

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA
COMISIÓN DE TRABAJO DE GRADO**



**REDISEÑO DE LA GEOMETRÍA DE UNA HERRAMIENTA
MOLEDORA “JUNK MILL” UTILIZADA EN LAS OPERACIONES DE
REHABILITACIÓN DE POZOS DE HIDROCARBUROS**

REALIZADO POR:

Fredhangelia Figueroa Álvarez

**Trabajo de grado presentado ante la Universidad de Oriente como
requisito parcial para optar por el título de:**

INGENIERO MECÁNICO

Barcelona, Mayo de 2009

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA
COMISIÓN DE TRABAJO DE GRADO**



**REDISEÑO DE LA GEOMETRÍA DE UNA HERRAMIENTA
MOLEDORA “JUNK MILL” UTILIZADA EN LAS OPERACIONES DE
REHABILITACIÓN DE POZOS DE HIDROCARBUROS**

ASESORES

**Ing. Marcela Seijas
ASESOR ACADÉMICO**

**Ing. Giovanni Morantes
ASESOR INDUSTRIAL**

Barcelona, Mayo de 2009

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA
COMISIÓN DE TRABAJO DE GRADO**



**REDISEÑO DE LA GEOMETRÍA DE UNA HERRAMIENTA
MOLEDORA “JUNK MILL” UTILIZADA EN LAS OPERACIONES DE
REHABILITACIÓN DE POZOS DE HIDROCARBUROS**

JURADO

El jurado hace constar que asignó a ésta tesis la calificación de:

EXCELENTE

**Ing. Marcela Seijas
ASESOR ACADÉMICO**

**Prof. Félix Payares
JURADO PRINCIPAL**

**Prof. Gaetano Sterlacci
JURADO PRINCIPAL**

Barcelona, Mayo de 2009

RESOLUCIÓN

ARTÍCULO N° 44.

Del Reglamento de Trabajo de Grado.

“Los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el conocimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quién lo participará al Consejo Universitario”.

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó un rediseño de la geometría de la herramienta moledora Junk Mill a fin de obtener un diseño caracterizado por mejor eficiencia y desempeño. El rediseño fue realizado en función de la reducción de las solicitaciones a las cuales esta herramienta está sometida durante su operación de rehabilitación de pozos de hidrocarburos. Para lograr el rediseño, primeramente se realizó el análisis estático a la herramienta actual, con el fin estudiar los esfuerzos producidos durante el proceso de milado, para ello se utilizó un software de análisis por el método de los elementos finitos y los parámetros operacionales sugeridos por los registros de pozos, obtenidos por el Drilling Information Management System (DIMS). Además, se estudió la influencia de las condiciones de operación: torque y peso sobre la herramienta, utilizando los valores máximos y mínimos de estos parámetros, encontrándose que el torque produce mayor influencia sobre los esfuerzos debido a la naturaleza del material de la herramienta. Como parte del análisis dinámico, se utilizó la caracterización de los esfuerzos fluctuantes para el cálculo del factor de seguridad y se encontró que el valor de este factor sugiere vida infinita. Tomando en consideración los resultados obtenidos del estudio hecho al Junk Mill actual y los parámetros generales de diseño de las herramientas de corte de metales, finalmente se obtuvo la herramienta rediseñada, la cual fue sometida a los mismos estudios realizados a la herramienta actual. Los resultados obtenidos fueron comparados y se encontró que con el rediseño se logró una disminución de los esfuerzos de von Mises en una tasa de 2,822 MPa.

DEDICATORIA

A mis padres **Freddy y Dhays** porque son y serán siendo los pilares más importantes de mi vida, por ese amor incondicional, por las enseñanzas, por los consejos, por estar allí siempre a mi lado, sin ustedes no habría podido lograr lo que soy hasta ahora. Los amo con todo mi corazón.

A mis hermanos **Dhalfred y Freddy** por ayudarme en esos momentos en cuanto más los necesitaba, por sus enseñanzas, por todas esas tardes de juegos y travesuras, por estar siempre allí cuidando de mí. Los adoro manitos.

A mis hermanitas **María y Frida** por todo lo que he aprendido junto a ustedes, por hacer de mi una mejor persona, porque a pesar de todo con su llegada le dieron más alegría a mi vida, por sus risas y cariño. Las adoro mis princesitas.

A mis mejores amigos **Norely y Jorge**, por estar siempre allí junto a mí, sin importar si eran buenos o malos momentos, por todos esos regaños que alguna vez necesite, por su amistad incondicional, porque siempre consiguen sacarme una sonrisa, por toda la confianza y el cariño que me han brindado, por ser más que mis amigos, son mis hermanos. Simplemente por formar parte de mi vida. Los adoro amiguitos.

A mi primita **Rina** por apoyarme, por estar junto a mí en los buenos y malos momentos, por ser más que mi prima eres mi hermanita y mejor amiga. Te adoro primita.

A mis abuelos **Rubén (†)** y **Carmen (†)** por ese cariño incondicional, por su apoyo, por sus consejos y por los principios que me inculcaron. Sé que desde el cielo están orgullosos de mí y desde allá me cuidan. Los quiero y los extraño muchísimo.

A mi abuela **Mercedes** por todas tus enseñanzas, por esos regaños que recibí en varias ocasiones, por todo lo que hemos compartido, por ser única y especial para mí. Te adoro abuelita.

A toda mi familia **Figueroa Álvarez** por apoyarme en todo momento, por su cariño y por cuidar de mí.

A mi tutora **Marcela** por tus consejos, tu paciencia y dedicación. Por todo lo que necesite para culminar con éxito este trabajo.

Fredhangelia Figueroa Álvarez

*Cuánto más se aproxima uno al sueño,
más se va convirtiendo la leyenda personal
en la verdadera razón de vivir.*

Paulo Coelho

AGRADECIMIENTOS

Primeramente le agradezco a **Dios y la Virgen del Valle** por estar conmigo en todo momento, por darme salud y fuerza para enfrentar todos los obstáculos que se me han presentado en la vida. Por guiarme en cada uno de mis pasos y nunca desampararme.

A mis **Padres** por ser como son, por estar a mi lado en todo momento, por apoyarme y nunca permitir que algo me faltara. Son los mejores padres del mundo.

A mis **Hermanos** por estar allí junto a mí, por darme palabras de aliento cuando más necesitaba, simplemente por ser parte de mi vida y mis hermanitos.

A mis **Amigos Norely, Jorge y Oswaldo** por todo el apoyo que me han dado, por siempre estar conmigo, por hacerme sentir en familia, porque son únicos y muy especiales para mí.

A mi **Primita** por estar siempre a mi lado y apoyarme, por todo ese cariño, simplemente por ser como eres.

A mi **Tío Rómulo** por todo su apoyo, su confianza y por darme la oportunidad de demostrar, lo que he aprendido, en el ambiente laboral y así culminar este sueño tan anhelado.

A mi segunda **Familia Suárez Malaver** por brindarme su apoyo, confianza, cariño y sobre todo por abrirme las puertas de su casa y hacerme sentir siempre en mi segundo hogar.

A mi **Tutora Marcela** por orientarme, guiarme y ayudarme en todo lo que necesite para lograr este sueño. Eres una excelente persona.

A mis compañeros **Carlos, Jesús y Mario** por su ayuda incondicional, ya que con su apoyo pude culminar con éxito este trabajo. Chicos son lo máximo.

Al señor **Giovanny** por apoyarme, guiarme y ayudarme en todo lo que necesite para el desarrollo de este trabajo.

Al señor **Anderson Aguilón** por toda la ayuda que pudo darme para el mejor desenvolvimiento de este trabajo.

A los señores **Jhonles Morales y Eduardo Estacio** por su apoyo técnico en todo lo relacionado con el desarrollo de este trabajo.

Al Profesor **Carlos Gómez** por brindarme su apoyo y toda la ayuda que necesite para la culminación de este trabajo.

A todas aquellas personas que de una u otra manera hicieron lo posible para que yo lograra este sueño.

A todos muchísimas gracias...

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESOLUCIÓN	IV
RESUMEN.....	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTOS.....	VIII
ÍNDICE DE CONTENIDO	X
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
CAPÍTULO I.....	16
INTRODUCCIÓN	16
1.1 LA EMPRESA	16
1.1.1 <i>Reseña Histórica</i>	16
1.1.2 <i>Sitio Laboral</i>	16
1.1.3 <i>Ubicación Geográfica</i>	17
1.1.4 <i>Visión</i>	17
1.1.5 <i>Misión</i>	18
1.1.6 <i>Organigrama de la Gerencia de Construcción y Mantenimiento de Pozos</i>	18
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
1.3 OBJETIVOS.....	21
1.3.1 <i>General</i>	21
1.3.2 <i>Específicos</i>	21
CAPÍTULO II.....	22
MARCO TEÓRICO.....	22
2.1 ANTECEDENTES.....	22
2.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	23
2.2.1 <i>Pozos</i>	23

2.2.2 Completación.....	24
2.2.3 Reacondicionamiento, Recompletación (Ra/Rc) y Servicios a Pozos	25
2.2.4 Empacaduras Permanentes	26
2.2.5 Tapones de Hierro (TDH)	27
2.2.6 Herramientas Moledoras "Junk Mill"	27
2.2.7 Sarta de limpieza	28
2.2.8 Condiciones de corte en el proceso de mizado	30
2.2.9 Esfuerzo	31
2.2.10 Fatiga	34
2.2.11 Caracterización de esfuerzos fluctuantes.....	37
2.2.12 Método del Elemento finito (MEF) [12]	38
2.2.13 Drilling Information Management System (DIMS)	40
CAPÍTULO III.....	41
METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	41
3.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	42
3.2 SELECCIÓN DE LA HERRAMIENTA.....	42
3.3 ESTUDIO DE LA HERRAMIENTA	43
3.3.1 Geometría de la herramienta.....	43
3.3.2 Manufactura	43
3.3.3 Caracterización del Funcionamiento y Parámetros Operacionales. 44	
3.4 MODELADO GEOMÉTRICO DEL JUNK MILL	44
3.5 SIMULACIÓN DE LA OPERACIÓN DE LA HERRAMIENTA ACTUAL.....	46
3.6 REDISEÑO DEL JUNK MILL	47
3.7 SIMULACIÓN DE LA OPERACIÓN DE LA HERRAMIENTA REDISEÑADA	49
CAPÍTULO IV	53
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	53
4.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL JUNK MILL	53
4.2 SELECCIÓN DEL JUNK MILL A ESTUDIAR	57
4.3 ESTUDIO DE LA HERRAMIENTA	58
4.3.1 Geometría	58

4.3.2	Manufactura del Junk Mill 5 7/8"	59
4.3.3	Caracterización del Funcionamiento y Parámetros Operacionales. 61	
4.4	MODELADO GEOMÉTRICO DEL JUNK MILL ACTUAL	63
4.5	SIMULACIÓN DE LA OPERACIÓN DE LA HERRAMIENTA ACTUAL	64
4.5.1	Simulación del Junk Mill para condiciones de Torque máximo y Peso máximo.....	70
4.5.2	Comparación de las simulaciones del Junk Mill para condiciones de Torque máximo y Peso máximo	73
4.6	REDISEÑO DEL JUNK MILL	74
4.7	SIMULACIÓN DE LA OPERACIÓN DE LA HERRAMIENTA REDISEÑADA.....	75
4.7.1	Simulación del Junk Mill rediseñado para condiciones de Torque máximo y Peso máximo	79
4.7.2	Comparación de las simulaciones del Junk Mill rediseñado para condiciones de Torque máximo y Peso máximo.....	81
4.8	COMPARACIÓN DEL JUNK MILL ACTUAL Y EL JUNK MILL REDISEÑADO	82
CAPÍTULO V	.....	86
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	.....	86
BIBLIOGRAFÍA CITADA	.....	89
BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL	.....	92
APÉNDICE A	..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
REPORTE DE SUMARIO DE OPERACIONES	..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
APÉNDICE B	..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
IMÁGENES Y TABLAS VARIAS	..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
APÉNDICE C	..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
TABLAS ÚTILES	..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
APÉNDICE D	..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
EJEMPLO DE CÁLCULOS	..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	

ÍNDICE DE TABLAS

CONTENIDO		Pág.
Tabla 3.1	Propiedades del Acero ASTM 4140 (T&R).....	46
Tabla 3.2	Propiedades del Carburo de Tungsteno.....	47
Tabla 4.1	Resumen de registros de pozos donde se utilizaron Junk Mill, parámetros y comportamiento.....	54
Tabla 4.2	Rangos de los parámetros operacionales.....	63
Tabla B.1	Parámetros Operacionales del Junk Mill.....	104
Tabla B.2	Valores de esfuerzo, numero de nodos y elementos.....	105
Tabla B.3	Valores de esfuerzo y desplazamiento.....	105
Tabla B.4	Valores de esfuerzo, numero de nodos y elementos.....	107
Tabla B.5	Valores de esfuerzo y desplazamiento.....	107
Tabla C.1	Parámetros en el factor de condición superficial de Marín.....	108
Tabla C.2	Parámetros en el factor de carga de Marín.....	108
Tabla C.3	Parámetros del factor de temperatura.....	109

ÍNDICE DE FIGURAS

CONTENIDO	Pág.
Fig. 1.1 Ubicación geográfica de PDVSA Gas.....	17
Fig. 1.2 Organigrama de la Gerencia de Construcción y Mantenimiento de Pozos.....	18
Fig. 2.1 Empacura permanente.....	26
Fig. 2.2 TDH y sus partes.....	27
Fig. 2.3 Junk Mill de cuatro paletas y sus partes.....	28
Fig. 2.4 Sarta de limpieza.....	29
Fig. 2.5 Representación del esfuerzo normal.	32
Fig. 2.6 Representación de la acción de una fuerza cortante.....	33
Fig. 2.7 Deformación por torsión.....	33
Fig. 2.8 Deformación por flexión.....	34
Fig. 2.9 Gráfica del esfuerzo fluctuante senoidal.....	38
Fig. 3.1 Flujograma del procedimiento experimental.....	42
Fig. 3.2 Movimiento de corte de una broca avellanadora.....	49
Fig. 3.3 Broca de taladro.....	50
Fig. 4.1 Cantidades de Junk Mill utilizados.....	56
Fig. 4.2 Cantidades de Junk Mill que fallaron durante sus operaciones.....	56
Fig. 4.3 Fracturas en el Junk Mill.	57
Fig. 4.4 Junk Mill Plano.....	59
Fig. 4.5 Calentamiento previo para la reparación del Junk Mill.....	60
Fig. 4.6 Colocación y soldadura del material abrasivo.....	61
Fig. 4.7 Materiales abrasivos.	61
Fig. 4.8 Maniobras durante el ensamblaje de la sarta de limpieza.....	62
Fig. 4.9 Modelo Geométrico del Junk Mill actual.....	64
Fig. 4.10 Mallado del modelo.....	65
Fig. 4.11 Datos utilizados para el análisis estático.....	66
Fig. 4.12 Gráfica de sensibilidad.....	67
Fig. 4.13 Simulación del Esfuerzo de von Mises.....	68
Fig. 4.14 Simulación del Desplazamiento Total.....	68
Fig. 4.15 Simulación del Esfuerzo de von Mises obviando torque de la herramienta.....	70
Fig. 4.16 Simulación del Esfuerzo de von Mises.....	71
Fig. 4.17 Simulación del Desplazamiento.....	72
Fig. 4.18 Simulación del Esfuerzo de von Mises.....	73
Fig. 4.19 Simulación del Desplazamiento.....	73
Fig. 4.20 Gráficas del esfuerzo de von Mises y desplazamiento para ambas variaciones de parámetros.....	74
Fig. 4.21 Modelo Geométrico del Junk Mill Rediseñado.....	76
Fig. 4.22 Mallado del Junk Mill Rediseñado.....	77
Fig. 4.23 Gráfica de sensibilidad.....	78
Fig. 4.24 Simulación del Esfuerzo von Mises.....	79
Fig. 4.25 Simulación del Desplazamiento total.....	79
Fig. 4.26 Simulación del Esfuerzo von Mises sin torque.....	80
Fig. 4.27 Simulación del Esfuerzo de von Mises.....	81
Fig. 4.28 Simulación del Desplazamiento.....	82

