	--
	11.60	4.500	114.30	0.250	6.35	PLB
	13.50	4.500	114.30	0.290	7.37	PLB
	15.10	4.500	114.30	0.337	8.56	--
5"	11.50	5.000	127.00	0.220	5.59	--
	13.00	5.000	127.00	0.253	6.43	--
	15.00	5.000	127.00	0.296	7.52	PLB
	18.00	5.000	127.00	0.362	9.19	PLB
	21.40	5.000	127.00	0.437	11.10	PLB

	23.20	5.000	127.00	0.478	12.14	PLB
	24.10	5.000	127.00	0.500	12.70	PLB
5 1/2"	14.00	5.500	139.70	0.244	6.20	--
	15.50	5.500	139.70	0.275	6.98	--
	17.00	5.500	139.70	0.304	7.72	PLB
	20.00	5.500	139.70	0.361	9.17	PLB
	23.00	5.500	139.70	0.415	10.54	PLB
	26.80	5.500	139.70	0.500	12.70	--
	29.70	5.500	139.70	0.562	14.27	--
	32.60	5.500	139.70	0.625	15.87	--
	35.30	5.500	139.70	0.687	17.45	--
	38.00	5.500	139.70	0.750	19.05	--
	40.50	5.500	139.70	0.812	20.62	--
	43.10	5.500	139.70	0.875	22.23	--
	6 5/8"	20.00	6.625	168.28	0.288	7.32
24.00		6.625	168.28	0.352	8.94	PLB
28.00		6.625	168.28	0.417	10.59	PLB
32.00		6.625	168.28	0.475	12.06	PLB
7"	17.00	7.000	177.80	0.231	5.87	--
	20.00	7.000	177.80	0.272	6.91	--
	23.00	7.000	177.80	0.317	8.05	PLB
	26.00	7.000	177.80	0.362	9.19	PLB
	29.00	7.000	177.80	0.408	10.36	PLB
	32.00	7.000	177.80	0.453	11.51	PLB
	35.00	7.000	177.80	0.498	12.65	PLB
	38.00	7.000	177.80	0.540	13.72	PLB
	42.70	7.000	177.80	0.625	15.87	--
	46.40	7.000	177.80	0.687	17.45	--
	50.10	7.000	177.80	0.750	19.05	--
	53.60	7.000	177.80	0.812	20.62	--
	57.10	7.000	177.80	0.875	22.23	--
7 5/8"	24.00	7.625	193.68	0.300	7.62	-
	26.40	7.625	193.68	0.328	8.33	PLB
	29.70	7.625	193.68	0.375	9.53	PLB
	33.70	7.625	193.68	0.430	10.92	PLB
	39.00	7.625	193.68	0.500	12.70	PLB
	42.80	7.625	193.68	0.562	14.27	PLB
	45.30	7.625	193.68	0.595	15.11	PLB
	47.10	7.625	193.68	0.625	15.88	PLB
	51.20	7.625	193.68	0.687	17.45	-
	55.30	7.750	193.68	0.750	19.05	-

7 3/4"	46.10	8.625	219.08	0.595	15.11	P
8 5/8"	24.00	8.625	219.08	0.264	6.71	-
	28.00	8.625	219.08	0.304	7.72	-
	32.00	8.625	219.08	0.352	8.94	-
	36.00	8.625	219.08	0.400	10.16	PLB
	40.00	8.625	219.08	0.450	11.43	PLB
	44.00	8.625	219.08	0.500	12.70	PLB
	49.00	9.625	244.28	0.557	14.15	PLB
9 5/8"	32.30	9.625	244.48	0.312	7.92	-
	36.00	9.625	244.48	0.352	8.94	-
	40.00	9.625	244.48	0.395	10.03	PLB
	43.50	9.625	244.48	0.435	11.05	PLB
	47.00	9.625	244.48	0.472	11.99	PLB
	53.50	9.625	244.48	0.545	13.84	PLB
	58.40	9.625	244.48	0.595	15.11	PLB
	59.40	9.625	244.48	0.609	15.57	-
	64.90	9.625	244.48	0.672	17.07	-
	70.30	9.625	244.48	0.734	18.64	-
9 5/8"	75.60	9.625	244.48	0.797	20.24	-
10 3/4"	32.75	10.75	273.05	0.279	7.09	-
	40.50	10.75	273.05	0.350	8.89	-
	45.50	10.75	273.05	0.400	10.16	-
	51.00	10.75	273.05	0.450	11.43	PSB
	55.50	10.75	273.05	0.468	12.57	PSB
	60.70	10.75	273.05	0.545	13.84	-
	65.70	10.75	273.05	0.595	15.11	-
	73.20	10.75	273.05	0.672	17.07	-
	79.20	10.75	273.05	0.734	18.64	-
10 3/4"	85.30	10.75	273.05	0.797	20.24	-
11 3/4"	42.00	11.75	298.45	0.333	8.46	-
	47.00	11.75	298.45	0.375	9.53	-
	54.00	11.75	298.45	0.435	11.05	-
	65.00	11.75	298.45	0.534	13.56	P
11 3/4"	71.00	11.75	298.45	0.582	14.78	P
13 3/8"	48.00	13.375	339.73	0.330	8.38	-
	54.50	13.375	339.73	0.380	9.65	-
	61.00	13.375	339.73	0.430	10.92	-
	68.00	13.375	339.73	0.480	12.19	PSB
	72.00	13.375	339.73	0.514	13.06	PSB

Los tubos que se seleccionaron para las tres secciones de cambio de diámetro son las de 4,5 pulgadas de diámetro exterior con 0,205 pulgadas de espesor, la de 6 5/8 de pulgadas de diámetro exterior con 0,288 pulgadas de espesor y 9 5/8 de pulgadas de diámetro exterior y 0,312 pulgadas de espesor, con un cono adaptador entre cada cambio de sección, y un codo de 45 grados en la sección de 6 5/8. Se utilizara soldadura entre cada uno de ellos

Estas secciones de tubo tendrán unos apoyos que también fueron seleccionados en el capítulo tres, que serán de acero estructural, y también estarán soldados para darle la forma.

A parte de la sección de tubos del banco de pruebas, este dispondrá de una mesa o apoyo para colocar la configuración entre el dinamómetro y la herramienta, y una mesa para colocar la mencionada patecla horizontal, para mantener direccionado el cable de registro.

A continuación se mostraran el modelado individual de cada una de estas piezas.



**Figura nº 24. Tubo de revestimiento de 4,5 pulgadas de diámetro externo, 0,307 pulgadas de espesor y 30 pies de longitud. Fuente: el autor.**



Figura n° 25. Tubo de revestimiento de 6 5/8 pulgadas de diámetro externo, 0,288 pulgadas de espesor y 15 pies de longitud. Fuente: el autor.



Figura n° 26. Tubo de revestimiento de 9 5/8 de diámetro externo, 0,312 pulgadas de espesor y 30 pies de longitud. Fuente: el autor.

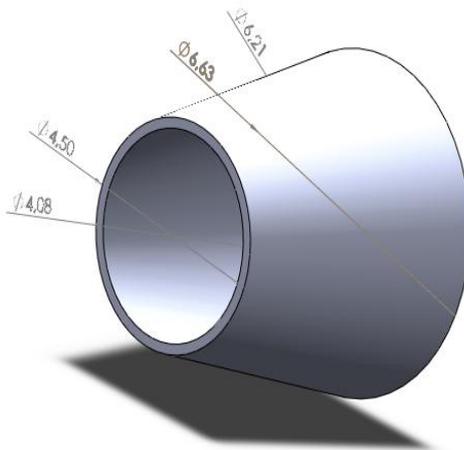


Figura n° 27. Adaptador cónico de 4 1/2 de pulgada a 6 5/8 de pulgada. Fuente: el autor.

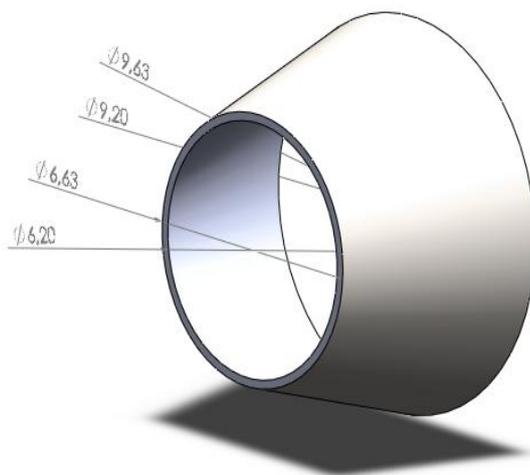


Figura nº 28. **Adaptador cónico de 6 5/8 de pulgada a 9 5/8 de pulgada.** Fuente: el autor.

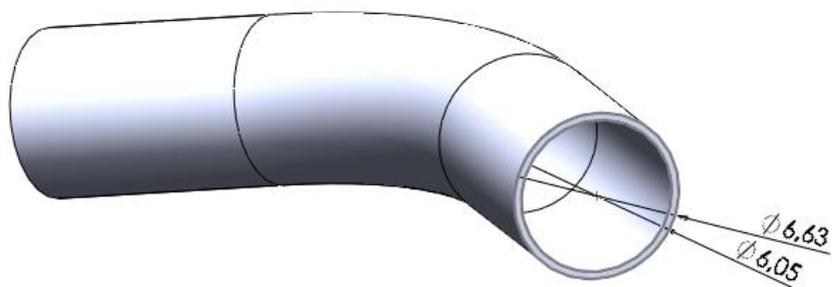


Figura nº 29. **Codo de 45 grados.** Fuente: el autor.