Fig. 4.29	Simulación del Esfuerzo de von Mises.....	83
Fig. 4.30	Simulación del Desplazamiento.....	83
Fig. 4.31	Gráfica del esfuerzo de von Mises y desplazamiento para ambas variaciones de parámetros.....	84
Fig. 4.32	Gráfica de comparación entre los esfuerzos de von Mises.....	85
Fig. 4.33	Gráfica de comparación entre los desplazamientos.....	86
Fig. 4.34	Gráfica de comparación entre el factor de seguridad.....	87
Fig. A.1	Reporte de sumario de operación del Pozo JMN-0123.....	95
Fig. A.2	Reporte de sumario de operación del Pozo RPN-0059.....	96
Fig. A.3	Reporte de sumario de operación del Pozo RM-0023.....	97
Fig. A.4	Reporte de sumario de operación del Pozo RG-0045.....	98
Fig. A.5	Reporte de sumario de operación del Pozo MVR-0056.....	99
Fig. A.6	Reporte de sumario de operación del Pozo SG-0027.....	100
Fig. A.7	Reporte de sumario de operación del Pozo AGV-0419.....	101
Fig. A.8	Reporte de sumario de operación del Pozo JM-0135.....	102
Fig. B.1	Dimensiones del Junk Mill plano de 5 ^{7/8} ”.....	103
Fig. B.2	Consola del perforador.....	104
Fig. B.3	Curva de esfuerzo – deformación de materiales frágiles.....	105
Fig. B.4	Plano del rediseño del Junk Mill.....	106

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 La Empresa

1.1.1 Reseña Histórica

En 1953, el Ministerio de Minas e Hidrocarburos crea la Dirección de Petroquímica Nacional, para contribuir a impulsar el desarrollo económico, mediante la industrialización del gas natural. El 30 de agosto de 1975 fue creada Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA), por el Decreto del Ejecutivo Nacional No. 1123 y registrada el 15 de septiembre del mismo año. Para el 1^{ero} de enero de 1998 inicia sus operaciones PDVSA GAS, empresa filial de Petróleos de Venezuela integrada a la División de Manufactura y Mercadeo. Su responsabilidad es impulsar el negocio del gas natural en el país. Luego para 1999 se promulga la Ley Orgánica de Hidrocarburos Gaseosos, la cual define el marco legal requerido para sustentar el negocio en toda la cadena de valor. Asimismo se obtuvo la aprobación por parte del Ministerio de Energía y Minas de los campos del Área de Anaco, a ser desarrollados por gas, convirtiendo a Anaco en el Distrito Gasífero de Venezuela [1].

1.1.2 Sitio Laboral

El departamento de PDVSA Gas Anaco donde se realizó este trabajo de grado, fue en el Departamento de Construcción y Mantenimiento de Pozos en la superintendencia de Reacondicionamiento y Recompletación de Pozos RA/RC. Éste departamento se encarga del conjunto de actividades de operaciones y de planificación, para el acondicionamiento y rehabilitación de

pozos después de la perforación, para que estén equipados y en condiciones de producir [1].

1.1.3 Ubicación Geográfica

PDVSA Gas forma parte de la división Oriente de PDVSA y está ubicada en la zona sur del estado Anzoátegui, específicamente en la ciudad de Anaco, distrito Anaco. En la Fig. 1.1 se muestra la ubicación geográfica de PDVSA Gas.



Fig. 1.1. Ubicación geográfica de PDVSA Gas.

Fuente: Elaboración propia

1.1.4 Visión

El Distrito PRODUCCIÓN Gas Anaco es una organización energética, democrática, participativa y solidaria, destinada a la exploración, extracción, producción, a través de la utilización de tecnología de punta bajo estándares de calidad; con personal, protagónico, sano, altamente calificado, motivado e identificado con los valores y la ética organizacional; para generar el máximo valor al pueblo venezolano como accionista [1].

1.1.5 Misión

Ser una organización líder reconocida a nivel mundial como empresa modelo de alto desempeño y eficiencia en la explotación, producción y manejo de hidrocarburos, motivado y proactivo con altos valores éticos, morales y sociales con un compromiso permanente en búsqueda de la excelencia para satisfacer el mercado interno y externo como un proveedor seguro y confiable de energía impulsando el desarrollo de la región impartiendo valores y enseñanzas al entorno, agregando el máximo valor a la corporación y al país. [1].

1.1.6 Organigrama de la Gerencia de Construcción y Mantenimiento de Pozos

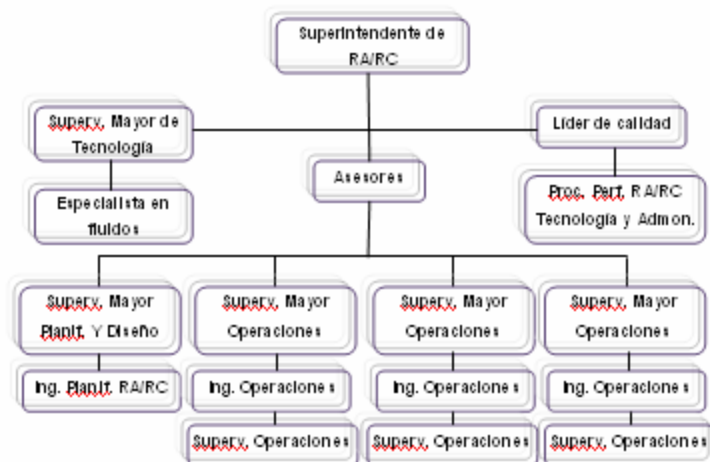


Fig. 1.2. Organigrama de la Gerencia de Construcción y Mantenimiento de Pozos [1]

1.2 Planteamiento del Problema

Los programas de reacondicionamiento de pozos, son utilizados en pozos activos o inactivos, y la función principal es mantener o mejorar la producción de hidrocarburos del mismo. Frecuentemente, se realizan corridas de limpieza con la finalidad de enviar al fondo del pozo o a la superficie, con la ayuda del fluido, las virutas de alguna empaadura o tapón de hierro, de manera que no exista obstrucción en el pozo y se pueda llegar hasta la arena de producción sin mayores complicaciones. Esto se logra por medio de herramientas moledoras o de milado Junk Mill.

Los Junk Mill son herramientas moledoras de corte frontal y generalmente están constituidas de la siguiente manera: el cuerpo, rosca de conexión con la sarta, estabilizadores que permiten tener un espacio anular entre la herramienta y el casing (tubería que se introduce en el hoyo perforado y luego se cementa, para lograr la protección de pozo), orificios de circulación de fluidos que permiten el arrastre de viruta y a su vez como un sistema de lubricación durante el proceso de milado. En la cara frontal de la herramienta se encuentran los materiales abrasivos que son los encargados de moler las empaaduras, tapones de hierro o de la rectificación de topes de tuberías rotas para que luego puedan ser pescadas. A pesar de lograrse el objetivo de rehabilitación y limpieza del pozo, la Gerencia de Perforación de PDVSA Gas Anaco, se ha planteado la necesidad de mejorar el trabajo de los Junk Mill, debido al bajo rendimiento que estas herramientas presentan durante el proceso de milado.

Estos bajos rendimientos son debidos a fracturas que ocurren en la cara frontal y laterales de la herramienta, las cuales se asocian a los esfuerzos de cargas axiales y torque a los que esta es sometida, debido a las

grandes cargas existentes durante el proceso de rehabilitación del pozo. Por consiguiente, lo que se plantea es realizar un rediseño de la geometría del Junk Mill a fin de obtener un diseño caracterizado por mayor eficiencia y mejor desempeño del mismo, en función de la reducción de las solicitaciones a las cuales esta herramienta está sometida durante su operación. Para llevar a cabo este rediseño de geometría, se realizará un estudio de las características de un Junk Mill usado en la actualidad, tomando en consideración su material de fabricación, geometría y principio de funcionamiento.

Una vez obtenida esta información se procederá a realizar las simulaciones de operación de la herramienta a través de un programa computacional de análisis por el método de los elementos finitos y así determinar las zonas críticas de la herramienta bajo las condiciones operacionales críticas. Estas zonas serán aquellas donde se concentren los mayores esfuerzos. Tomando en cuenta los resultados arrojados por la simulación, y considerando los parámetros de diseño de herramientas de corte de metales, se procederá a rediseñar la geometría del Junk Mill procurando la reducción de dichos esfuerzos sobre la misma. Los elementos que se considerarán en el rediseño de la herramienta estarán respaldados por un estudio de esfuerzos para verificar los límites de operación antes de una falla por fluencia. Con este trabajo se pretende obtener un diseño de Junk Mill que ofrezca una posible solución al bajo rendimiento en las operaciones de milado en los pozos de hidrocarburos del Distrito Gas Anaco.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Rediseñar la geometría de una herramienta moledora Junk Mill utilizada en las operaciones de rehabilitación de pozos de hidrocarburos en el Distrito Gas Anaco.

1.3.2 Específicos

1. Estudiar la herramienta abrasiva Junk Mill actual, considerando su manufactura, material de fabricación, geometría y principio de funcionamiento.

2. Diagnosticar la situación actual de operación de la herramienta Junk Mill, conociendo así las deficiencias puntuales en el proceso de milado.

3. Simular la operación de la herramienta moledora a través de un programa computacional de análisis de elemento finito, tomando en cuenta las condiciones críticas cuando ésta se encuentra en operación.

4. Rediseñar la geometría de la herramienta Junk Mill en función de la reducción de los esfuerzos sobre la misma, considerando los límites de operación antes de una falla por fluencia y los principios establecidos en diseño de herramientas para cortes de metales.

5. Evaluar la influencia del rediseño de la herramienta a través de un programa computacional de análisis de elemento finito.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En la actualidad no existen muchos antecedentes disponibles referentes al diseño de una herramienta moledora Junk Mill. Sin embargo, existen trabajos de grado donde se le aplicó estudios a los depósitos abrasivos de éstas herramientas y donde se diseña una herramienta de pesca utilizada en la rehabilitación de pozos. Los trabajos antes mencionados se resumen a continuación:

2.1 Antecedentes

- Abou, Mohamed, Ingeniero Mecánico de la Universidad de Oriente, Venezuela (2005). Realizó el trabajo titulado **“Evaluación de los depósitos abrasivos en herramientas moledoras, utilizadas en operaciones de rehabilitación de pozos de hidrocarburos”** [2]. En este trabajo se realizaron estudios en los depósitos abrasivos de los Junk Mill, debido a su bajo rendimiento durante el proceso de milado, para esto tomó como material de recubrimiento los insertos de carburos y las barras de kутrite, las cuales se estudiaron a través de microscopía electrónica de barrido, microscopía óptica, análisis químico y ensayos de dureza, encontrando que estas herramientas presentaban fracturas en la mayoría de sus carburos cementados y desprendimiento de sus depósitos abrasivos debido a la soldadura que se aplica.

- El Halabi, Fares, Ingeniero Mecánico de la Universidad Simón Bolívar, Venezuela (2008). Realizó el trabajo titulado “**Diseño de herramienta para recuperar tapones de hierro en revestidores de 7 inch en pozos de Pdvsa Gas**” [3]. En éste trabajo se realizó el diseño de una herramienta Retara-F (Recuperación de Tapones con Rabo de Rata), para operarla con la finalidad de recuperar los TDH (Tapones de Hierro) asentados en los revestidores de 7”. Para el análisis estático de esfuerzos se utilizó el método de teorías de fallas de esfuerzos de Von Mises y esfuerzo cortante (Tresca), y el método de elemento finitos (FEM) mediante simulaciones. Y para el análisis dinámico fue por medio de la teoría de Wholer y la línea de Goodman.

2.2. Fundamentos Teóricos

2.2.1 Pozos

Se puede considerar como un hoyo que ha sido terminado apropiadamente con los aditamentos requeridos, para traer a la superficie la producción de gas y/o petróleo de un yacimiento [4]. El pozo como un sistema de proceso se puede considerar como un sistema de diferentes y complejos procesos relacionados entre sí. Estos procesos están comprendidos dentro de una serie de actividades operacionales, entre las cuales se tienen las de rehabilitación, completación, perforación, estimulación y producción que deben ser eficientemente planificadas para obtener los mejores resultados.

2.2.2 Completación

Se entiende por completación al conjunto de trabajos que se realizan en un pozo después de la perforación o durante la reparación, para dejarlos en condiciones de producir eficientemente los fluidos de la formación o destinarlos a otros usos, como inyección de agua o gas. Los trabajos pueden incluir el revestimiento del intervalo productor con tubería lisa o ranurada, la realización de empaques con grava o el cañoneo del revestidor y, finalmente, la instalación de la tubería de producción [4].

2.2.2.1 Tipos de Completación

El tipo de completación que va a ser aplicada a cierto pozo durante las operaciones iniciales de completación no solo puede afectar la productividad inicial del pozo sino también determina en grado considerable las futuras rehabilitaciones y la eficiencia de las operaciones. Entre éstas tenemos:

- **Completación sencilla:** La terminación sencilla clásica consiste en producir por una sola tubería, con el revestidor cementado hasta la profundidad total del hoyo, el cual es cañoneado a bala o por proyectil a chorro, para abrir tantos orificios (perforaciones) de determinado diámetro por metro lineal hélico para establecer el flujo del yacimiento hacia el pozo.
- **Completación sencilla selectiva:** Otra versión de terminación sencilla, permite que selectivamente pueda ponerse en producción determinado intervalos. Para esto se requiere adaptar a la sarta de producción las

empacaduras de obturación requeridas y las válvulas especiales que también son llamadas camisas de circulación en frente de 13 cada intervalo para permitir que el petróleo fluya del intervalo deseado y los otros dos estratos se mantengan sin producir.

- **Completación múltiples:** Es aquella donde el pozo esta completado con más de una sarta de producción y que se realiza de tal forma que dos o más arenas se ponen a producir en forma simultánea sin que se mezclen sus fluidos en el pozo estas pueden ser dobles o triples y completaciones concéntricas. [5].

2.2.3 Reacondicionamiento, Recompletación (Ra/Rc) y Servicios a Pozos

El reacondicionamiento y recompletación se refieren a todos aquellos trabajos que se realizan a los pozos activos o inactivos, cuyo objetivo principal es mejorar las condiciones productivas de los mismos (producción de hidrocarburos e inyección de fluidos). Estos trabajos modifican las condiciones del pozo y del yacimiento. Entre estas actividades de pozo se encuentran el cañoneo, control de arena, gas y agua, apertura o cierre de arenas, perforación de ventanas horizontales (“Reentry”) o verticales (“Redrill”), profundización, lavado de perforaciones, cambios de método de producción, conversión de productor a inyector y viceversa. [4].

Para los trabajos de reacondicionamiento de pozos se realizan viajes de limpieza y de pesca con la finalidad de calibrar y eliminar obstrucciones en el revestimiento de producción, o para recuperar equipos dejados dentro del mismo y así tener un pozo limpio y bien calibrado para efectuar las

operaciones de producción [5]. Estos programas de limpieza se utilizan para eliminar obstrucciones y en algunas ocasiones es necesario utilizar una herramienta moledora “Junk Mill”. Este proceso se realiza con ayuda de una sarta de limpieza formada por una serie de tuberías y con cestas de recolección, donde a través de ésta se inyecta un fluido al pozo, para así lograr el acarreo de partículas y ripios de metales hacia las cestas y superficie.

2.2.4 Empacaduras Permanentes

Estas se pueden correr con la tubería de producción o se pueden colocar con equipos de guaya fina. En este último caso, se toman como referencia los cuellos registrados en el perfil de cementación para obtener un asentamiento preciso. Las empacaduras permanentes se pueden considerar como una parte integrante de la tubería de revestimiento, ya que la tubería de producción se puede sacar y dejar la empacadura permanente asentada en el revestidor. En la Fig. 2.1 se puede observar una empacadura permanente. Usualmente para destruirla es necesario fresarla, por lo que frecuentemente se denomina empacadura perforable [4].



Fig. 2.1. Empacura permanente [3]

2.2.5 Tapones de Hierro (TDH)

Son equipos utilizados en las operaciones de rehabilitación y recompletación. En la Fig. 2.2 se muestra un TDH y sus partes. Su función primordial es formar un sello total del revestidor a una profundidad específica, impidiendo el paso de algún fluido en cualquier sentido. Son utilizados para separar o aislar zonas que así lo ameriten, y para separar arenas de producción o para realizar trabajos de estimulación [3].

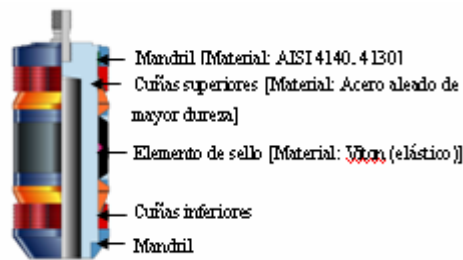


Fig. 2.2. TDH y sus partes [3]

2.2.6 Herramientas Moledoras “Junk Mill”

Es una herramienta diseñada para la demolición de materiales ubicados en el fondo del pozo así como: restos de empacaduras, colgadores, tapones de hierro o de cemento y cualquier otro material que este obstruyendo el pozo e interfiera con la perforación o completación del mismo. Estas herramientas se diseñan y fabrican de acuerdo a los requerimientos en cuanto a diámetro del casing y trabajo a realizar [3].

El Junk Mill consta del cuerpo de la herramienta, rosca de conexión con la sarta de limpieza, estabilizadores que permiten tener un espacio anular entre la herramienta y el casing, orificios de circulación de fluidos para

generar una turbulencia necesaria para el arrastre de las virutas hacia las cestas de desperdicios y la superficie, y la cara frontal de la herramienta está fabricada con un material abrasivo de alta dureza y resistencia al desgaste, los cuales se adhieren a la herramienta por medio de soldadura oxi-combustible. Estos abrasivos son los encargados de moler los tapones de hierro, empacaduras permanentes y cemento. En la Fig. 2.3 se muestra un Junk Mill de cuatro paletas y sus partes.

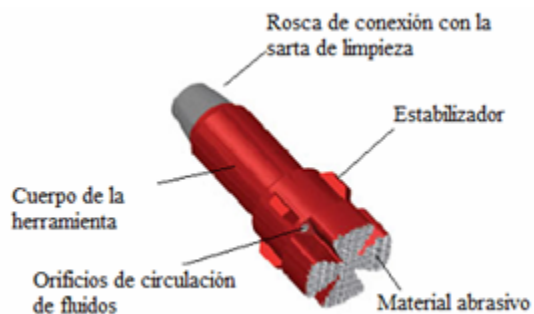


Fig. 2.3. Junk Mill de cuatro paletas y sus partes [6]

Para las operaciones de milado con el Junk Mill, se debe tener buena circulación de fluidos antes de empezar la rotación y comenzar con el mínimo peso: 1000 Kg (2000 lbs) aproximadamente, e incrementarlo de acuerdo al rendimiento de la herramienta y al peso del ensamblaje de fondo. La velocidad de rotación debe ser entre 85 y 100 rev/min, ya que con una velocidad mayor a 100 rev/min fracturaría la sarta, y la presión de la bomba debe fijarse de acuerdo a la profundidad y el peso del fluido, para obtener buen retorno del mismo.

2.2.7 Sarta de limpieza

Es una configuración de tuberías y equipos interconectados para el proceso de limpieza de pozo. Esta sarta está constituida por la tubería de

trabajo, el acelerador, drill collar que ayuda al arrastre de la viruta hacia la superficie, martillo hidráulico, martillo mecánico, cesta de desperdicios y el Junk Mill. En la Fig. 2.4 se muestra la configuración de una sarta de limpieza.

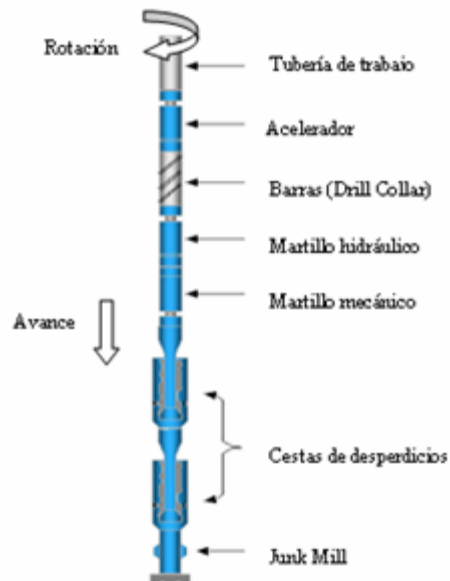


Fig. 2.4. Sarta de limpieza [7]

Esta sarta está conectada al cuadrante, que le proporciona el movimiento giratorio. El drill collar se utiliza como un medio de ayuda para acarrear la viruta hacia la superficie. Los martillos son utilizados cuando la herramienta se atasca durante el milado (el martillo mecánico se utiliza cuando el hidráulico falla o se necesite mayor fuerza para desatascar el Junk Mill). Las cestas de desperdicios sirven para el acarreo de los fragmentos del material que se esté moliendo, y por último se tiene el Junk Mill que se utiliza para la demolición de materiales ubicados en el fondo del pozo así como: restos de empaaduras, colgadores, tapones de hierro o de cemento y cualquier otro material que este obstruyendo el pozo.

2.2.8 Condiciones de corte en el proceso de milado

2.2.8.1 Velocidad de corte

Es la velocidad lineal del diámetro mayor de la herramienta que está en contacto con el tapón de hierro o empaadura que se esté trabajando. La Ec. 2.1 muestra la expresión para el cálculo de la velocidad de corte.

$$V_c = N * \pi * D \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde V_c representa la velocidad de corte (m/min), N es la velocidad angular del cuadrante (revoluciones por minuto) y D es el diámetro externo del Junk Mill (m).

2.2.8.2 Avance

Es la velocidad lineal en dirección longitudinal a la sarta, alimentando la herramienta hacia el fondo del pozo. La Ec. 2.2 muestra la expresión para el cálculo del avance.

$$a = \frac{L}{rev} \quad \text{Ec. 2.2}$$

Donde a es el avance (m/rev), L es la longitud desplazada (m) y rev son las revoluciones.

2.2.8.3 Fluidos de corte

Son aquellos líquidos de composición compleja, que se añaden en el sistema pieza (TDH) – herramienta (Junk Mill) – viruta, con la finalidad de lubricar, eliminar el calor producido y arrastrar la viruta. El fluido utilizado en los pozos es agua salada, con una densidad de aproximada de 8.4 lb/gal, y es usado debido a que no contienen sólidos insolubles que puedan dañar la formación. Además, este fluido suele ser muy económico y posee densidades capaces de controlar las presiones del yacimiento [3].

2.2.9 Esfuerzo

Los esfuerzos miden las reacciones internas entre las partículas de un material para resistir la separación, aproximación o deslizamiento entre ellas producidas por una fuerza externa. Dependiendo de la forma cómo actúen las fuerzas, los esfuerzos y deformaciones producidos pueden ser axiales, biaxiales, triaxiales, por flexión, por torsión, o combinados.

2.2.9.1 Esfuerzo Normal

Es el que viene dado por la resultante de tensiones normales. Se denota como σ . En la Fig. 2.5 se muestra la acción de una fuerza normal y en la Ec. 2.3 se muestra la expresión para el cálculo del esfuerzo normal. Son aquellos que resultan de fuerzas perpendiculares a la sección transversal. Es positivo cuando es un esfuerzo de tracción y negativo cuando es un esfuerzo de compresión

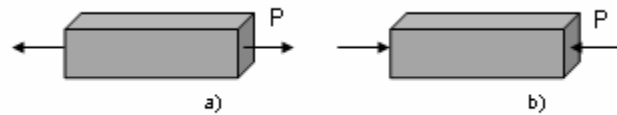


Fig. 2.5. Representación del esfuerzo normal. a) Tracción; b) compresión [8]

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{Ec. 2.3}$$

Donde σ es el esfuerzo normal (N/m^2), A el área unitaria (m^2) y P es la carga normal al plano (N).

2.2.9.2 Esfuerzo Cortante

Se denota como τ y es la relación entre la fuerza y el área a través de la cual se produce el deslizamiento por cizalladura, donde la fuerza es paralela al área. En la Fig. 2.6 se muestra la acción de una fuerza cortante. En la Ec. 2.4 se muestra la expresión para el cálculo del esfuerzo cortante.

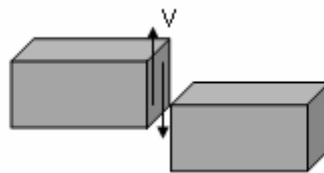


Fig. 2.6. Representación de la acción de una fuerza cortante [8]

$$\tau = \frac{V}{A} \quad \text{Ec. 2.4}$$

Donde τ es el esfuerzo cortante (N/m^2), A el área unitaria (m^2) y V la carga tangencial al plano (N).

2.2.9.3 Esfuerzo de Torsión

Es la sollicitación que se presenta cuando se aplica un momento sobre el eje longitudinal de un elemento constructivo. La torsión se caracteriza geoméricamente porque cualquier curva paralela al eje de la pieza deja de estar contenida en el plano formado inicialmente por las dos curvas [6]. En la Fig. 2.7 se muestra la acción del esfuerzo torsionante sobre un cuerpo. En la Ec. 2.5 se muestra la expresión para el cálculo del esfuerzo de torsión.

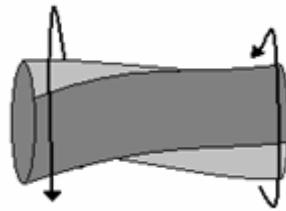


Fig. 2.7. Deformación por torsión [9]

$$\tau = \frac{T * r}{J} \quad \text{Ec. 2.5}$$

Donde τ es el esfuerzo de torsión (N/m^2), T el torque (N m), r el radio (m) y J viene dado por el momento polar de inercia (m^4).

2.2.9.4 Esfuerzo de Flexión

Es la deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. En la Ec. 2.6 se muestra la expresión para el cálculo del momento flector. En la Fig. 2.8, se muestra la acción del esfuerzo flexionante sobre un cuerpo.



Fig. 2.8. Deformación por flexión [8]

$$\sigma = \frac{M * C}{I} \quad \text{Ec. 2.6}$$

Donde σ es el esfuerzo normal por flexión, M es el momento flector, C es la distancia desde el baricentro hasta el punto de aplicación de la fuerza e I es el momento de inercia.

2.2.10 Fatiga

Se denomina fatiga a la disminución de la resistencia mecánica de los materiales al someterlos a esfuerzos repetidos. Los regímenes básicos de fatiga son *fatiga de bajo ciclaje* (generalmente menor de 10^3 ciclos de esfuerzo) y *fatiga de alto ciclaje* (más de 10^3 pero menos de 10^6 ciclos de esfuerzo) [10].

Utilizando la ecuación de Joseph Marín para el cálculo del límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de un aparte de máquina en la geometría y condición de uso [11]. Se tiene que:

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * S'_e \quad \text{Ec. 2.7}$$

Donde: K_a =Factor de modificación de la condición superficial.

K_b =Factor de modificación del tamaño.

K_c =Factor de modificación de la carga.

K_d =Factor de modificación de la temperatura.

K_e =Factor de modificación de efectos varios.

S'_e =Límite de resistencia a la fatiga en viga giratoria.

2.2.10.1 Factor de superficie K_a

El factor de modificación depende de la calidad del acabado de la superficie de la parte y de la resistencia a la tensión. En la Ec. 2.8 se muestra la expresión para el cálculo del factor de superficie.

$$K_a = a \bar{S}_{ut}^{-b} \text{LN}(1, C) \quad S_{ut} \text{ en Kpsi o MPa} \quad \text{Ec. 2.8}$$

Donde:

$$\bar{K}_a = a S_{ut}^b \quad y \quad v_{K_a} = C \bar{K}_a \quad \text{Ec. 2.9}$$

En el Apéndice C, tabla C.1 proporciona los valores de a, b y C para varias condiciones de superficie.

2.2.10.2 Factor de tamaño K_b

En la Ec. 2.10, se muestra la expresión para el factor del tamaño de la flexión y torsión.

$$K_b = \begin{cases} (d/0,3)^{-0,107} = 0,879d^{0,107} & 0,11 \leq d < 2 \text{ pu lg} \\ 0,859 - 0,02125d & 2 \leq d \leq 10 \text{ pu lg} \\ (d/7,62)^{-0,107} = 1,24d^{-0,107} & 2,79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 0,859 - 0,000837d & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases} \quad \text{Ec. 2.10}$$

Para carga axial no hay efecto de tamaño, por lo tanto:

$$K_b = 1 \quad \text{Ec. 2.11}$$

2.2.10.3 Factor de carga K_c

Cuando se realiza ensayos de fatiga con carga de flexión rotativa, axial y torsional, los límites de la resistencia a la fatiga difieren. En el Apéndice C, tabla C.2 se muestran los parámetros en el factor de carga de Marín.

2.2.10.4 Factor de temperatura K_d

En el Apéndice C, tabla C.3 se muestra la tabla del factor de temperatura a la cual se encuentra trabajando la pieza. Si no se conoce la temperatura a la cual trabaja la pieza, se toma $K_d = 1$.

2.2.10.5 Factor de efectos diversos K_e

El factor de efectos diversos significa un recordatorio que estos efectos se deben tomar en cuenta, porque los valores reales de K_e no siempre están disponibles.

2.2.11 Caracterización de esfuerzos fluctuantes

En la Fig. 2.9 se muestra la relación esfuerzo-tiempo en una gráfica de esfuerzo fluctuante senoidal.