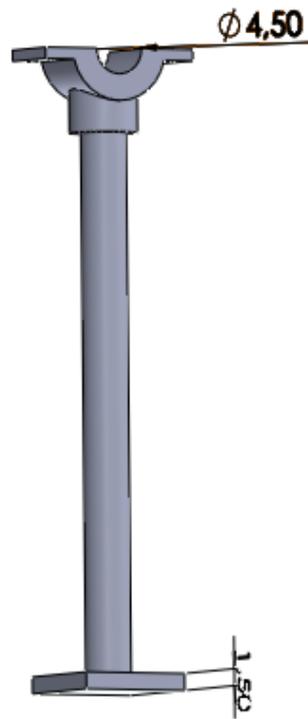


Figura nº 30. **Apoyo para la tubería de 4 1/2 de pulgada.** Fuente: el autor.

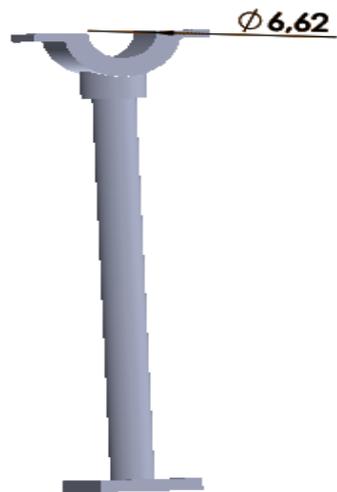


Figura nº 31. **Apoyo para la tubería de 6 5/8 de pulgada.** Fuente: el autor.

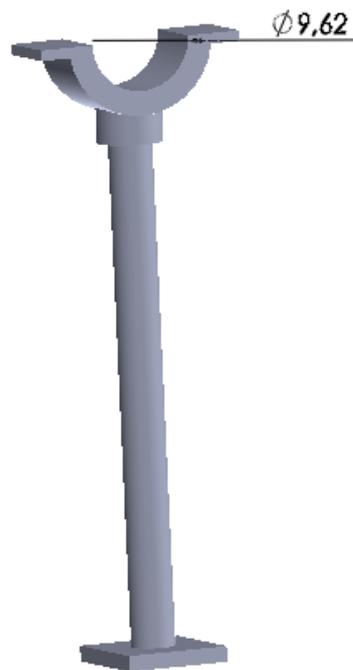


Figura nº 32. **Apoyo para la tubería de 9 5/8 de pulgada.** Fuente: el autor.

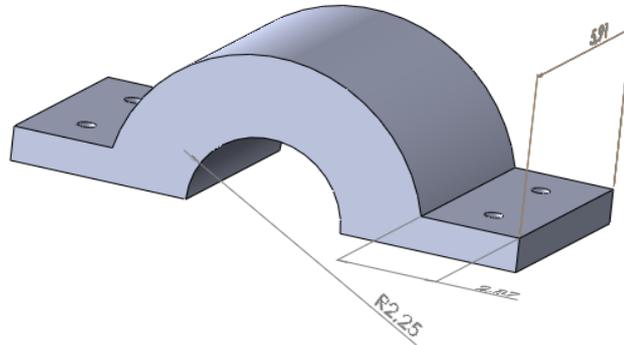


Figura n° 33. **Abrazadera para la tubería de 4 ½ de pulgada.** Fuente: el autor.

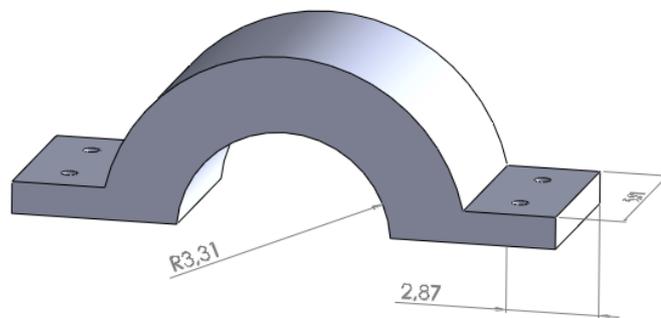


Figura n° 34. **Abrazadera para la tubería de 6 5/8 de pulgada.** Fuente: el autor.

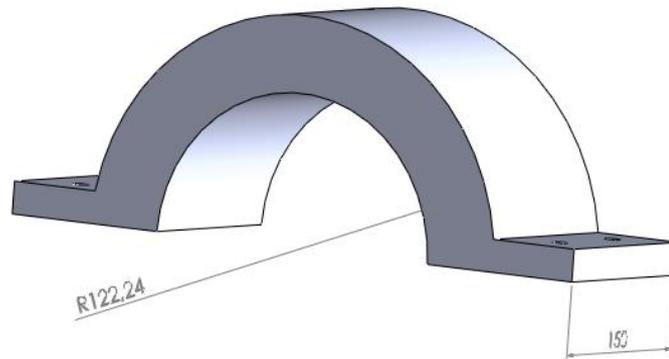


Figura nº 35. **Abrazadera para la tubería de 9 5/8 de pulgada.** Fuente: el autor.

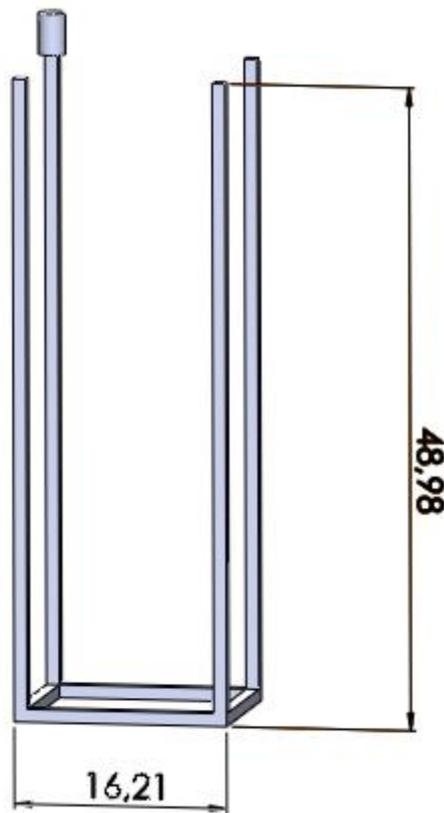


Figura nº 36. **Banco de fijación de la patecla horizontal.** Fuente: el autor.

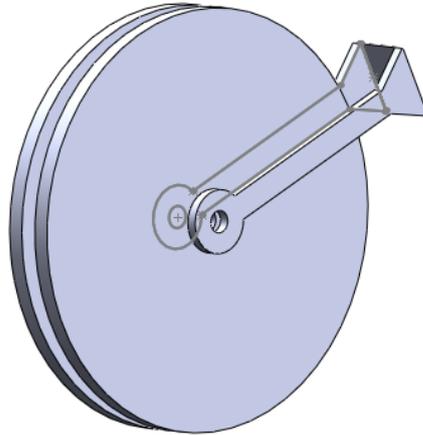


Figura nº 37. **Patecla Horizontal.** Fuente: el autor.

#### **4.2 Simulaciones Estructurales**

Para realizar las simulaciones estructurales del banco de pruebas, diseñado, se utilizó el programa SolidWorks, que trabaja mediante la teoría de elementos finitos, y entre los estudios que realiza, está el estudio estático que determina los esfuerzos, las deformaciones y el factor de seguridad de la pieza.

Se realizó el estudio estático, a las piezas fundamentales del ensamblaje del banco de pruebas, el cual se detallará a continuación.

## 4.2.1 Simulación estructural de la sección de tubos

El primer paso que se realizó es asignar un material a la geometría previamente modelada en CAD. Para las estructuras en acero se selecciono AISI 4340 Acero Normalizado, este tiene simlares propiedades al acero utilizado para tuberías de revestimiento en la industria. Las propiedades del material, se apreciaran en la figura número 39.