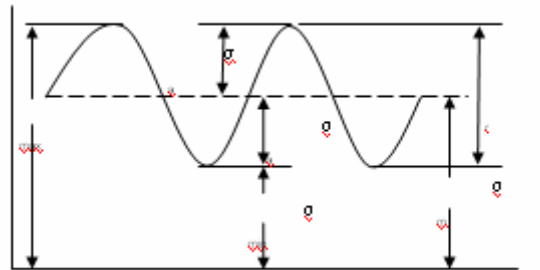


Fig. 2.9. Gráfica del esfuerzo fluctuante senoidal

Donde: σ_m = Esfuerzo medio

σ_a = Esfuerzo alternante

En la Ec. 2.12 se muestra la expresión del esfuerzo medio y en la Ecuación 2.13 se observa la expresión del esfuerzo alternante.

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{m\acute{a}x} + \sigma_{m\acute{i}n}}{2} \quad \text{Ec. 2.12}$$

$$\sigma_a = \left| \frac{\sigma_{m\acute{a}x} - \sigma_{m\acute{i}n}}{2} \right| \quad \text{Ec. 2.13}$$

En la Ec. 2.14 se tiene la expresi3n de la recta de Goodman modifica.

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n} \quad \text{Ec. 2.14}$$

Donde: S_{ut} =Resistencia 3ltima a la tensi3n
 n =Factor de seguridad

Para un valor de $n > 1$ es vida finita y para un valor de $n > 1$ es vida infinita.

En la Ec. 2.15 se observa los par3metros para el valor del l3mite de resistencia a la fatiga (S'_e).

$$S'_e = \begin{cases} 0,506\bar{S}_{ut}LN(1;0,138)Kpsi \text{ o } MPa & \bar{S}_{ut} \leq 212Kpsi (1460MPa) \\ 107LN(1;0,139)Kpsi & \bar{S}_{ut} > 212Kpsi (1460MPa) \\ 740LN(1;0,139)MPa & \bar{S}_{ut} > 1460MPa \end{cases} \quad \text{Ec. 2.15}$$

2.2.12 M3todo del Elemento finito (MEF) [12]

Es un m3todo de aproximaci3n de problemas continuos, de forma que:

- El continuo se divide en un número finito de partes “elementos”, cuyo comportamiento se especifica mediante un número finito de parámetros los cuales están asociados a ciertos puntos característicos denominados “nodos”. Estos nodos son los puntos de unión de cada elemento con sus adyacentes.
- La solución del sistema completo sigue las reglas de los problemas discretos. El sistema completo se forma por ensamblaje de los elementos.
- Las incógnitas del problema dejan de ser funciones matemáticas y pasan a ser el valor de estas funciones en los nodos.
- El comportamiento en el interior de cada elemento queda definido a partir del comportamiento de los nodos mediante las adecuadas funciones de interpolación ó funciones de forma.
- Las características más importantes de los elementos finitos son: tener una superficie cerrada y contenida en el sistema, un número finito de lados y forma regular.
- Este método ofrece la ventaja adicional de permitir estudiar, si es necesario, cómo es la transmisión de la energía en un sistema compuesto de muchos y diferentes materiales.

- Las simulaciones de elementos finitos son una herramienta para el cálculo de diferentes fenómenos como transferencia de masa y de energía, resistencia de estructuras, control de flujo, etc.

2.2.13 Drilling Information Management System (DIMS)

Es un software utilizado en la empresa, el cual se basa en dar toda información necesaria de los trabajos realizados en un pozo. Entre algunas de la información que suministra es: Nombre y ubicación del pozo, nombre del ingeniero a cargo, tipo de trabajo que se está realizando, entre otros. Este tipo de herramienta es manejada únicamente por el personal de la empresa.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

En el siguiente capítulo se presenta la metodología utilizada para el desarrollo de este trabajo de investigación. En la Fig. 3.1 se ilustra un flujograma en donde se muestra el procedimiento general implementado.

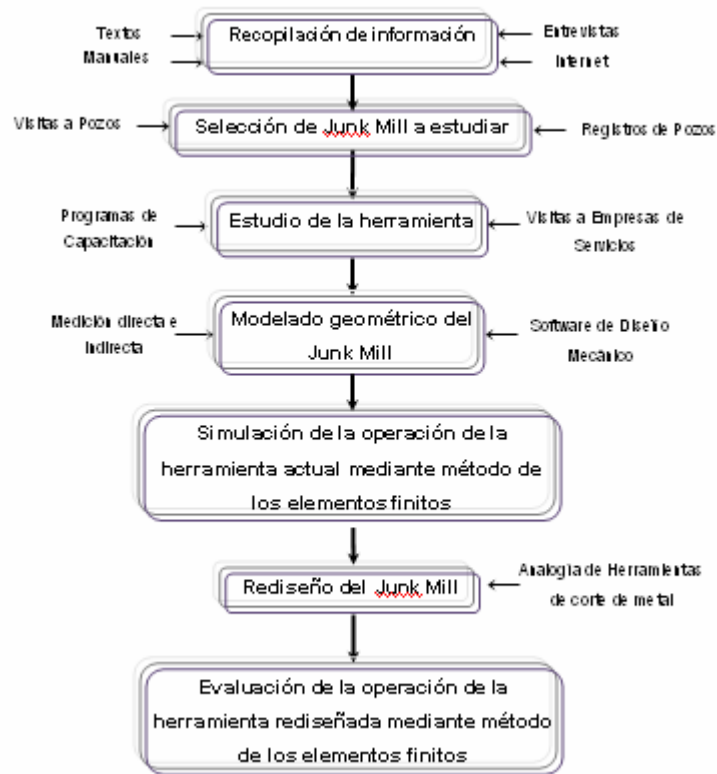


Fig. 3.1. Flujograma del procedimiento experimental

Fuente: Elaboración propia

3.1 Recopilación de Información

Para llevar a cabo esta etapa se procedió con la revisión de textos, manuales de empresas de servicios, registros operacionales de pozos y entrevistas con los operadores de taladros, a fin de conocer la manufactura, material de fabricación, geometría, principio de funcionamiento del Junk Mill, como herramienta moledora. A su vez se recopiló información suministrada por el personal calificado en las operaciones de reacondicionamiento y rehabilitación de pozos en el Distrito Gas Anaco (DGA), para así lograr un mejor conocimiento de la herramienta y de sus condiciones reales de funcionamiento.

3.2 Selección de la Herramienta

Se realizó un estudio del rendimiento de las herramientas a través de la data suministrada por el programa Drilling Information Management System (DIMS), programa computacional proporcionado por la empresa, donde se obtienen los reportes de operaciones de los pozos de RA/RC (Rehabilitación y Reacondicionamiento). A su vez se realizaron visitas a taladros y a empresas de servicios para adquirir la información necesaria de la situación actual de la herramienta. El criterio de selección del tipo de Junk Mill, estuvo basado en identificar aquellos tipos que presentaran bajo rendimiento operacional y menor duración en el proceso de milado. Este criterio se realizó estableciendo una comparación entre varias herramientas de milado que presentaron bajo rendimiento.

En el Apéndice A, Figs. A.1 hasta la A.8 se muestra en resumen, los registros de pozos utilizados para la selección del Junk Mill a estudiar, y en

ellos se pueden observar que se resaltan en detalles el nombre del pozo, el evento, tiempo de trabajo en horas, la actividad y descripción de operación.

3.3 Estudio de la Herramienta

En esta etapa se detalla la metodología empleada para consolidar el estudio de la herramienta, la cual estuvo basada en el análisis de aspectos importantes del Junk Mill como: geometría, manufactura, funcionamiento y parámetros operacionales. Esto a fin de conocer y correlacionar cualquier aspecto que tenga influencia sobre el rendimiento de la herramienta.

3.3.1 Geometría de la herramienta

Consistió en estudiar las características geométricas del Junk Mill seleccionado para ello se realizó diversas visitas a planchada (lugar dentro de la empresa donde se encuentran los Junk Mill antes y después de ser utilizados), donde se realizó la medición directa de todas las partes que definen la geometría del Junk Mill empleando para ello: calibrador, cinta métrica y compás.

3.3.2 Manufactura

Se realizó una serie de visitas a empresas de servicios donde se conoció el proceso de manufactura y restauración del Junk Mill. También se participó en programas de capacitación relacionados con los procedimientos de colocación y soldadura del material abrasivo. Todo con el fin de conocer a fondo los procesos involucrados en la fabricación de esta herramienta, ya

que estos datos representan información valiosa que puede correlacionarse con la respuesta del funcionamiento de la herramienta.

3.3.3 Caracterización del Funcionamiento y Parámetros Operacionales

Para la obtención de información acerca del funcionamiento y parámetros operacionales se realizaron visitas a pozos en etapa de rehabilitación, donde el personal calificado dió a conocer todo el proceso del acople y funcionamiento del Junk Mill. En el Apéndice A, Figs. A.1 hasta la A.8, se muestran algunos de los reportes de sumarios de operaciones de pozos donde se utilizaron los diferentes Junk Mill, verificando así los parámetros operacionales durante el proceso de milado. Estos parámetros son: presión de la bomba, revoluciones del cuadrante, peso de la sarta, torque y volumen del fluido. Durante la revisión de los reportes de pozos, se pudo notar que en algunos casos el material a moler corresponde a los TDH, los cuales son los materiales que presentan mayor dureza (tipo de material: 4130 y 4140) [13].

Por tal motivo los parámetros operacionales utilizados para el estudio fueron tomados considerando el proceso de milado de los TDH, que en este caso, son categorizados como los parámetros críticos.

3.4 Modelado Geométrico del Junk Mill

Para la construcción del modelo se utilizaron las dimensiones reales del Junk Mill, obtenidas como se indicó en la sección 3.3.1. Utilizando un software de diseño mecánico se procedió con el modelado de la herramienta.

Esto se realizó a través de círculos, rectas, cortes, extrucciones y otros, tomando en consideración las propiedades de los materiales de fabricación del Junk Mill.

El cuerpo de la herramienta está constituido de Acero ASTM 4140 templado y revenido (T&R), cuyas las propiedades se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Propiedades del Acero ASTM 4140 (T&R) [14].

Tipo	Valor
Dureza	445 HB
Coefficiente de expansión térmica	$6,2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{F}^{-1}$
Resistencia a la tensión	1550 MPa (225 Psi)
Módulo de elasticidad	200 GPa
Elongación	9%
Reducción de área	43%
Densidad	7.85 g/cm^3 (0.284 lb/in^3)
Maquinabilidad	60 – 65 %
Conductividad térmica	37,7 W/m K
Razón de poisson	0,3
Resistencia a la cedencia	1430 MPa (208 Psi)
Temperatura	315 °C (600°F)

Por otro lado, el material de la cara frontal del Junk Mill consiste en insertos de carburo de tungsteno y la manera en que se depositan es por soldadura oxi-combustible. En la Tabla 3.2 se muestran las propiedades del carburo de tungsteno.

Tabla 3.2. Propiedades del Carburo de Tungsteno [15].

Tipo	Valor
Densidad	14,95 g/cm ³
Resistencia a la presión	5300 - 7000 MPa
Resistencia Transversal a la ruptura	1050 – 2600 MPa
Módulo de elasticidad	600 GPa
Coefficiente de expansión térmica	4,5 - 5,6 x 10 ⁻⁶ K ⁻¹
Conductividad térmica	60 - 80 W m ⁻¹ K ⁻¹
Capacidad calórica	200 - 480 J K ⁻¹ kg ⁻¹
Dureza según Vickers	1550 kgf/ mm ²
Coefficiente de Poisson	0,28
Módulo cortante	160000 N/ mm ²
Límite de tracción	310 MPa

Es importante resaltar que la disposición de carburos es de forma aleatoria durante la manufactura. Debido a lo anterior, no es representativo modelar la herramienta considerando las irregularidades de la cara del Junk Mill, ya que la barra Kutrite está constituida por insertos de forma irregular, la deposición se efectúa por fusión sin ningún tipo de control y a su vez es complicado de representar con el software. Por esta razón se asumió la cara frontal como lisa.

3.5 Simulación de la Operación de la Herramienta Actual

Para realizar las simulaciones, se exportó el modelo geométrico de la herramienta a un programa computacional de análisis por el método de los elementos finitos. Se realizó el mallado, en este caso fue de tipo sizing; con este mallado se puede modificar el tamaño de los elementos, facilitando así

la sensibilización del mallado. Luego se procedió a la colocación de la restricción, la cual fue ubicada en la parte trasera de la herramienta teniendo así todos los grados de libertad de traslación y rotación en cero (fixed support). La carga se ubicó como una fuerza distribuida, perpendicular a la cara frontal, (dada por el peso de la sarta), por otro lado, el torque también fue colocado en la cara frontal.

Luego se procedió a realizar una simulación preliminar (tomando los valores de carga y torque) donde se obtuvo un valor del Esfuerzo von Mises, el cual fue tomado como guía para luego realizar la sensibilización de la malla. La sensibilización se logra disminuyendo el tamaño de los elementos en la malla, desde un valor de 4 mm hasta 1 mm.

Esta sensibilización se representó a través de una gráfica esfuerzo – número de nodos, con la finalidad de obtener una mínima variación entre los valores del esfuerzo de von Mises, de tal manera de que los números de nodos y elementos favorezcan una estabilidad en los resultados. Obtenido dicho valor de esfuerzo, se procedió a realizar nuevamente la simulación para el tamaño de nodos seleccionado calculando así el factor de seguridad con ayuda de las Ecs. 2.7 hasta la 2.15 mostradas en el Apéndice C.

3.6 Rediseño del Junk Mill

Para realizar el rediseño se tomó en consideración los parámetros de diseño de las herramientas de corte de metal que tuviesen semejanzas con el principio de funcionamiento del Junk Mill.

Las brocas empleadas en máquinas taladradoras presentan características de diseño aprovechables para el rediseño de los Junk Mill, ya que las condiciones de corte: movimiento principal de corte, avance y penetración presentan movimientos y direcciones similares a los que exhiben estas herramientas durante el proceso de milado:

- a) Movimiento de corte rotacional.
- b) Avance perpendicular la superficie de trabajo.
- c) Penetración en alimentación hacia el trabajo.

En la Fig. 3.2 se muestra una broca avellanadora utilizada para crear agujeros escalonados en piezas metálicas, se puede notar que la operación basada en los movimientos relativos de corte es similar a la del Junk Mill.

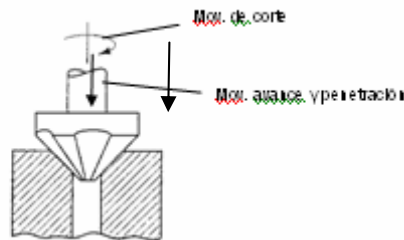


Fig. 3.2. Movimiento de corte de una broca avellanadora [16].

Una de las características de diseño tomadas en cuenta fue la punta de las brocas, representado por un ángulo en forma de cono, como se muestra en la Fig. 3.2 y 3.3. Este tipo de punta tomada en cuenta para el rediseño, ya que la herramienta adquiere mayor estabilidad al comienzo del corte, promoviendo un corte gradual en la superficie de la cara frontal. Además la condición tipo cono permite el arrastre de virutas hacia el perímetros de la cara frontal, trabajando así cada borde como los labios o flautas de una broca de taladro.

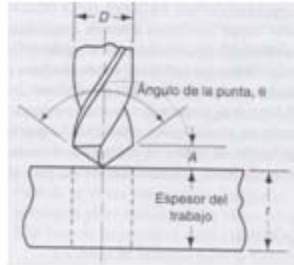


Fig. 3.3. Broca de taladro [16].

Por otro lado, también se tomó como criterio de optimización de geometría, los resultados obtenidos en la simulación (del Junk Mill actual) orientando el rediseño a la reducción de los esfuerzos sobre la herramienta.

3.7 Simulación de la Operación de la Herramienta Rediseñada

La simulación de la herramienta rediseñada se realizó de la misma forma que para el Junk Mill actual, es decir: en cuanto al mallado, parámetros operacionales utilizados, sensibilización del mallado y cálculos posteriores (esfuerzo de von Mises, deformación total y factor de seguridad).

Finalizadas las simulaciones, se realizaron comparaciones con los resultados, tanto de la herramienta actual como la del rediseño, con el propósito de evaluar el desempeño relativo de las herramientas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

En este capítulo se darán a conocer los resultados obtenidos de las etapas propuestas en el capítulo anterior. Los resultados correspondientes al diagnóstico de la situación actual del Junk Mill se presentan en la Tabla 4.1 y desde la Fig. 4.1 hasta la 4.2; lo referente a la selección del Junk Mill a estudiar en la Fig. 4.3; respecto al estudio de la herramienta desde la Fig. 4.4 a la 4.8 y la Tabla 4.2, lo proporcionado para el modelado geométrico del Junk Mill se representa en la Fig. 4.9, con respecto a la simulación de la herramienta actual se muestran desde la Fig. 4.10 hasta la 4.20, lo correspondiente al rediseño del Junk Mill en la Fig. 4.21, lo proporcionado para la simulación de la herramienta rediseñada desde la Fig. 4.22 hasta la 4.31 y lo referido con la comparación del Junk Mill actual y el Junk Mill rediseñado desde la Fig. 4.32 hasta la 4.34.

4.1 Diagnóstico de la situación actual del Junk Mill

Tomando en cuenta los datos arrojados por el DIMS, se logró hacer un diagnóstico de la herramienta en cuanto a su desempeño durante el proceso de milado. En la Tabla 4.1 se muestran, en resumen, una serie de pozos donde se utilizaron los Junk Mill, tomando en consideración los parámetros operacionales tales como: las revoluciones por minuto (RPM) de la sarta, peso de la sarta muerta (PSM), presión interna (PSI), galones por minuto (GPM), y el desempeño de la herramienta, como se indicó en el capítulo anterior.

Tabla 4.1. Resumen de registros de pozos donde se utilizaron Junk Mill, parámetros y comportamiento.

Fuente: Elaboración propia

Pozo	Parámetros	Comportamiento de la herramienta	Tipo de Junk Mill
RPN- 59	Para el primer "JM" que fresó en el revestidor de 7" se uso 112 GPM, 80 STKM, 4,5 de camisa (para ambos TDH). Para el segundo "JM" que trabajó en el revestidor de 7" se usaron 154 GPM, 110 STKM, 4,5 de camisa. En otra actividad con el mismo Junk Mill anterior se usaron 154 GPM, 110 STKM, 4,5" de camisa.	El primer Junk miló TDH, la segunda herramienta frezó cemento. La primera herramienta no terminó el trabajo, la segunda tuvo que terminarla	2 Junk Mill de 5-7/8".
RM-0023	Se utilizo Junk Mill de 5-7/8" fresó cemento se utilizaron los parámetros de 122 GPM, luego cambiaron los parámetros para seguir frezando cemento a 206 GPM cumplió el trabajo, luego se frezó TDH con los mismos parámetros con los cuales también se llevo al objetivo.	La herramienta cumplió con todo el trabajo asignado frezando TDH, cemento y ayudado con el cambio de parámetros alcanzo el avance.	Junk Mill de 5-7/8".
RG-0045	Se utilizó Junk Mill 5-7/8" con un caudal de 120 GPM luego se cambió a 117 GPM, luego se utilizó Junk Mill de 6" pero no se reportaron parámetros	La primera herramienta fresó empacadura permanente en combinación con los parámetros de caudal ya nombrados, el segundo Junk Mill frezó empacadura permanente. La primera no cumplió con el trabajo y la segunda tuvo que terminarlo.	Junk Mill de 5-7/8" y de 6".
MVR-056	Se utilizó un caudal de 111 GPM, 50 STKM, camisa= 5,5	La herramienta acondiciona 3" de tope de pesca y cumplió con el trabajo.	Junk Mill de 4-1/2".
AGV-0419	El primer Junk Mill fresó tope de pez. Utilizando los parámetros: 100 rpm, peso 1000 lbs, bomba 400 Psi, Torque 100. Y el segundo "JM" fresó empacadura permanente con los siguientes parámetros: 60 STM, presión de bomba de 300 psi, 100 rpm, y 2 mil de peso.	El primer Junk Mill miló tope de pescado y no termino de fresar la empacadura permanente por lo que tuvo que cambiarse por otra, la cual culmino el trabajo.	2 Junk Mill de 5-3/4".

Continuación de la Tabla 4.1

Pozo	Parámetros	Comportamiento de la herramienta	Tipo de Junk Mill
JMN-123	La primera herramienta se trabajo con RPM= 100- 200, PSM=2-4 klbs, STKM=100, PSI=700, camisa=4.5, carrera=10, caudal=186. Luego cambiaron los parámetros pero para la simulación del galonaje se mantuvo igual. para la segunda herramienta se utilizó RPM=100-400, PSM=2-4 Klbs, STK=100, PSI=800, camisa= 4,5, carrera, Caudal= 186 GPM.	El primer "JM" TDH. El segundo Junk Mill miló restos de TDH y cemento. El primer Junk Mill no cumplió con el trabajo completo y tuvo que cambiarse por uno nuevo del mismo diámetro para que culminara el trabajo.	2 Junk Mill de 5-7/8".
JM-0135	No se presentaron parámetros de operación.	El primer Junk Mill de 5-7/8" miló 34' de restos de hierro sin más avance. El segundo Junk Mill de 5-5/8" miló 29' de restos de hierro sin terminar. El tercer Junk Mill de 5-11/16", miló 1' de restos de hierro sin más avance. El cuarto Junk Mill de 5-7/8" miló 13' sobre restos de hierro sin más avance. El quinto Junk Mill de 5-11/16" miló sobre restos de hierro y culminó el trabajo.	2 Junk Mill de 5-7/8" y 5-11/16". Un Junk Mill de 5-5/8".

En la Fig. 4.1 se muestra la cantidad de Junk Mill utilizados en los pozos, los datos fueron tomados de las tablas mencionadas anteriormente. Y en la Fig. 4.2, se observa el número de herramientas que presentaron fallas, clasificadas según el tipo de Junk Mill.

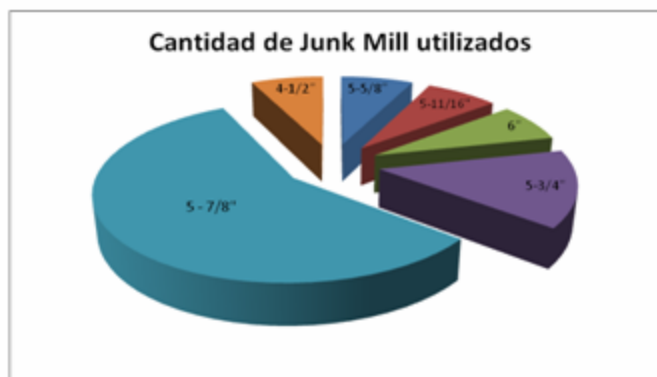


Fig. 4.1. Cantidades de Junk Mill utilizados.

Fuente: Elaboración propia

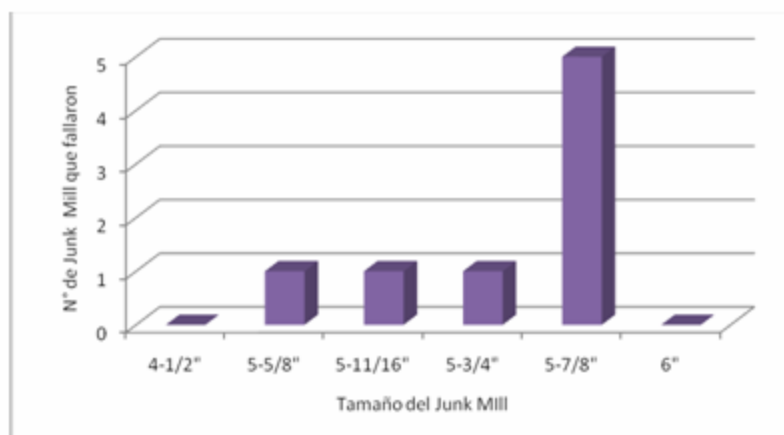


Fig. 4.2. Cantidades de Junk Mill que fallaron durante sus operaciones.

Fuente: Elaboración propia

De la Fig. 4.1, se observa que el Junk Mill de 5 7/8" representa el tipo de herramienta más utilizada indicada en el reporte, y en la Fig. 4.2 se muestra que estas herramientas presentaron menor rendimiento, con un total de 5 herramientas que fallaron de 9 reportadas. Esto ocurrió en los pozos JMN-123, RPN-59, RG-0045 y JM-135, en donde se realizaron trabajos de milado en TDH, empacaduras permanentes y restos de hierro, sin cumplir con el trabajo de milado para posterior rehabilitación.

4.2 Selección del Junk Mill a Estudiar

Tomando en consideración los resultados observados en la Fig. 4.2, se tomó como herramienta de estudio el Junk Mill plano de 5-7/8". Además, como información adicional, se conoció que aquellas herramientas que exhibieron bajo rendimiento durante el proceso de milado presentaron fracturas en la cara frontal y laterales. Una vez que el Junk Mill está trabajando es sometido a condiciones que comprometen la integridad del material, trayendo esto como consecuencia la falla, reemplazo inmediato de la herramienta y retrasos en el trabajo del pozo. En la Fig. 4.3 (a) y (b), respectivamente, se muestran fracturas típicas que presentan los Junk Mill en la cara y lateral del mismo, durante su operación de milado.



Fig. 4.3. Fracturas en el Junk Mill. (a) Cara frontal y (b) Lateral.

Fuente: Elaboración propia

Es importante señalar que en un estudio antes realizado a estas herramientas se evaluaron los depósitos abrasivos, encontrándose que la disminución de la resistencia del latón que soportan los carburos acortaba la vida de estas herramientas [2]. Sin embargo, las excesivas fuerzas a las que se encuentran sometidas estas herramientas durante el trabajo causan esfuerzos críticos que comprometen la integridad del material, lo cual forma

parte de las condiciones que pueden asociarse con las posibles causas de falla de estas herramientas.

4.3 Estudio de la Herramienta

Como se indicó en el capítulo anterior el estudio de la herramienta permite conocer y correlacionar la influencia que puede tener la geometría, manufactura, funcionamiento o parámetros operacionales sobre el desempeño de los Junk Mill. A continuación se describe los aspectos mencionados.

4.3.1 Geometría

En la Fig. 4.4 se muestra una fotografía de un Junk Mill plano de 5 7/8" correspondiente al seleccionado para el estudio. Las dimensiones del mismo se muestran en el Apéndice B, Fig. B.1, donde se indican todas las dimensiones de las partes que definen su geometría. La geometría general de estas herramientas fue descrita en el capítulo II, Sec. 2.2.6. La configuración plana de la cara frontal puede dificultar la salida de viruta, debido a que no cuenta con un alivio para conducirla hacia los canales de la herramienta [16]. contribuyendo con la obstrucción durante el proceso de milado



Figura 4.4. Junk Mill Plano

Fuente: Elaboración propi

4.3.2 Manufactura del Junk Mill 5 7/8”

El proceso de manufactura del Junk Mill inicia con un tocho de acero ASTM 4140 (T&R), al cual se le realizan procesos de mecanizado tales como: cilindrado, taladrado y fresado para obtener el cuerpo de la herramienta. Posteriormente se procede a la colocación del material abrasivo en la cara frontal, mediante deposición por soldadura oxi-combustible, para iniciar el proceso de soldadura se tiene que hacer un previo calentamiento de la herramienta.

Una vez que el Junk Mill es utilizado y desmontado, es sometido a una inspección con la finalidad de localizar fallas. Al finalizar la inspección, se selecciona el proceso de reparación dependiendo de las fallas que presente la herramienta. Si la falla es a nivel del cuerpo de la herramienta se sigue una serie de pasos para su reparación; de presentar una falla considerable (fractura del cuerpo), se califica a la herramienta como chatarra. En caso de que sea una falla en la cara frontal del Junk Mill, de igual manera se siguen una serie de pasos para su reparación, para ello se realiza un previo calentamiento de la herramienta entre 480 a 530 °C, por medio de un quemador, evitando calentamientos por encima de éstas temperaturas ya que la herramienta pierde resistencia. Ésta temperatura es controlada utilizando una tiza de soldador roja, la cual es pasada por la superficie que se desea controlar la temperatura y al comenzar a desaparecer la marca de la tiza significa que se ha llegado a esa temperatura apropiada. En la Fig. 4.5 se muestra el calentamiento previo necesario para la reparación del Junk Mill.



Figura 4.5. Calentamiento previo para la reparación del Junk Mill

Fuente: Elaboración propia

Luego de haber calentado el Junk Mill, el material abrasivo que queda en la cara frontal, es removido para la colocación del nuevo material. Este nuevo material es depositado por soldadura donde se utiliza la barra de carburo de tungsteno (kutrite) como se muestra en la Fig. 4.6. Posterior a esto la herramienta se somete a los procedimientos de inspección donde se evaluará la calidad de la soldadura, para que así el Junk Mill pueda ser utilizado nuevamente.



Figura 4.6. Colocación y soldadura del material abrasivo

Fuente: Elaboración Propia

La barra de carburo de tungsteno (marca Kutrite), está formada de pequeños fragmentos de carburo de tungsteno soldados entre sí para el fácil manejo al momento de la soldadura. Por otro lado, los insertos son también de carburo de tungsteno solo que estos presentan diferentes diseños los cuales se utilizan para los distintos cortes de virutas.

En la Fig. 4.7 se muestra los diferentes materiales abrasivos que utiliza el Junk Mill.



Figura 4.7. Materiales abrasivos. a) Barra de Carburo de Tungsteno (Kutrite) y b) Insertos

Fuente: Elaboración propia

4.3.3 Caracterización del Funcionamiento y Parámetros Operacionales

Para el funcionamiento es necesario el ensamblaje correcto de la sarta de limpieza. Primeramente se realiza una inspección al pozo, para tener conocimiento de qué material se va a moler y a qué profundidad se encuentra. Luego de obtener esa información se procede al armado de la sarta. En la Fig. 4.8 se detalla las maniobras durante el ensamblaje de la sarta de limpieza.