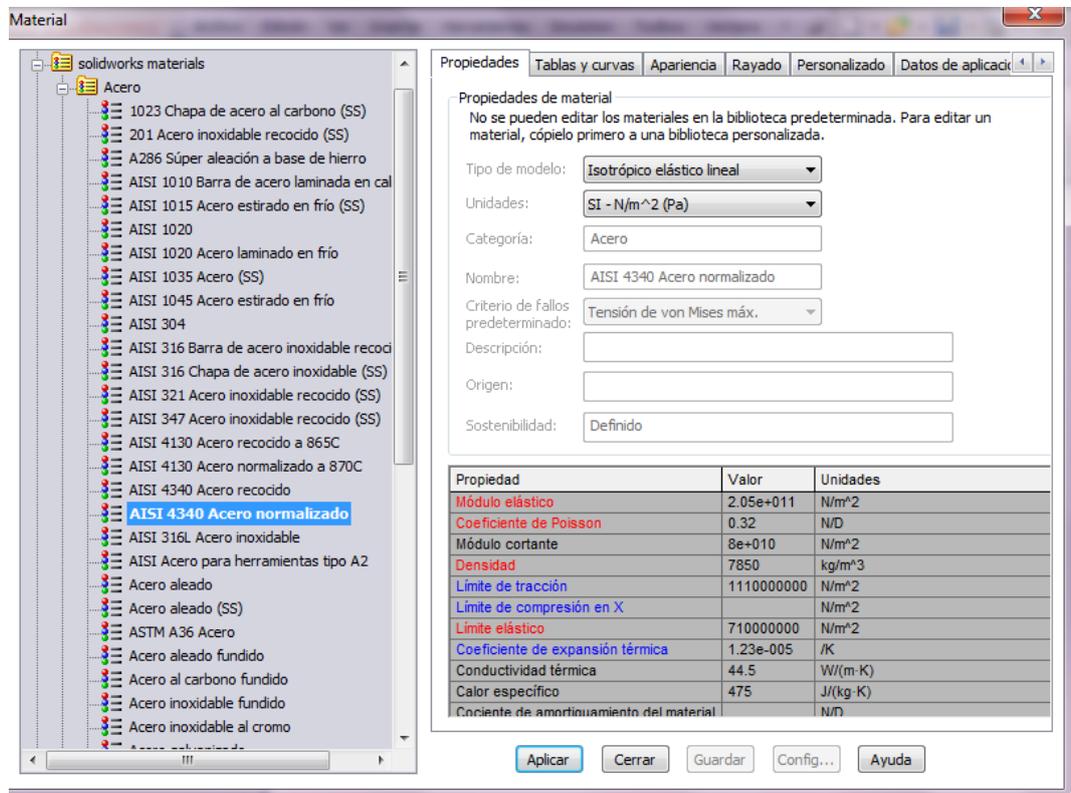


Figura nº 38. **Propiedades del acero AISI 4340 normalizado.** Fuente: el autor.

Luego de esto se fijaran las sujeciones y las cargas al modelo, donde las cargas que se tomaron para cada sección de tubos, fue el peso de la herramienta, sumando la presión que ejercen las ruedas sobre el banco.

Peso de la herramienta de tres secciones de ruedas: 303 lbf.

Presión ejercida por las ruedas accionadas: 400 lbf.

Fuerza total:  $FT = Ph + PR = 303 \text{ lbf} + 400 \text{ lbf} = 703 \text{ lbf}$

Luego se genera una malla sólida con elementos tetraédricos sobre toda la geometría, en la figura número 44 podemos observar la información de la misma.

Información de malla	
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño máximo de elemento	5.38582 in
Tamaño mínimo del elemento	0.269291 in
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Desactivar

Información de malla - Detalles	
Número total de nodos	503043
Número total de elementos	276387
Cociente máximo de aspecto	11.925
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	76.6
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.00181
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:28
Nombre de computadora:	BASINGER-PC

Figura nº 39. Información de la malla. Fuente: el autor.

El programa de simulación tarda aproximadamente diez minutos para resolver la malla, los resultados de tensión, deformación y factor de seguridad de cada sección de tubos se muestran en las siguientes

figuras. En la figura numero 41 se muestra como se fijo el banco de pruebas para la simulación, y la aplicación de la fuerza para cada sección de tubo, 4 ½ de pulgada, 6 5/8 de pulgadas y 9 5/8 de pulgadas.



Figura nº 40. **Ensamblaje del banco de pruebas.** Fuente: el autor.

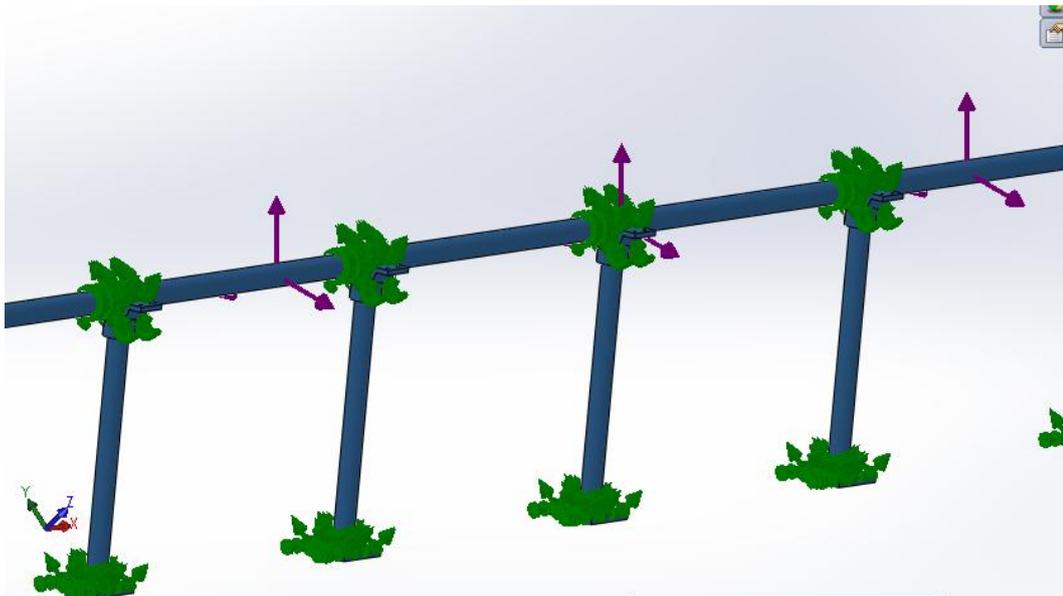


Figura nº 41. **Fijación del banco de pruebas y colocación de las fuerzas actuantes.** Fuente: el autor.

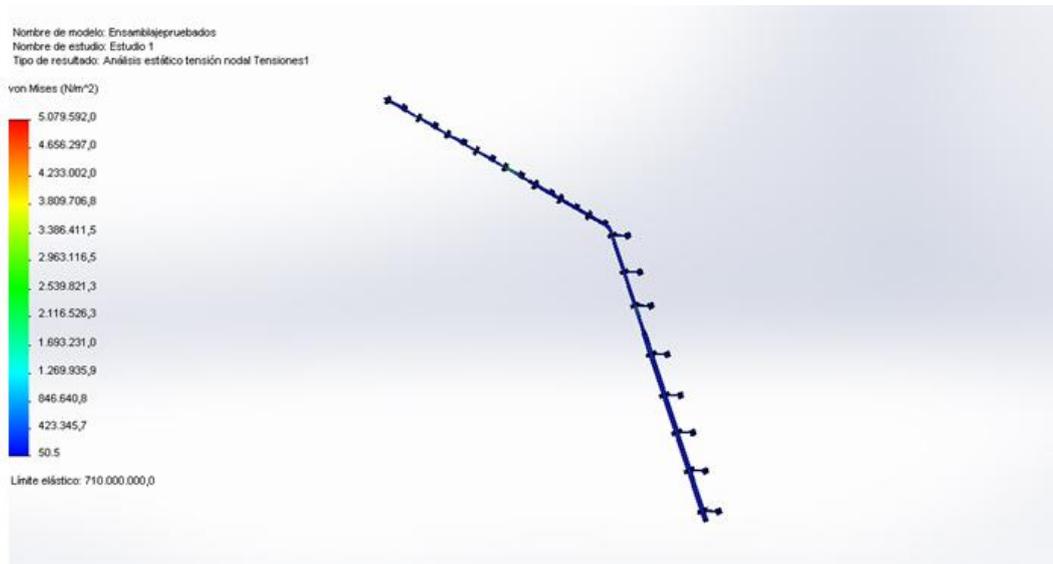


Figura nº 42. Esfuerzos de Von Mises para la fuerza aplicada en la primera sección. Fuente: el autor.

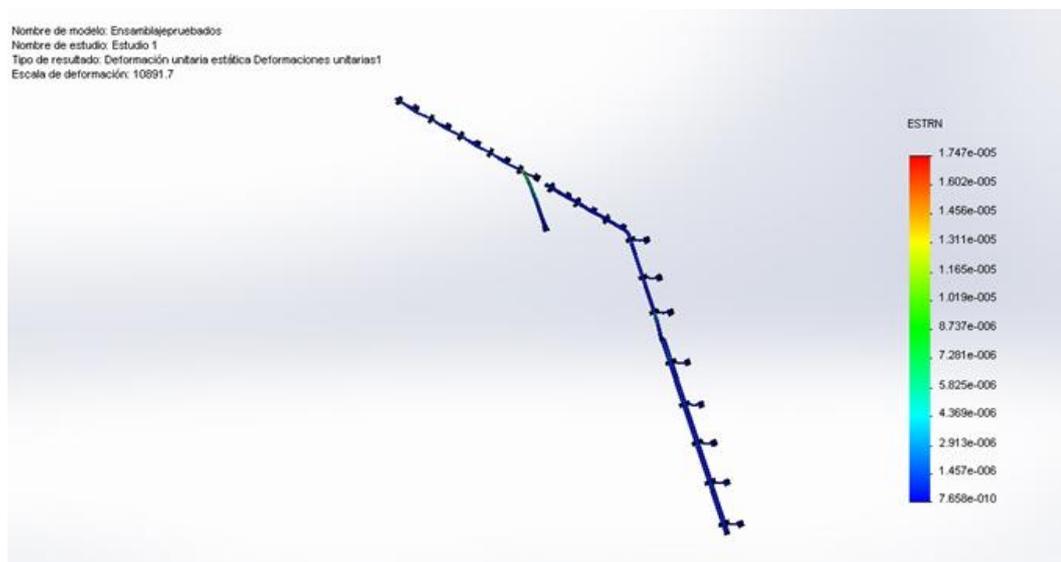


Figura nº 43. Deformación para la fuerza aplicada en la primera sección. Fuente: el autor.