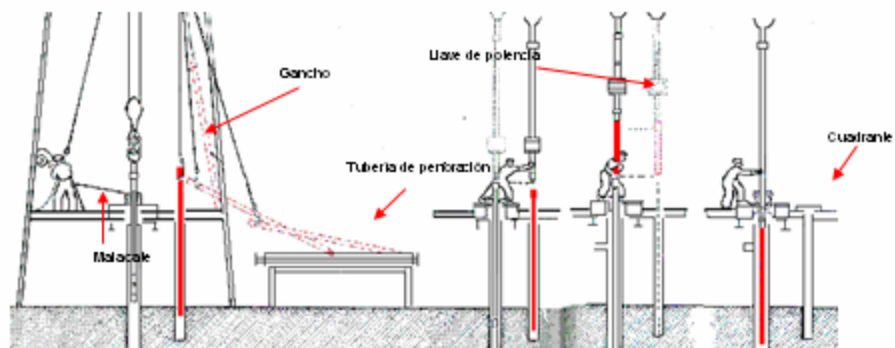


Figura 4.8. Maniobras durante el ensamblaje de la sarta de limpieza [17].

Para el ensamblaje de la sarta de limpieza se comienza con el levantamiento de la tubería de perforación con ayuda de un gancho, esto es posible por la acción del malacate. Al tener la tubería en el aire se conecta el Junk Mill a esta y se introduce en el pozo. Posteriormente se siguen haciendo conexiones de tuberías y todos los equipos necesarios hasta llegar a la profundidad requerida. Cuando se alcanza dicha profundidad, se conecta el cuadrante o kelly para transmitir el momento de torsión de la mesa rotatoria a la sarta para así comenzar con el proceso de limpieza.

Los parámetros operacionales son proporcionados por el operador desde la superficie del pozo. En el Apéndice B, Fig. B.2, se muestra la consola del operador, que indica las condiciones en que se encuentra trabajando el pozo. Los parámetros son: el peso de la sarta, presión de la bomba para el bombeo del fluido dentro del pozo durante el proceso de milado, las revoluciones de la sarta, entre otros. Estos parámetros son variables, ya que sus magnitudes dependen del material que se esté fresando y de las condiciones del pozo.

En la tabla 4.2, se observan los rangos de los parámetros operacionales obtenidos de los datos arrojados por el DIMS. Estos datos se muestran en el Apéndice B. tabla B.1

Tabla 4.2, Rangos de los parámetros operacionales

Fuente: Elaboración propia

Nombre	Rango	
	Sistema Ingles	Sistema Internacional
Presión de Bomba	1000 - 1600 Psi	6,9 – 11,01 MPa
Torque:	50 – 108 Lbf ft	5649,2 – 12202 N m
Peso	2000 - 4000 Lbf	8896,4 – 17793 N
Revoluciones	90 – 250 rpm	

En situaciones reales los parámetros indicados son seleccionados cuidando de no someter a la sarta a elevados pesos y revoluciones, ya que el efecto que generan estas condiciones es un rebote de la herramienta sin producir corte alguno.

4.4 Modelado Geométrico del Junk Mill Actual

El modelado geométrico del Junk Mill se llevó a cabo mediante un software de diseño mecánico, y las dimensiones fueron obtenidas por medición directa de las partes de la herramienta. A fin de simplificar el estudio y tener una simulación representativa de la operación del Junk Mill, las irregularidades de la superficie representada por los carburos de tungsteno fueron despreciadas por tratarse de una superficie cortante de forma geométrica indeterminada debido a la deposición aleatoria de los carburos, de modo que el modelo de la herramienta para este estudio se

asumió con cara plana y de material WC macizo tal como se muestra en la Fig. 4.9.



Figura 4.9. Modelado geométrico del Junk Mill actual. a) Modelo completo y b) corte transversal

Fuente: Elaboración propia

4.5 Simulación de la operación de la herramienta Actual

Como se explicó en el capítulo anterior, el modelo geométrico de la herramienta se exportó a un programa computacional de análisis por el método de los elementos finitos. La etapa previa a la simulación consistió en la selección de la malla y tamaños de los elementos. En la Fig. 4.10 se muestra el mallado del modelo.

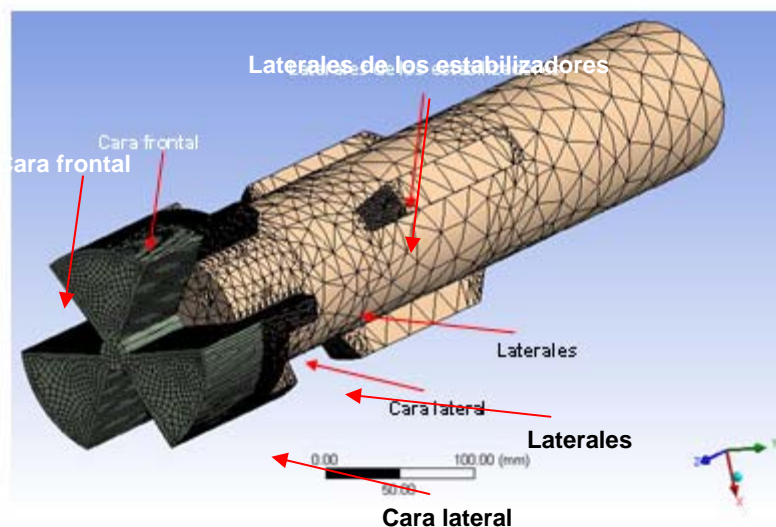


Figura 4.10. Mallado del modelo

Fuente: Elaboración propia

El tipo de malla seleccionado para la cara frontal, cara lateral, laterales y estabilizadores, fue de tipo sizing, por ser las zonas críticas de la herramienta; al resto de la pieza se le aplicó un mallado estándar. Luego se procedió a la colocación de los parámetros de funcionamiento de la herramienta: carga (17793 N) representada como el peso total de la sarta, torque ($1,2202 \times 10^5$ N mm) como el giro de la sarta y la restricción (soporte fijo), como se muestra en la Fig. 4.11.

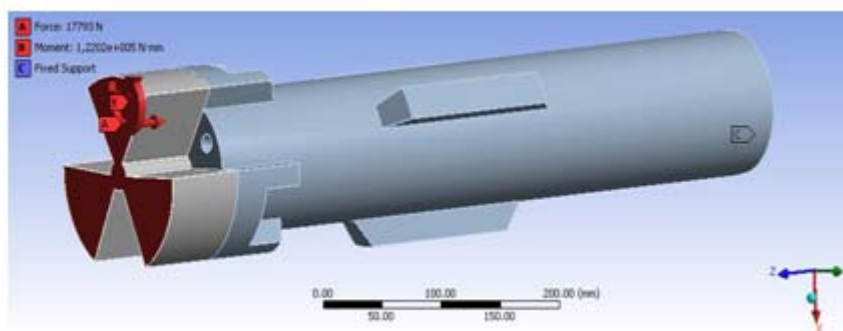


Figura 4.11. Datos utilizados para el análisis estático

Para determinar el tamaño de los elementos y números de nodos, se procedió a sensibilizar la malla, procedimiento que permite seleccionar el número de nodos que se relacionen con resultados relativamente constantes. Para esto se realizaron varias simulaciones, variando el tamaño de los elementos, donde se obtuvieron valores preliminares de esfuerzos. En el Apéndice B tabla B.2 se muestran los valores de esfuerzos de von Mises, desplazamiento, arrojados por las simulaciones para lograr la sensibilidad de las mallas; con estos valores se realizó una gráfica de sensibilidad de las mallas la cual se muestra en la Fig. 4.12.

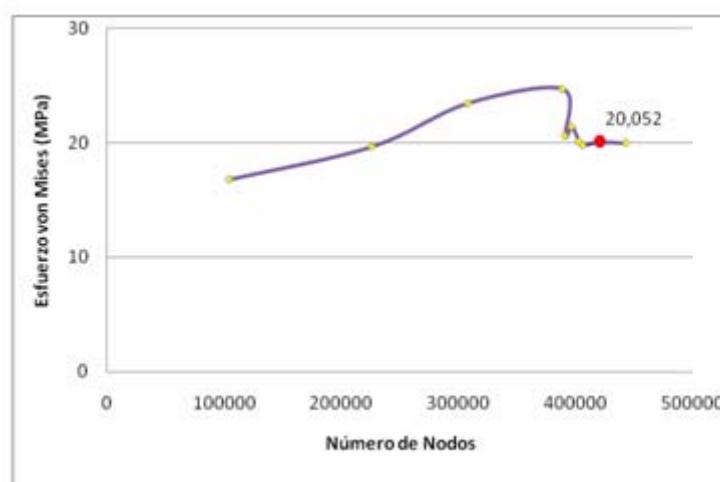


Figura 4.12. Gráfica de sensibilidad

Fuente: Elaboración propia

De la Fig. 4.12, se observa un incremento del esfuerzo debido a la variación del tamaño de los elementos hasta cierto punto. A partir de 40319 nodos existe poca variación entre los valores de esfuerzos de von Mises, esto nos indica que con tamaños de nodos comprendidos entre 40319 y 443309 se obtienen resultados relativamente constantes. Lo que representa que utilizando esa cantidad de nodos se obtienen resultados representativos,

de manera que por esa razón para los cálculos posteriores de esfuerzo de von Mises, desplazamiento y fatiga, se tomó un número de elemento igual a 273750 y con número de nodos de 420903.

La simulación de la operación del Junk Mill actual se llevó a cabo utilizando los máximos valores del rango de los parámetros operacionales mostrados en la tabla 4.2. En la Fig. 4.13 se muestra los resultados de los esfuerzos de von Mises y en la Fig. 4.14 los de desplazamiento total.

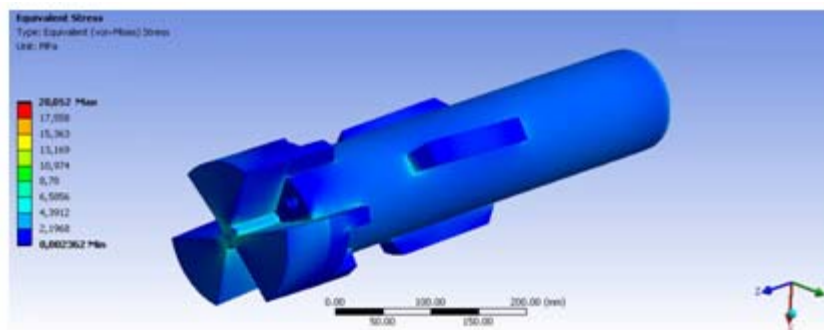


Figura 4.13. Simulación del Esfuerzo de von Mises
Fuente: Elaboración propia

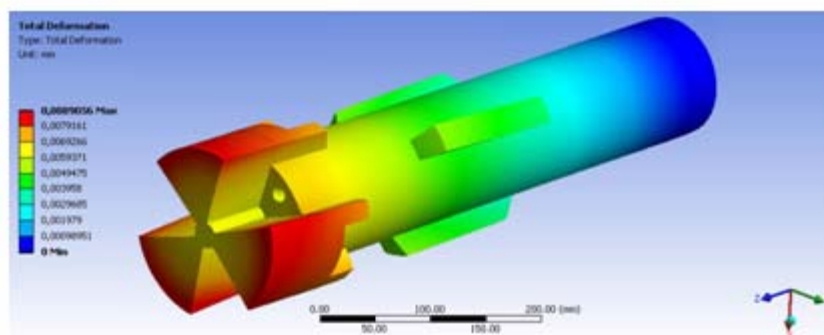


Figura 4.14. Simulación del Desplazamiento Total
Fuente: Elaboración propia

De la Fig. 4.13 puede notarse que los mayores esfuerzos se encuentran en el centro y en las aletas de la herramienta dando un valor máximo de esfuerzo de von Mises arrojado por la simulación de 20,052 MPa. En comparación con el esfuerzo de fluencia del material de la cara frontal (310

MPa) se puede notar que los valores obtenidos no sugieren falla, ya que el valor resultante está muy por debajo de ese esfuerzo de fluencia. Esto se debe a que la condición real de operación de esta herramienta obedece a cortes que se llevan a cabo en ciclos, de manera que lo anterior permite asumir que las fallas que presentan los Junk Mill no son debidas a cargas estáticas, sino a cargas dinámicas. Además, para esta simulación no se consideró los concentradores de esfuerzos reales y los posibles defectos del material a causa de la deposición del carburo de tungsteno por soldadura (inclusiones, porosidades, etc), los cuales pudieran modificar las propiedades del material como disminución del valor de límite elástico, por lo tanto, el valor de esfuerzo von Mises que arrojó la simulación solo nos permite conocer una tendencia de la respuesta ante los esfuerzos.

En cuanto al desplazamiento (Ver Fig. 4.14), se puede notar que es despreciable, siendo el máximo valor obtenido de 0,0089056 mm. Sin embargo, la tendencia encontrada muestra que las zonas más propicias al desplazamiento son los bordes exteriores de la zona cortante del Junk Mill, zonas que corresponden a aquellas donde el desplazamiento de placas de carburos fue notable como se hizo referencia en la Fig. 4.3. Es importante resaltar que los valores de esfuerzos encontrados no causan deformación permanente en el material por estar comprendidos en valores muy por debajo del límite elástico del mismo, de manera que el desplazamiento indicado en la Fig. 4.14 sugiere que el material se comporta elásticamente.

Para el cálculo de la fatiga por esfuerzos fluctuantes fue necesario calcular el esfuerzo de von Mises mínimo. Este esfuerzo se calculó realizando una simulación como se observa en la Fig. 4.15, donde sólo se tomó en cuenta el peso de la sarta (sin el torque), ya que el torque está relacionado con los ciclos de trabajo de la herramienta y por consiguiente con

los esfuerzos que posiblemente causan la falla como se mencionó en el análisis de la Fig. 4.13.

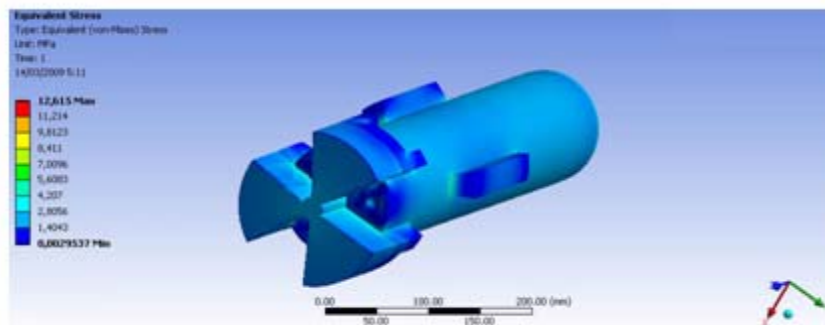


Figura 4.15. Simulación del Esfuerzo de von Mises obviando torque de la herramienta.

Fuente: Elaboración propia

Tomando como $\sigma_{\text{máx}}=20,052$ MPa (considerando condiciones críticas) y el $\sigma_{\text{mín}}=12,615$ MPa (obviando el torque de la herramienta como se observa en la Fig. 4.15), se procedió al cálculo de la fatiga. El procedimiento de cálculos ejecutado para este análisis, se muestran en el Apéndice D.

De los cálculos de fatiga, se obtuvo el valor del factor de seguridad siguiente:

$$n=11,9747$$

El valor de factor de seguridad nos indica que la herramienta se encuentra en vida infinita lo cual difiere con lo que ocurre en la realidad, ya que el Junk Mill realmente falla. Esto es debido a lo antes expuesto en la sección 4.3, ya que no se consideró las irregularidades de la cara frontal y que a su vez no se tiene conocimiento del factor de concentrador de esfuerzo

real por la geometría indeterminada de la herramienta en la cara frontal. Por consiguiente los resultados que se obtienen en este estudio indican solo una tendencia representativa del comportamiento ante los esfuerzos.

4.5.1 Simulación del Junk Mill para condiciones de Torque máximo y Peso máximo.

Los análisis de esta sección están orientados a la evaluación del efecto que ejerce el torque debido al momento rotacional de la herramienta durante su operación y el peso debido a la sarta.

Para esto se realizó una simulación considerando el torque máximo de 108 Lbf in (12202 N mm) y peso mínimo de 2000 Lbf (8896,4 N). En la Fig. 4.16 se muestra el resultado de los esfuerzos de von Mises y en la Fig. 4.17 los del desplazamiento.

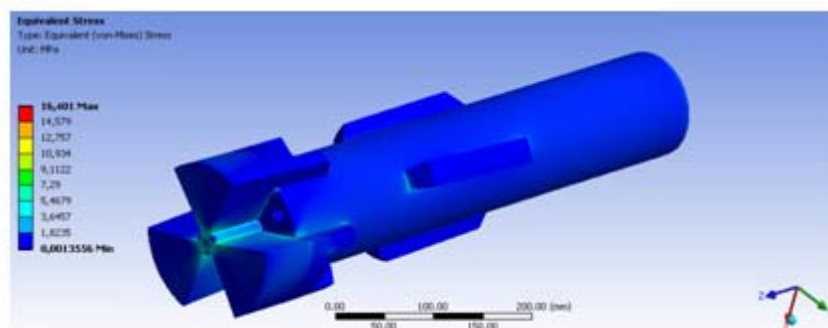


Figura 4.16. Simulación del Esfuerzo de von Mises

Fuente: Elaboración propia

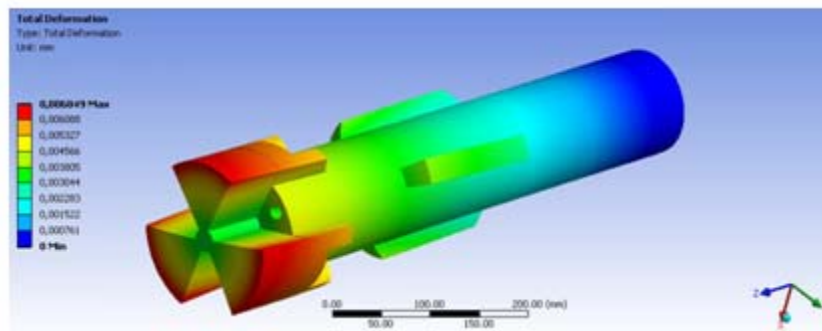


Fig. 4.17. Simulación del Desplazamiento

Fuente: Elaboración propia

Al igual que en la simulación anterior, el valor máximo del esfuerzo de von Mises de 16,401 MPa indica que no hay fluencia en el material, permitiendo conocer la tendencia de la respuesta ante los esfuerzos, ya que el material simulado no incluye los concentradores de esfuerzos y defectos, como inclusiones o discontinuidades a causa de la deposición del material por soldadura. Se observa también, que los esfuerzos mayores se obtienen en los bordes agudos, lo anterior se explica a que estas geometrías se caracterizan por incrementar los valores concentradores de esfuerzos trayendo como consecuencia incremento en el grado de esfuerzos.

En cuanto al desplazamiento máximo, se observa en la Fig. 4.17 que esta ocurre en los bordes de la herramienta ya que al aplicarse un momento torsionante el máximo valor de deformación se da en la parte más alejada del centro (hacia la periferia) de la cara frontal, ya que en esas zonas se experimenta las mayores fuerzas (por presentar el mayor brazo).

En la Fig. 4.18 se muestra el resultado de los esfuerzos de von Mises y en la Fig. 4.19 los del desplazamiento. Para la simulación de la operación de

la herramienta considerando torque mínimo de 50 Lbf in (5649,2 N mm) y peso máximo de 4000 Lbf (17793 N).

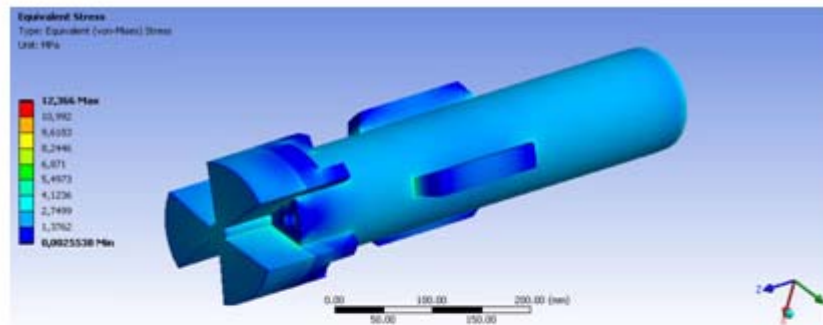


Fig. 4.18. Simulación del Esfuerzo de von Mises
Fuente: Elaboración propia

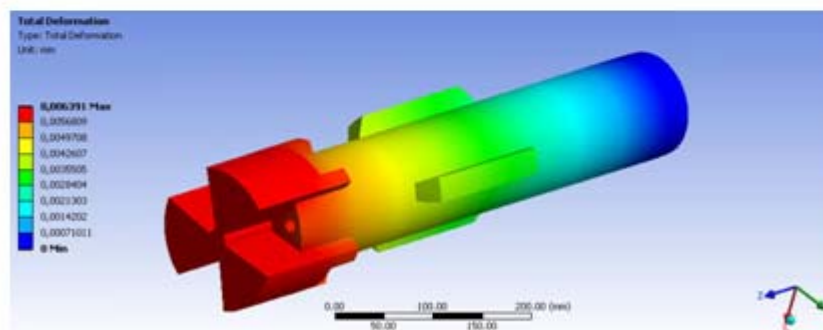


Fig. 4.19. Simulación del Desplazamiento
Fuente: Elaboración propia

De las Figs. 4.18 y 4.19, se observa que el valor del esfuerzo de von Mises, al igual que en las simulaciones anteriores, muestran tendencia de la respuesta del esfuerzo y en cuanto al desplazamiento, este ocurre en toda la superficie de la cara frontal debido a la acción de las fuerzas compresivas que tienden a causar un aplastamiento en la cara frontal del Junk Mill. Es importante resaltar que los esfuerzos resultantes en las Figs. 4.16 y 4.18 no sugieren fluencia y los desplazamientos indicados en las Figs. 4.17 y 4.19 indican que el material se comporta elásticamente.

4.5.2 Comparación de las simulaciones del Junk Mill para condiciones de Torque máximo y Peso máximo

En el Apéndice B, tabla B.3 se observan los valores de esfuerzos de von Mises y los de desplazamiento para las simulaciones indicadas en la sección 4.5.1. En las Figs. 4.20 (a) y (b) respectivamente, se muestran las gráficas de comparación de los resultados del desempeño del Junk Mill actual variando los parámetros de torque y peso.

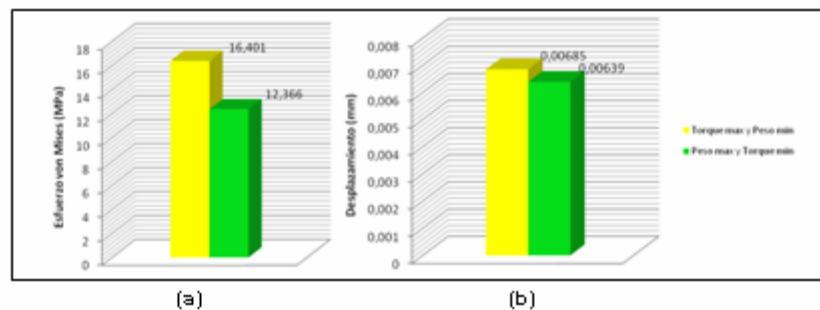


Fig. 4.20. Gráfica del esfuerzo de von Mises (a) y desplazamiento para ambas variaciones de parámetros (b)

Fuente: Elaboración propia

De la Fig. 4.20-a, se observa que la tendencia es que el torque que experimenta la herramienta ejerce una mayor influencia en los esfuerzos de von Mises que el peso, representando este último una condición de compresión sobre la herramienta. Lo anterior se fundamenta en la naturaleza del material de la cara cortante del Junk Mill, ya que por ser un material cerámico presenta alta resistencia a la compresión, por su alta rigidez debido al modo de enlaces atómicos rígidos (covalentes e iónicos) que no admiten deslizamiento ante los esfuerzos. Esta inhabilidad no le permite absorber esfuerzos ante fuerzas tensivas y de corte, razón por la cual la herramienta

tiende a presentar mayor solicitación en la condición de alto torque y menor suponiendo condición de alta compresión.

En cuanto al desplazamiento, la mayor deformación elástica está en concordancia con los mayores esfuerzos, que para este caso corresponde con la condición de torque máximo. Como ya se ha mencionado, el estudio de la influencia del torque y peso permite conocer la tendencia del comportamiento que presenta los Junk Mill ante los esfuerzos, y según lo anterior el estudio sugiere mayor deformación ante condiciones de alto torque, por lo tanto, los Junk Mill tienden a fallar por el alto momento torsionante, ya que los materiales cerámicos presentan un comportamiento esfuerzo – deformación caracterizado por ser de poca o despreciable deformación plástica (ver Anexo B. Fig. B.3), de modo que según lo indicado en la Fig. 4.20-b el Junk Mill tiende a fallar mayormente por la torsión.

4.6 Rediseño del junk Mill

En el Apéndice B. Fig. B.4 se muestra el plano del Junk Mill rediseñado.

Tomando en consideración lo expuesto en la sección 3.6, y lo obtenido en la simulación del Junk Mill actual, se procedió a realizar el rediseño de la geometría del mismo, considerando que aquellas zonas de mayores esfuerzos de von Mises, representan las zonas críticas para realizar cambios en la geometría. En la Fig. 4.21 se muestra el modelo geométrico del Junk Mill rediseñado, en él se muestran las partes que fueron modificadas del modelo actual: la cara frontal y los ángulos de aristas. La cara frontal en el rediseño presenta una punta de incidencia de 150° ya que con un ángulo menor la herramienta tendería a iniciar el corte en forma gradual. Además con este ángulo se obtiene mayor estabilidad de la herramienta durante el

proceso de corte ya que en el inicio del mismo, la punta permite posicionar la herramienta para el posterior corte. A su vez se aliviaron los ángulos rectos en las aristas de los estabilizadores y laterales (0,6 in), de tal manera de disminuir los esfuerzos generados en esas zonas.



Fig. 4.21. Modelo Geométrico del Junk Mill Rediseñado
Fuente: Elaboración propia

4.7 Simulación de la operación de la herramienta rediseñada

Una vez rediseñada la herramienta se realizó el modelo y se exportó al programa de análisis por el método de elementos finitos, tanto el mallado como el análisis de sensibilidad de la malla, se realizó de forma similar al de la herramienta actual indicada en la sección 4.4. En la Fig. 4.22, se observa el mallado del Junk Mill rediseñado.

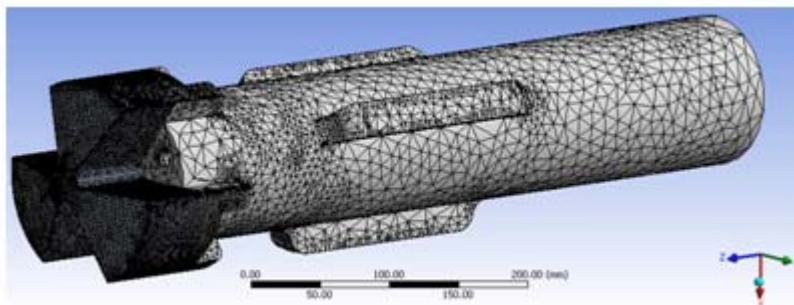


Fig. 4.22. Mallado del Junk Mill Rediseñado

Fuente: Elaboración propia

En el Apéndice B, tabla B.4 se muestran los valores de esfuerzos de von Mises, deformación, número de nodos y elementos, arrojados por las simulaciones hasta conseguir la sensibilidad de la malla. La gráfica de sensibilidad de la malla se muestra en la Fig. 4.23.

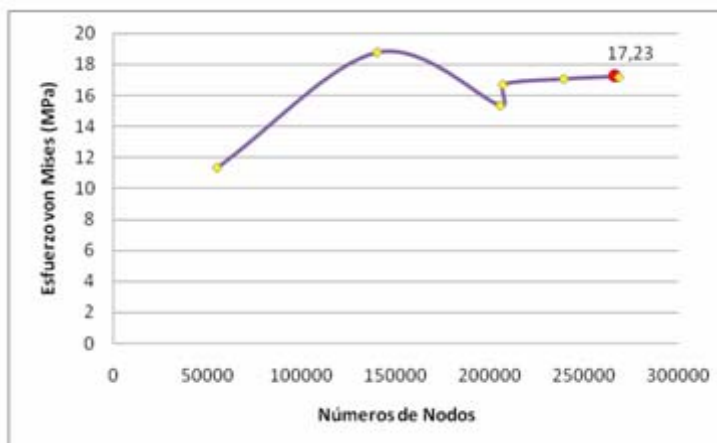


Fig. 4.23. Gráfica de sensibilidad

Fuente: Elaboración propia

En este caso la sensibilidad se logró para un número de nodos de 206806 y un tamaño de elemento de 2,5; 3; 2,5 y 4 mm . Por lo tanto, para los calculos de esfuerzo de von Mises, desplazamiento y fatiga se tomó el valor de esfuerzo de 17,23 MPa para un número de nodos de 266585. En la

Fig. 4.24 se muestra el resultado de la simulación del esfuerzo de von Mises y en la Fig. 4.25 se observa la simulación de deformación total.

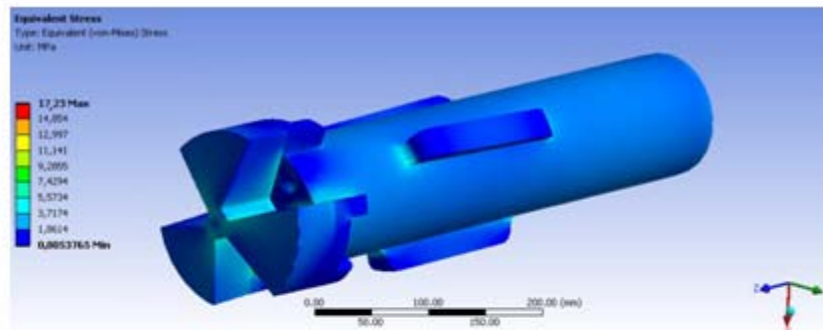


Fig. 4.24. Simulación del esfuerzo von Mises
Fuente: Elaboración propia

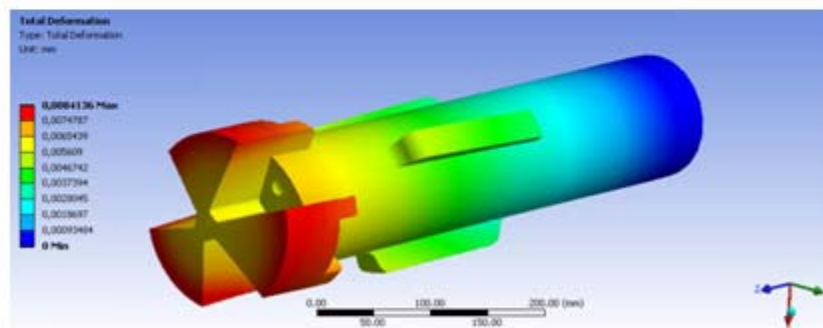


Fig. 4.25. Simulación del Desplazamiento total
Fuente: Elaboración propia

De la Fig. 4.24 puede notarse la misma tendencia que en la simulación de la herramienta actual mostrada en la Fig. 4.13, sólo que en este caso se presentan valores menores de esfuerzo de von Mises bajo situación estática, lo cual atribuye al rediseño.