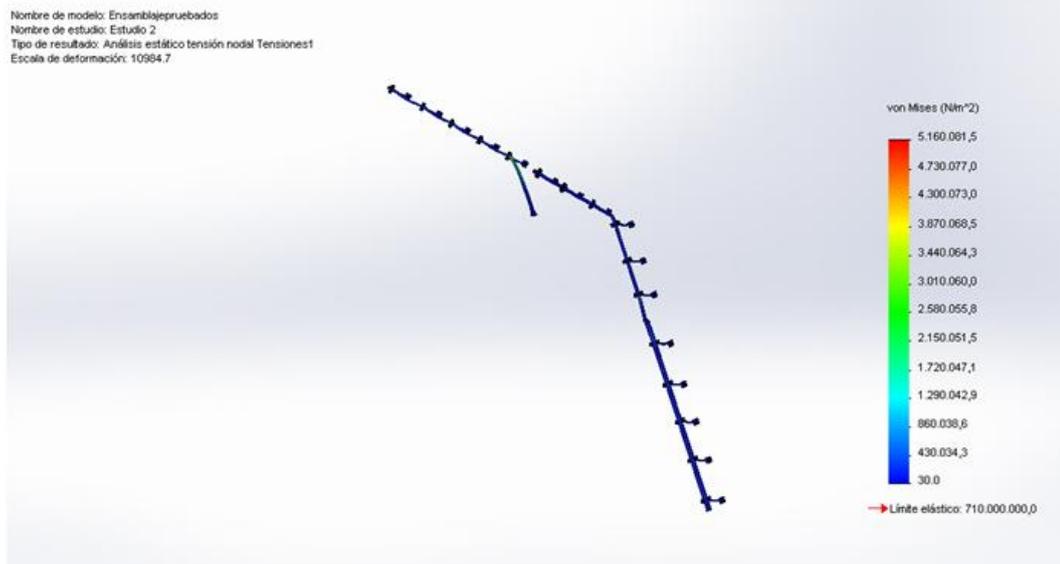


Figura nº 44. **Esfuerzos de Von Mises para la fuerza aplicada en la segunda sección.** Fuente: el autor.

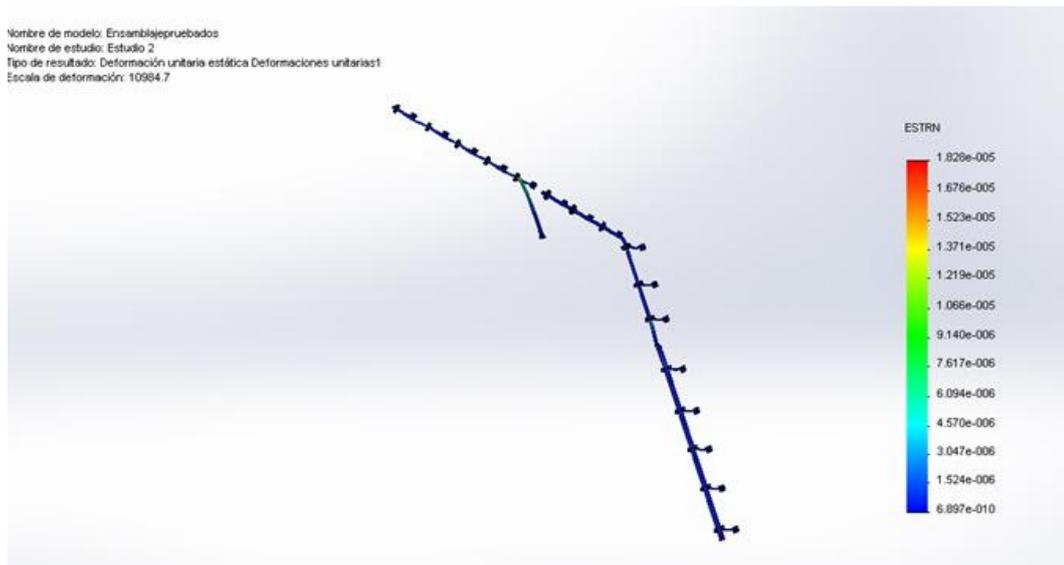


Figura nº 45. **Deformación para la fuerza aplicada en la segunda sección.** Fuente: el autor.

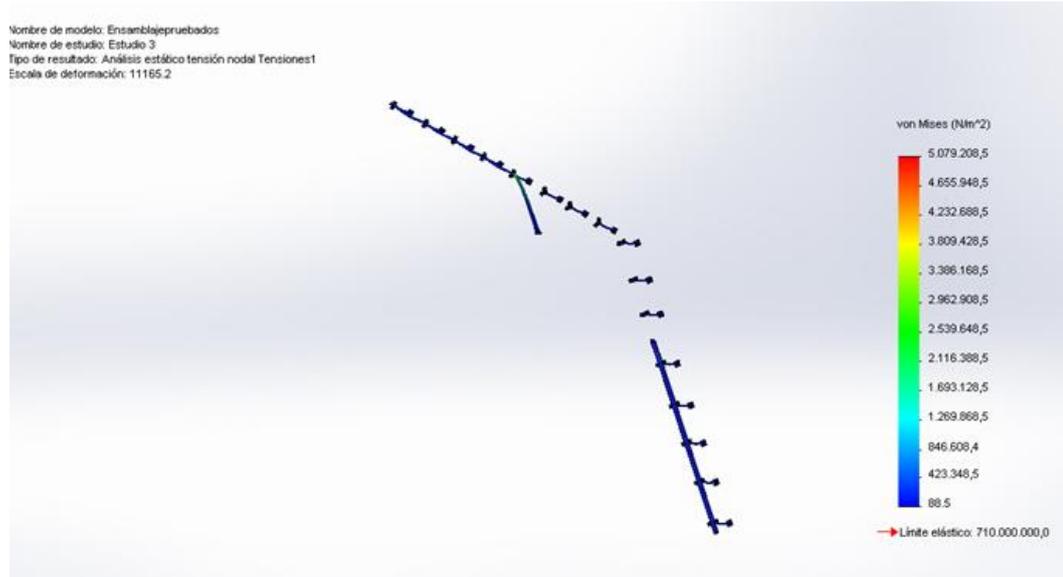


Figura nº 46. Esfuerzos de Von Mises para la fuerza aplicada en la tercera sección. Fuente: el autor.

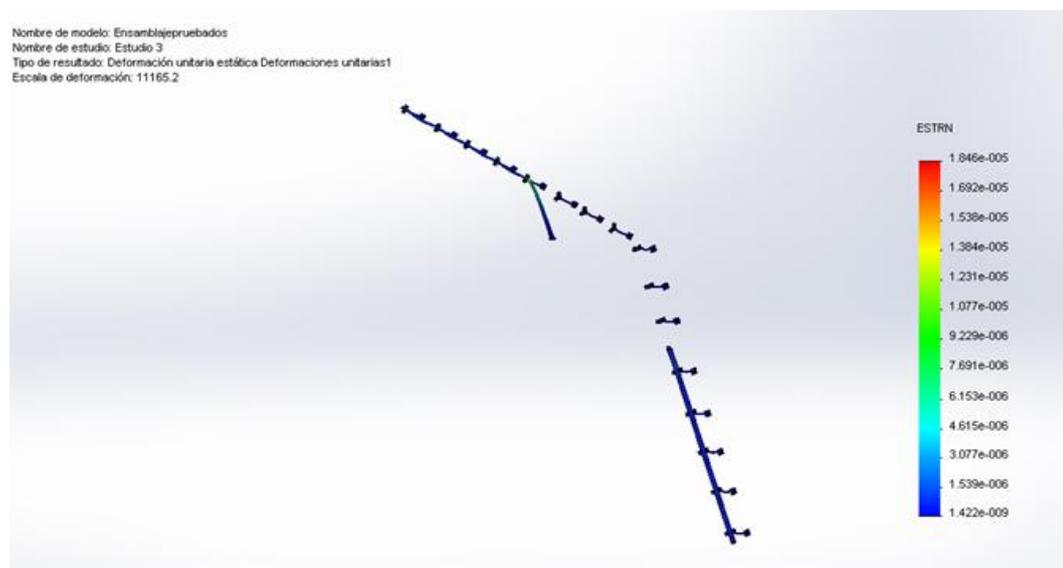


Figura nº 47. Deformación para la fuerza aplicada en la tercera sección. Fuente: el autor.

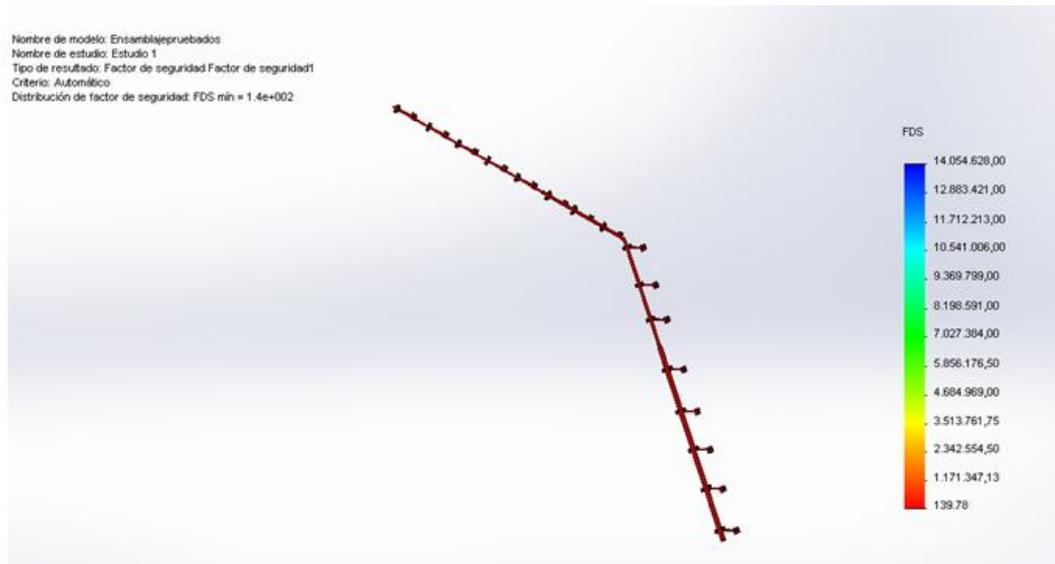


Figura nº 48. **Factor de Seguridad para la pieza.** Fuente: el autor

Los resultados de tensión, deformación y factor de seguridad del ensamblaje del banco de pruebas se muestran en las figuras número 42, 43, 44, 45, 46, 47 y 48 para cada sección. Se observa que el esfuerzo máximo es de 5.160.081,5 Pa y un desplazamiento máximo de  $1,846 \cdot 10^{-5}$  mm, el esfuerzo admisible del acero AISI 4340 es de 710.000.000 Pa, y la deformación máxima es despreciable. El factor de seguridad mínimo es de 139,78 lo cual es bastante elevado, por lo tanto se concluye que el ensamble no fallara.

#### 4.2.2 Simulación estructural de los apoyos del banco de pruebas.

Se realizó la simulación estática en cada uno de los apoyos del banco de pruebas, se calculó la fuerza total ejercida por el peso de la sección de tubos, el peso de la herramienta y la presión ejercida por la ruedas, que sería el caso más crítico.

$$FT' = P_t + P_h + P_R = 320,05 \text{ lbf} + 303 \text{ lbf} + 400 \text{ lbf} = 1023,05 \text{ lbf}$$

Esta fuerza será dividida, por el número de apoyos que exista en cada sección.

A continuación se muestran las imágenes resultantes de la simulación.



Figura nº 49. **Fijación del apoyo al piso y colocación de las fuerzas actuantes.** Fuente: el autor.

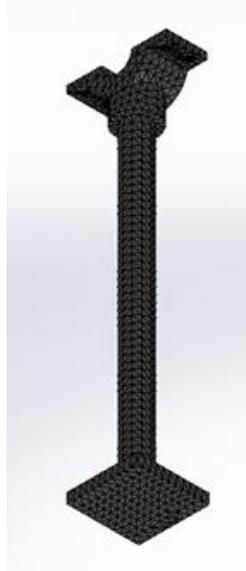


Figura nº 50. **Mallado de los apoyos.** Fuente: el autor.

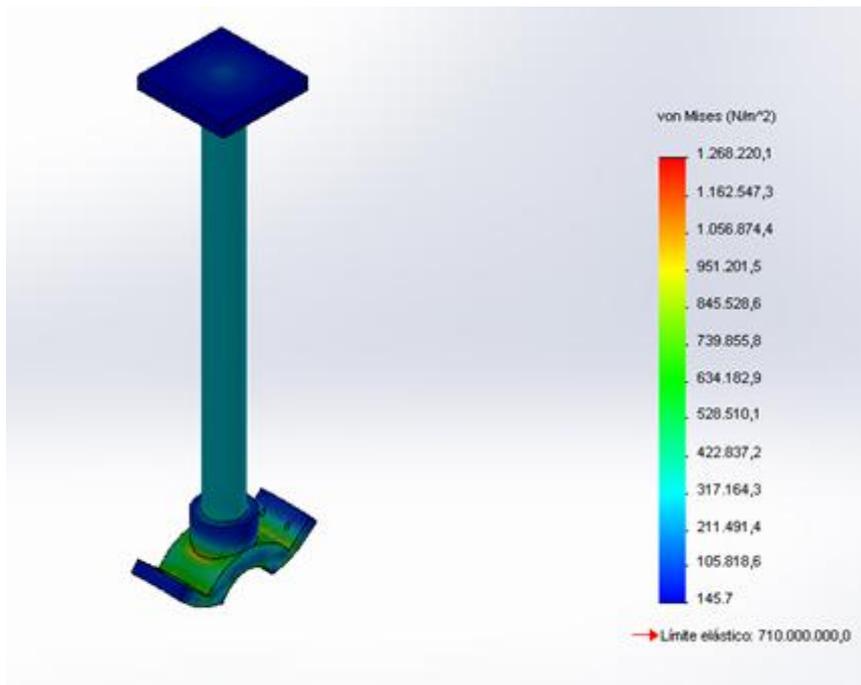


Figura nº 51. **Esfuerzos de Von Mises para el apoyo de 4 ½ de pulgada.** Fuente: el autor.

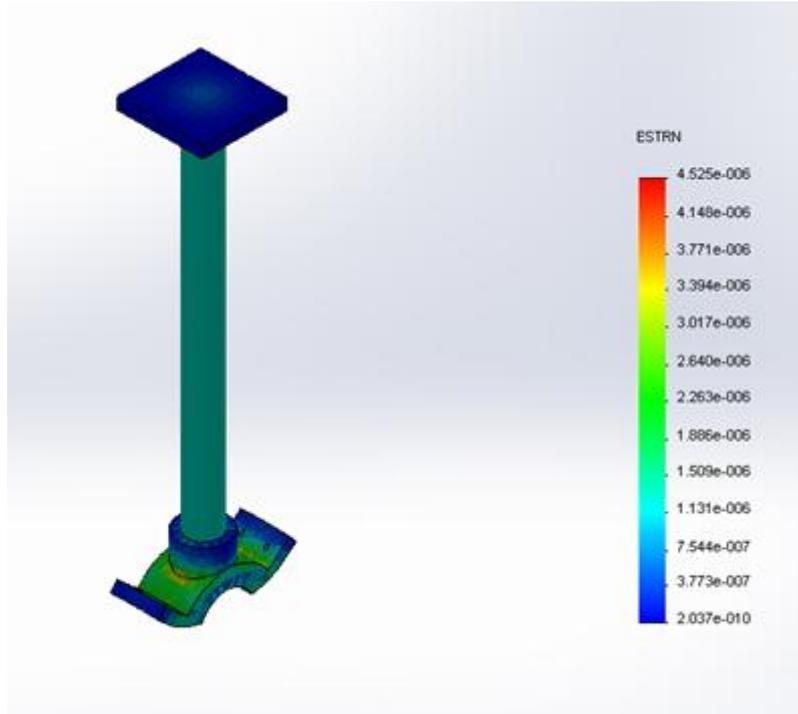


Figura nº 52. **Desplazamientos para el apoyo de 4 ½ de pulgada.**  
Fuente: el autor.

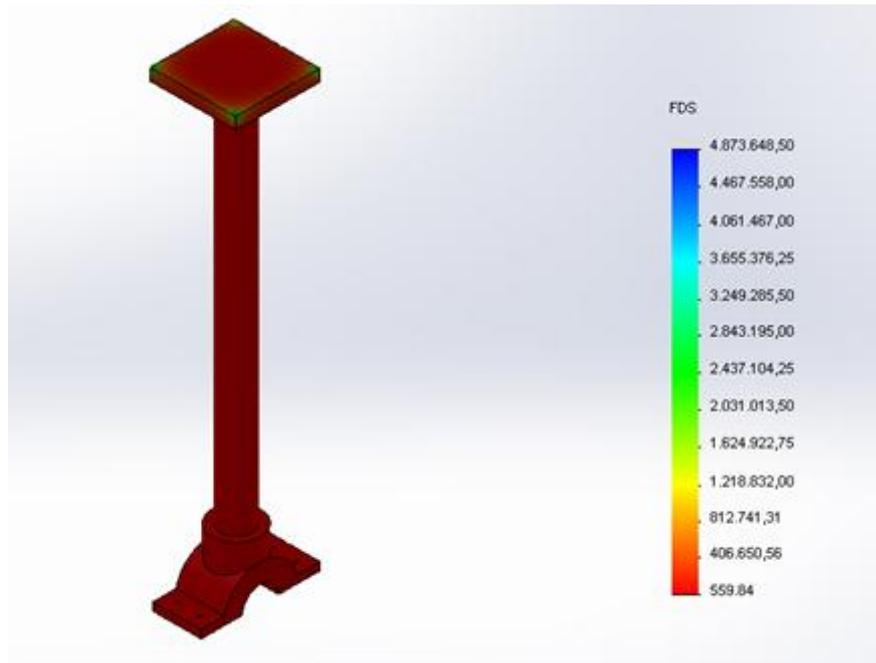


Figura nº 53. **Factor de seguridad para el apoyo de 4 ½ de pulgada.**

Fuente: el autor.

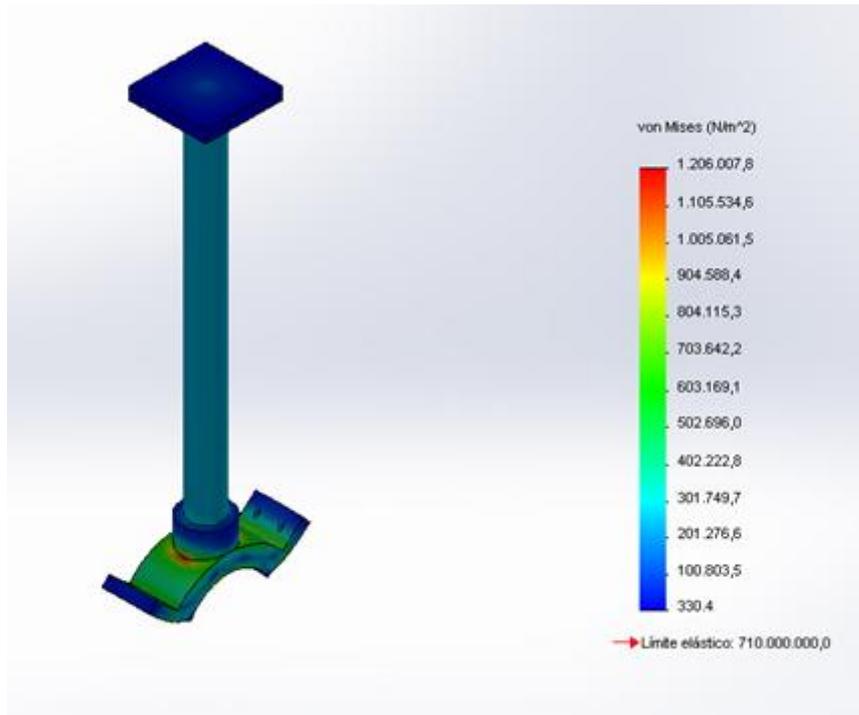


Figura nº 54. **Esfuerzos de Von Mises para el apoyo de 6 5/8 de pulgada.** Fuente: el autor.

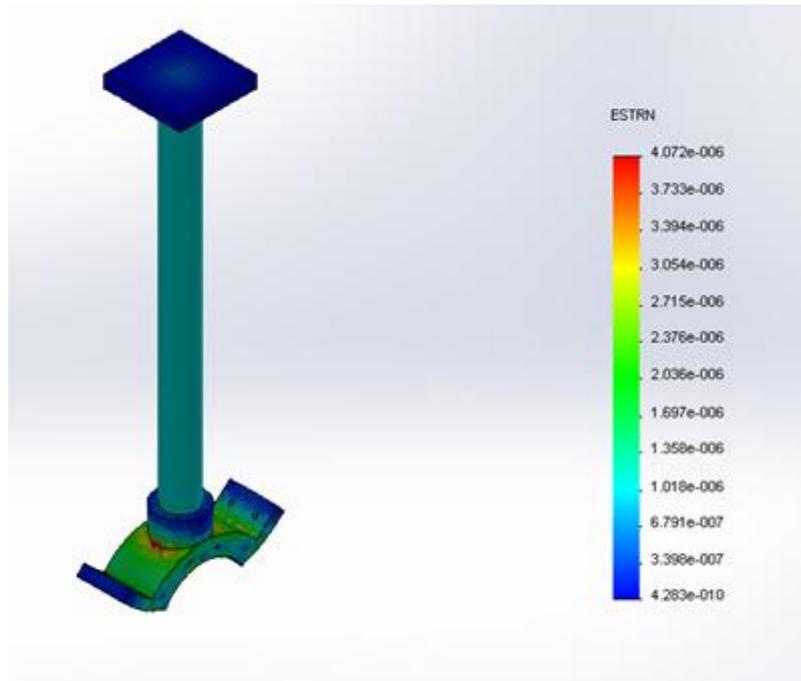


Figura nº 55. **Desplazamientos para el apoyo de 6 5/8 de pulgada.**

Fuente: el autor.

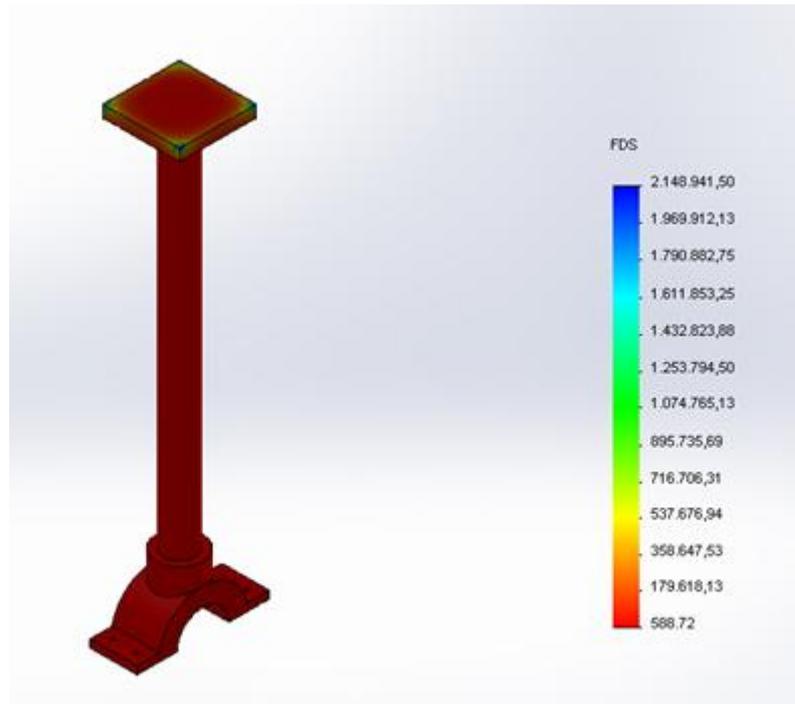


Figura n° 56. **Factor de seguridad para el apoyo de 6 5/8 de pulgada.**

Fuente: el autor.

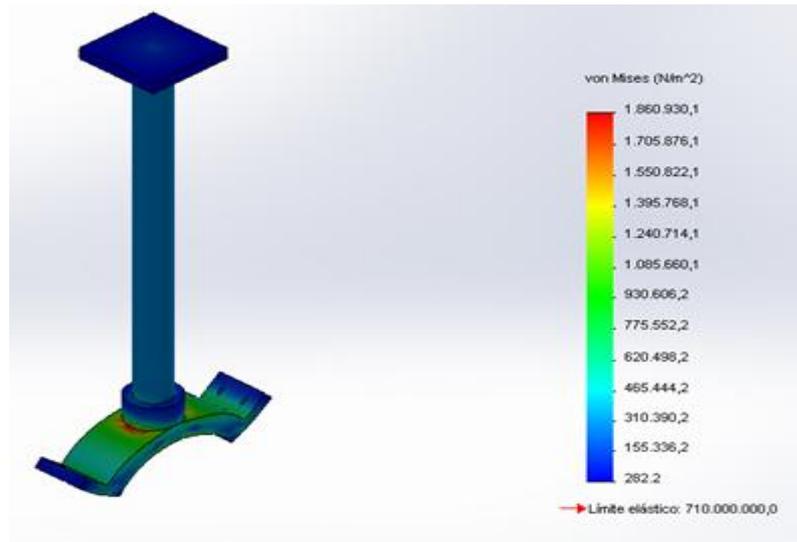


Figura n<sup>o</sup> 57. **Esfuerzos de Von Mises para el apoyo de 9 5/8 de pulgada.** Fuente: el autor.

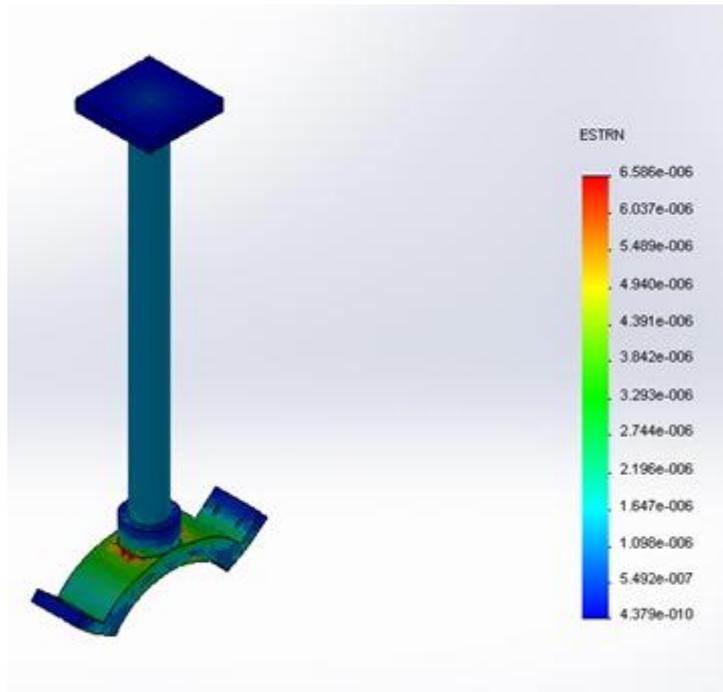


Figura nº 58. **Desplazamientos para el apoyo de 9 5/8 de pulgada.**

Fuente: el autor.

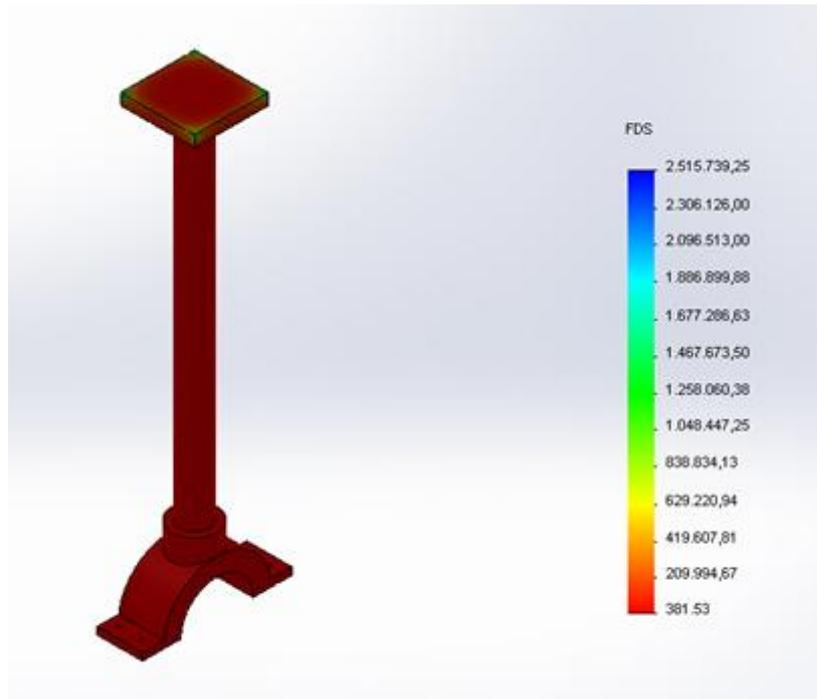


Figura nº 59. **Factor de seguridad para el apoyo de 6 5/8 de pulgada.**  
Fuente: el autor.

Los resultados de tensión, deformación y factor de seguridad de los apoyos del banco de pruebas se muestran en las figuras número 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58 y 59 para cada apoyo de diferente diámetro. Se observa que el esfuerzo máximo es de 1.860.930,1 Pa y un desplazamiento máximo de  $4,525 \cdot 10^{-6}$  mm, el esfuerzo admisible del acero AISI 4340 es de 710.000.000 Pa, y la deformación máxima es despreciable. El factor de seguridad mínimo es de 381,53 lo cual es bastante elevado, por lo tanto se concluye que los apoyos no fallaran.

#### 4.3 Cálculo de los pernos

Para los siguientes cálculos se utilizó la Teoría de Esfuerzos Cortantes Máximos.

El esfuerzo de fluencia del material de los pernos seleccionados (acero inoxidable AISI 304) es de 206,807 MPa.

Se estudio el caso en que el peso que se debe soportar es el del conjunto completo. ( $FT' = Pt + Ph + PR = 320,05 \text{ lbf} + 303 \text{ lbf} + 400 \text{ lbf} = 1023,05 \text{ lbf} = 4550,75 \text{ N}$ ). Consideraremos, por tratarse de cuatro pernos, la carga que actúa sobre ellos es  $FT/4$ . El diámetro de los tornillos de acero inoxidable es de  $0,5 \text{ in} = 0,01 \text{ m}$ .

El área total del perno sometida a esfuerzo cortante es igual al doble del área de la sección transversal del tornillo. Por lo tanto al sustituir en la ecuación 4 queda:

$$\sigma = (4550,75/4) [\text{N}] / 2 * \pi * ((0,01^2)/4) [\text{m}^2] = 7.242.743,57 \text{ Pa}$$

Y el factor de seguridad:

$$Fs = Sy / \sigma$$

Entonces para los tornillos queda:

$$Fs = 206,87 * 10^6 [\text{Pa}] / 7.242.743,57 [\text{Pa}] = 28,56 \text{ No fallan.}$$

#### 4.4 Condiciones de movimiento de la herramienta

En el marco teórico, se expreso que existía una condición de movimiento para que la herramienta, funcionara como tractor de otras herramientas, esta es la ecuación 1:

$$FT \geq FR$$

Donde FT es la fuerza de tracción de la herramienta, que es operada desde la cabina, por el ingeniero encargado y FR la resistencia al movimiento.

En la siguiente imagen podemos ver un diagrama libre de la herramienta en movimiento:

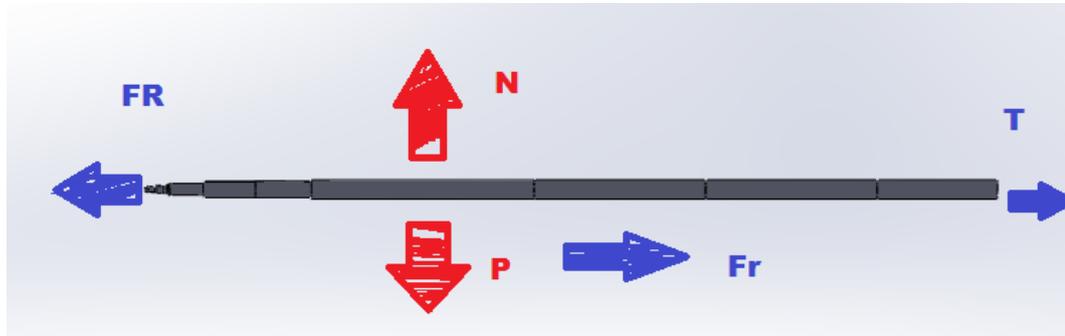


Figura nº 60. **Diagrama de cuerpo libre.** Fuente: el autor.

Si realizamos la sumatoria de fuerzas da como resultado:

$$\sum y = N = P$$

Donde:

$$P = m \cdot g$$

$$\sum x = T + Fr - FR = 0$$

Despejamos FR y tenemos:

$$FR = T + Fr$$

Sustituimos en la ecuación:

$$FT \geq T + Fr$$

Para que exista el movimiento se debe cumplir la desigualdad anterior.

Donde FT la opera el ingeniero desde la cabina ( $FT = 400\text{LBF}$ ), T es medida con el dinamómetro, y Fr es igual al peso de la herramienta por el coeficiente de roce, que en este caso

## **CAPITULO 5**

### **MANUAL DE OPERACIÓN**

El banco de pruebas para el tractor de pozo, modelo “TuffTRAC-XTRA-A”, fue diseñado para aumentar las probabilidades de que la herramienta no falle en el trabajo de campo que realizara el ingeniero de campo unos días posteriores.

Para la prueba del tractor de pozo en el banco de prueba diseñado, se necesitara del ingeniero a cargo del trabajo, y dos operarios que verifiquen que la prueba se está realizando correctamente, y visualizar los datos que se muestren en el instrumento de medición.

#### **5.1 Información importante para los operadores de la maquinaria.**

- Leer detenidamente el manual de operación antes de iniciar la prueba al tractor de pozo.
- Personal desautorizado no debe operar, ni realizar ningún cambio a la maquinaria.
- Utilizar la vestimenta adecuada y el equipo de protección y seguridad personal (EPP).
- Durante el funcionamiento del banco de pruebas, se requiere de plena atención del operador.
- Restringir el paso en el área de prueba.
- No utilizar ningún tipo de adornos en manos y brazos.

## 5.2 Funcionamiento de la herramienta

El banco de prueba posee los siguientes elementos:

- Una (1) sección de tubería de 4 ½ de pulgada de diámetro, 0,205 pulgadas de espesor y 30 pies de largo.
- Dos (2) secciones de tubería de 6 5/8 de pulgada de diámetro, 0,288 pulgadas de espesor y 15 pies de largo.
- Una (1) sección de tubería de 9 5/8 de pulgada de diámetro, 0,312 pulgadas de espesor y 30 pies de largo.
- Un (1) adaptador cónico de 4 ½ de pulgada a 6 5/8 de pulgada.
- Un (1) adaptador cónico de 6 5/8 de pulgada a 9 5/8 de pulgada.
- Tres (3) apoyos para la tubería de 4 ½ de pulgada.
- Cuatros (4) apoyos para las dos tuberías de 6 5/8 de pulgada.
- Tres (3) apoyos para la tubería de 9 5/8 de pulgada.
- Tres (3) abrazaderas para los apoyos de 4 ½ de pulgada.
- Cuatro (4) abrazaderas para los apoyos de 6 5/8 de pulgada.
- Tres (3) abrazaderas para los apoyos de 9 5/8 de pulgada.
- Una (1) patecla.
- Un (1) banco para la patecla, manteniéndola horizontal.
- Un (1) banco para el dinamómetro.
- Cuarenta (40) pernos de ½ pulgada de diámetro.
- Una (1) sujeción de la herramienta al dinamómetro.

Pasos para colocar el banco de prueba en funcionamiento:

- Tener el tractor de pozo conectado al camión de registro, previamente comprobado su encendido, su apertura de brazos y el movimiento de sus ruedas.
- Colocación del cable de registro en la patecla horizontal, evitando que el cable se enrede y redireccionandolo.
- Colocar la herramienta dentro del banco de prueba comenzando por la tubería de 4 ½ de pulgada, es importante que en este momento la herramienta permanezca apagada.
- Colocar el adaptador a la herramienta y fijarlo al banco del dinamómetro.
- Encender el dinamómetro y colocar su medición en cero.
- Encender la herramienta.
- Colocar la fuerza de tracción desde la cabina en 400 lbf.
- Con el peso de la herramienta y un coeficiente de fricción fijo de 0,3; se halla la fuerza de fricción.
- Permitir el avance de la herramienta dentro del banco de prueba.
- Medir la fuerza en el dinamómetro hasta que la misma cumpla con la siguiente condición:
- $T = FT - FR$
- Donde T es la fuerza medida por el dinamómetro, FT es la fuerza de tracción aplicada desde la cabina (para este caso 400 lbf) y FR es la fuerza de roce ejercida (para este caso 0,3\*el peso de la sarta de herramientas).
- Para el punto anterior puede existir una variante que sería adicional al tractor de pozo otra herramienta de registro aumentando así el peso.
- Desconectar el dinamómetro de la herramienta.
- Permitir que la herramienta avance a través de la red de tuberías y de esta manera observar que cumpla una correcta trayectoria,

adaptándose fácilmente a los cambios de diámetro y a la desviación de 45 grados.

- Se puede realizar el trabajo del tractor de pozo a la inversa comprobando así su bidireccionalidad.

### **5.3 Protecciones**

Para poder operar el banco de prueba es necesario que tanto los operarios como el ingeniero a cargo del trabajo dispongan de sus equipos de protección personal como guantes, casco, lentes de seguridad, braga, botas de seguridad.

Por ninguna razón se deben introducir las manos dentro del banco de prueba mientras la herramienta se encuentra encendida, de la misma manera no se debe tocar el cable de registro cuando este se encuentre fuera de la velocidad permitida; preferiblemente se debe aislar la zona de trabajo.

## **CAPITULO 6**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **6.1 Conclusiones**

A través de los principios estudiados en el área de diseño, se ha logrado la conceptualización de un banco de pruebas manual, para un modelo determinado de tractor de pozo.

El diseño realizado cumple con los parámetros propuestos inicialmente, con las limitaciones que se establecieron.

Las consideraciones tomadas para el estudio de cada uno de los componentes del equipo garantizan que su estructura es capaz de soportar las cargas a las que será sometido.

Las especificaciones del diseño se presentan de manera clara y sencilla, con un manual de operación. El diseño sencillo permitirá que el equipo sea puesto en marcha con facilidad. Se incluyen los planos de construcción para la fabricación.

#### **6.2 Recomendaciones**

- Incluir en el banco de pruebas diseñado, el efecto que tiene la temperatura y la presión de pozo en la herramienta.

- Evaluar la factibilidad económica del uso del banco diseñado.
- Modificar tramos y superficies interiores del banco de forma de tener diferentes observaciones.
- Seccionar dependiendo del espacio físico, para la instalación del banco de pruebas, plantear el seccionamiento en tramos de 15 pies para fácil transporte.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

About Schlumberger. (s.f.). Recuperado el 20 de enero de 2014, de <http://www.slb.com/about.aspx>.

Balestrini, M. (2006). *Como se elabora el proyecto de investigación* (7ª ed.). Caracas: Editorial BL consultores asociados.

Billingham, M. (2011). Transporte de herramientas en pozo abierto y entubado. *Revista de la Industria Petrolera*, 2, 20-35.

Febres, J. (2010). *Evaluación de las diferentes tecnologías para el estudio de la resistividad de las formaciones del suelo utilizadas por Weatherford Wireline Maturín*. Trabajo de ascenso no publicado. Universidad de Oriente, Venezuela.

Milani, R. (1983). *Diseño para nuestra Realidad*, Caracas: Editorial Equinoccio.

Moreno P y Perez A. (2004). *Métodos de los elementos finitos: introducción a ANSYS*, Madrid: Universidad de Sevilla.

Mott, Robert L. *Diseño de elementos de máquinas*, México: Editorial Pearson Educacion.

Shereitov, T. (2013). *Tufftrac maintenance manual* (19a ed).

SHIGLEY, Joseph. (1985). *Diseño en Ingeniería Mecánica* (3ª ed).  
Mexico: editorial McGRAW- HILL.

TABLANTE, Otman. (1988). *El proceso de investigación y desarrollo en el diseño de equipos, productos y maquinas*, Trabajo de ascenso no publicado, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Wikipedia. (2006). [Pagina web en línea], Enciclopedia, Disponible en:  
<http://www.wikipedia.org/>.

## GLOSARIO

### A

- **Agujero descubierto o abierto:** Es el que no cuenta con tubería de revestimiento.
- **Agujero Entubado o cerrado:** Es aquel que cuenta con tubería revestimiento.
- **Ancla de Seguridad:** Son piezas metálicas en forma de “T” que contienen dos orificios, uno en la parte superior y otro en la parte inferior, con una eslinga de seguridad insertada en la parte superior. El ancla debe ser utilizada para asegurar la patecla superior. En la parte de arriba debe estar apoyada en el elevador y en la parte de abajo debe sujetar una patecla de aluminio.

### B

- **Banco de prueba:** Es una plataforma para experimentación de proyectos de gran desarrollo.

### C

- **Cabezas:** Son dispositivos utilizados para conectar eléctrica y mecánicamente las herramientas de registro y cañoneo con el cable de registro, diseñadas para conectarse directamente a la punta del cable de registro. La conexión se logra con un torpedo especial que queda dentro de la cabeza, la cuales se clasifican en: cabezas para registros (LEH), cabezas para cañoneos (PEH) y cabezas mono-cable (MH).

- **Cable de registros:** es un conjunto de conductores que están aislados por materiales especiales y protegidos por dos capas de hebras de metal distribuidas proporcionalmente en sentido contrario sobre su propio eje. Estos conductores mantienen la comunicación entre las herramientas de registros y la computadora de la unidad de registros, que se encuentra instalado en una bobina ó tambor en las unidades o camiones de registros.
- **Cadena de Vestir:** es una cadena especialmente fabricada para la vestida del pozo, donde tiene gancho en un extremo y un eslabón de mayor diámetro en el otro extremo. Se utiliza para ajustar la Patecla inferior a la estructura del taladro o gabarra. Los eslabones tienen 5/8” de diámetro y existen cadenas de 10, 20 y 30 pies de largo.
- **CMTD:** Son las siglas en ingles del dispositivo de medición de tensión de cable en los registros de pozos.
- **Coaxial:** Es un cable de registro con dos conductores
- **Cuello de Ganso:** Es una pieza metálica en forma de “L” con un soporte que tiene un ángulo de sesenta grados (60°). Este es utilizado para crear un dobles uniforme, entre el cable y la cabeza de registro. El brazo longitudinal del cuello de ganso tiene un dispositivo de rotación por donde pasa el cable, para prevenir la salida o daños al cable.

## E

- **Eslinga pequeña de conexión vertical:** es una cadena pequeña con dos ganchos de seguridad en sus dos extremos. La función es ayudar a conectar las herramientas electrónicas verticalmente en la

boca del pozo. La eslinga pequeña de conexión vertical incrementa la eficiencia de la seguridad en el pozo en operaciones de registros.

- **Equipos para Vestir un Pozo:** equipos necesarios para vestir un pozo cuya función es soportar el peso de las herramientas de registro y cañoneo.

## G

- **Grilletes:** son piezas metálicas en forma de “U”, unidas con tornillos y tuercas en ambos extremos, son utilizados en la cadena de vestir y la Patecla de abajo, con la finalidad de sujetar la misma, deben tener su tuerca y un pin de seguridad.

## H

- **Heptacable:** Es un cable de registro con siete conductores.

## I

- **IDW:** son las siglas que definen un sistema de medición de profundidad, mediante un mecanismo electrónico. Existen varios tipos de IDW, entre los cuales tenemos: el IDW-B diseñado para trabajar en áreas no peligrosas, el IDW-H diseñado para trabajar en áreas peligrosas (a prueba de explosión), el IDW-EB diseñado para ser heliportable.

## M

- **Mono-cable:** es un cable de registro con un solo conductor.

## O

- **O-rings:** Es un sello de goma que se encuentra en un asiento entre dos superficies que sella la unión de las herramientas, para evitar que entren fluidos a los contactos eléctricos de las mismas.

## P

- **Patecla:** es una pieza en forma circular, centralizada por un eje que pasa por dos columnas paralelas unidas entre sí, proporcionando un conducto por donde pasará el cable de registros.
- **Perfilaje de Pozos:** Es el registro eléctrico realizado con herramientas para obtener información sobre los pozos u hoyo; efectuado mediante el uso de herramientas que miden: propiedades acústicas, radioactivas, electromagnéticas propiedades geológicas, petrofísicas de los estratos de fluidos agua, petróleo y gas. La principal función del perfilaje de pozos es la localización y evaluación de los yacimientos de hidrocarburos. Es controlada desde la superficie, y su información ayuda en la toma de decisiones en las operaciones. El producto a obtenerse es un perfil o registro del pozo.
- **Plato de conexión vertical:** Es una pieza metálica de forma circular, que contiene una ranura con un diámetro específico y un pasador de seguridad con el fin de soportar el peso de las herramientas electrónicas.

- **Pozos Desviados o Pozos Horizontales:** Pozo perforado en ángulo con la vertical.

## S

- **Stuffin:** es un accesorio que impide un bote de petróleo o gas y si llegara a suceder desvía el fluido a un tanque de almacenamiento.

## T

- **Tapas protectoras de rosca:** Son piezas de metal con rosca interna y externa, dependiendo de la herramienta que va a proteger y además contiene un gancho cerrado en sus extremos. Se utilizan para proteger las conexiones eléctricas de las herramientas, soportar el peso de las mismas y a su vez hacen la función de asa. Los protectores de rosca son parte fundamental en la vestida de un pozo.
- **Tractor de Pozo:** Es una herramienta tipo tractor, que en pozos horizontales o de muy complicada desviación, utilizado para agujero entubado, empuja la sarta de herramientas a través del agujero para así tomar la muestra en la altura adecuada o solicitada por el cliente.