Al fin de evaluar la herramienta rediseñada, se evaluó su desempeño bajo condiciones dinámicas. Teniendo el valor del esfuerzo de von Mises

máximo, se realizó una nueva simulación sin tomar en cuenta el torque para obtener una condición de bajo esfuerzo. Los resultados de esta simulación se muestra en la Fig. 4.26 donde se obtuvo el valor del esfuerzo de von Mises mínimo para el cálculo posterior de la fatiga.

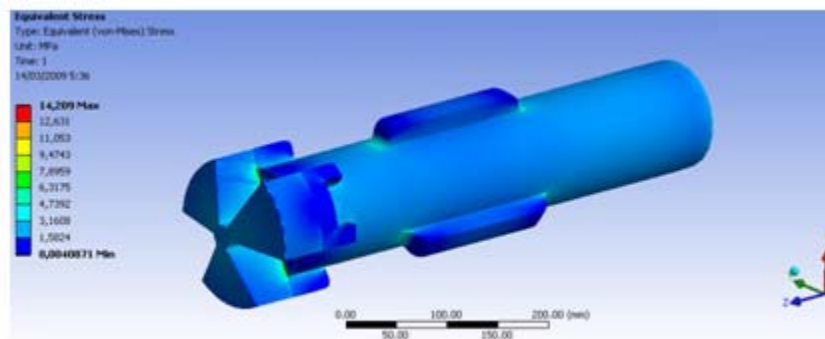


Fig. 4.26. Simulación del Esfuerzo de von Mises sin torque

Fuente: Elaboración propia

Al igual que en la simulación de la herramienta actual, se obtuvo los valores de $\sigma_{\text{máx}}=17,23$ MPa y $\sigma_{\text{mín}}=14,209$ MPa.

Realizado los cálculos para la fatiga, se obtuvo que el valor del factor de seguridad es:

$$n=15,8158$$

En este caso, al igual que con el Junk Mill actual, el valor del factor de seguridad fue mayor a 1, indicando vida infinita. Se puede observar también que en el rediseño, la cara frontal de la herramienta también se tomó como lisa, despreciando la geometría indeterminada de la disposición de los carburos, de tal manera que estos resultados se puedan comparar con los resultados arrojados por las simulaciones de la herramienta actual para obtener una tendencia.

4.7.1 Simulación del Junk Mill rediseñado para condiciones de Torque máximo y Peso máximo

Los análisis de esta sección, al igual que para la herramienta actual, estarán orientados a evaluar el efecto que ejerce el torque debido al momento rotacional del Junk Mill durante su operación. Tomando como torque máximo de 108 Lbf in (12202 N mm) y peso mínimo de 2000 Lbf (8896,4 N). En la Fig. 4.27 se muestra el resultado de los esfuerzos de von Mises y en la Fig. 4.28 los del desplazamiento.

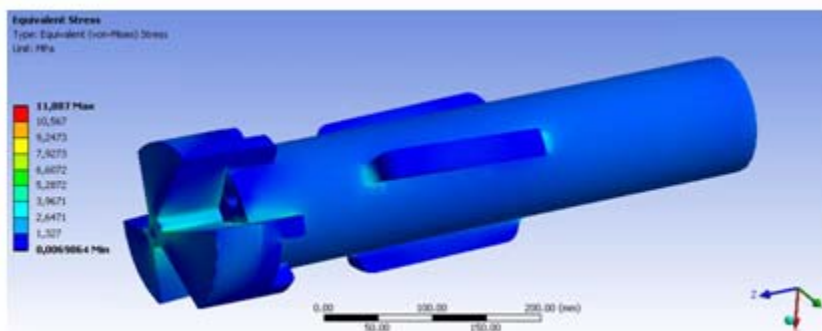


Fig. 4.27. Simulación del Esfuerzo de von Mises

Fuente: Elaboración propia

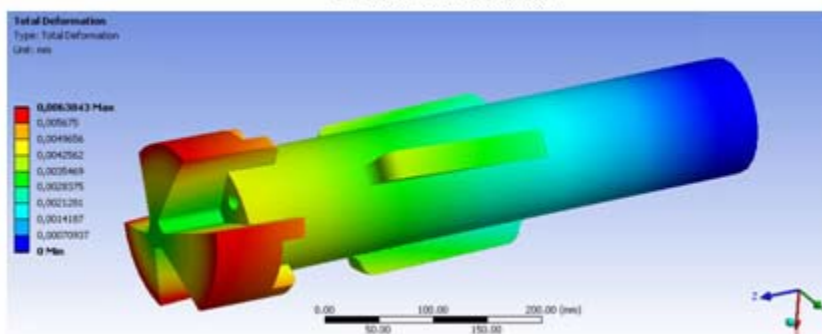


Fig. 4.28. Simulación del Desplazamiento

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que el valor del esfuerzo de von Mises de 11,887MPa al igual que con la herramienta actual, solo permite conocer la tendencia de la respuesta al esfuerzo y desplazamiento máximo ocurre en la parte más alejada del centro de la cara frontal.

Luego se realizó otra simulación, tomando como torque mínimo de 50 Lbf in (5649,2 N mm) y peso máximo de 4000Lbf (17793N). En la Fig. 4.29 se muestra el resultado de los esfuerzos de von Mises y en la Fig. 4.30 los del desplazamiento.

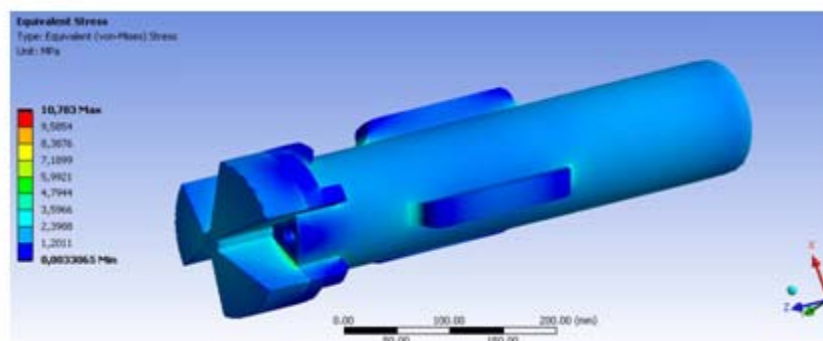


Fig. 4.29. Simulación del Esfuerzo de von Mises

Fuente: Elaboración propia

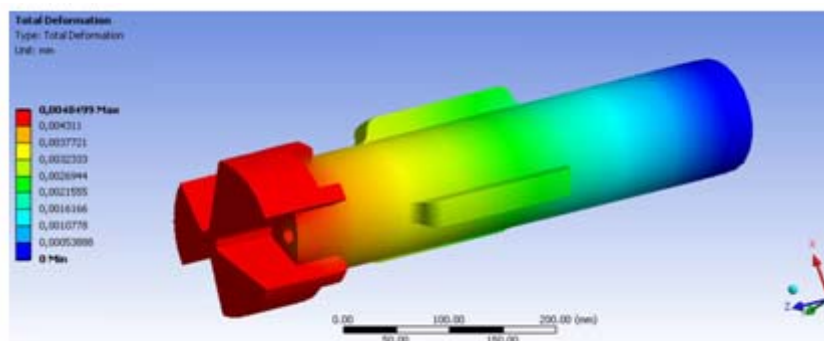


Fig. 4.30. Simulación del Desplazamiento

Fuente: Elaboración propia

De las Figs. 4.29 y 4.30 se observa que en el valor del esfuerzo von Mises, al igual que en el resto de las simulaciones, muestra una tendencia del valor del esfuerzo de von Mises debido a que no están incluidos los concentradores de esfuerzos y con respecto al desplazamiento máximo ocurre en toda la superficie de la cara frontal debido a la fuerza de compresión.

4.7.2 Comparación de las simulaciones del Junk Mill rediseñado para condiciones de Torque máximo y Peso máximo

En el Apéndice B, tabla B.5 se observan de manera resumida, los valores de esfuerzos de Von Mises y los de deformación para las simulaciones de según lo modificado. En la Fig. 4.31 (a) y (b) respectivamente, se muestran las gráficas de comparación del Junk Mill actual con variación en los parámetros de torque y peso.

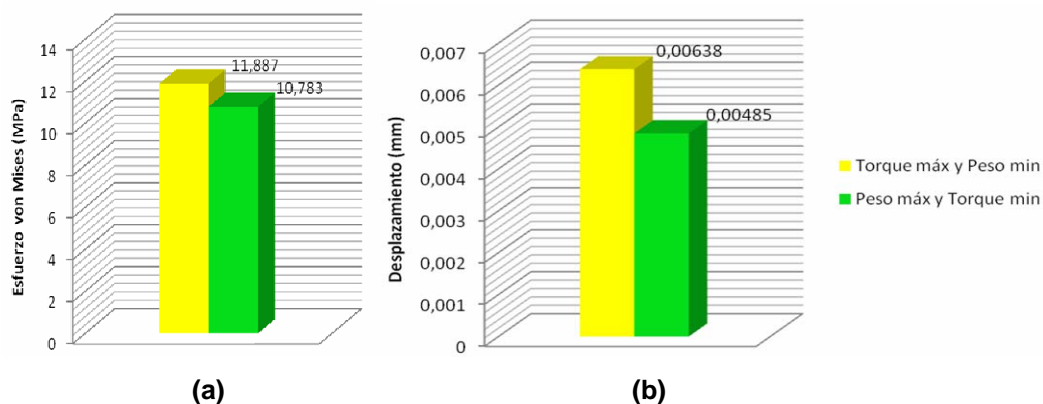


Fig. 4.31. Gráfica del esfuerzo de von Mises (a) y desplazamiento para ambas variaciones de parámetros (b).

Fuente: Elaboración propia

De las gráficas anteriores se puede observar, que el valor máximo del esfuerzo de von Mises ocurre cuando se aplica el torque máximo, indicando que la torsión tiene mayor influencia sobre los esfuerzos de la herramienta que el peso. Al igual que el caso anterior, la cara frontal es de material cerámico, y responde mejor a la compresión debido a su alta rigidez. Y en cuanto al desplazamiento el comportamiento que describe es perfectamente elástico, debido a que el valor del esfuerzo de von Mises no supera el valor del esfuerzo de fluencia del material y el mayor desplazamiento corresponde a la condición de torque máximo.

4.8 Comparación del Junk Mill actual y el Junk Mill rediseñado

Los análisis de esta sección estarán orientados a la influencia del rediseño sobre la herramienta actual. Se realizaron gráficas donde se compararon los resultados de las simulaciones entre el Junk Mill actual y el Junk Mill rediseñado.

Desde las Figs. 4.32 hasta la 4.34, se muestran las gráficas de comparación entre el Junk Mill actual y el Junk Mill rediseñado, respecto a los resultados de las simulaciones del esfuerzo de von Mises máximo, desplazamiento y el valor del factor de seguridad, para los parámetros operacionales reales (torque=108 Lbf in y peso=4000 Lbf).

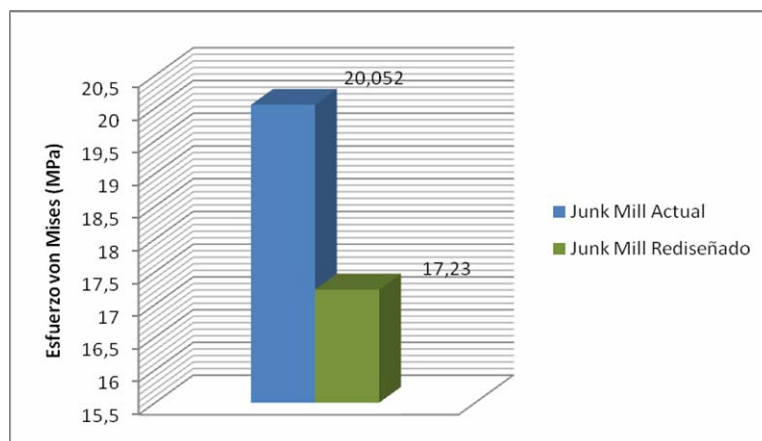


Fig. 4.32. Gráfica de comparación entre los Esfuerzos de von Mises

Fuente: Elaboración propia

De la Fig. 4.32, se observa que, bajo las condiciones de operación real de la herramienta la tendencia de los esfuerzos de von Mises es mayor para la geometría actual, disminuyendo los esfuerzos máximos de von Mises en una tasa de 2,822 MPa para la herramienta rediseñada. Lo anterior indica que la modificación de la geometría del Junk Mill permite obtener una menor sollicitación de la herramienta durante el proceso de milado.

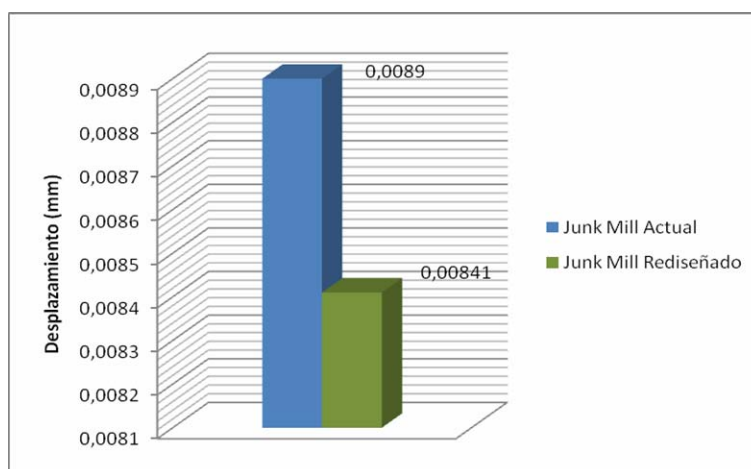


Fig. 4.33. Gráfica de comparación entre la Deformación

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al desplazamiento máximo mostrado en la Fig. 4.33, se observa que no existe mucha diferencia entre los valores de deformación encontrados para ambos casos. Sin embargo, la tendencia observada sugiere que el mayor desplazamiento lo sufre el Junk Mill actual bajo las mismas condiciones. Lo anterior permite asumir que el rediseño de la geometría favorece la herramienta puesto que el desplazamiento obtenido en la simulación representa la deformación relativa (y en este caso es menor) al esfuerzo aplicado, y como se explicó anteriormente en la sección 4.5, por tratarse de un material cerámico durante la deformación presenta poca o nula deformación plástica, de manera que este desplazamiento máximo indica la deformación experimentada por el material.

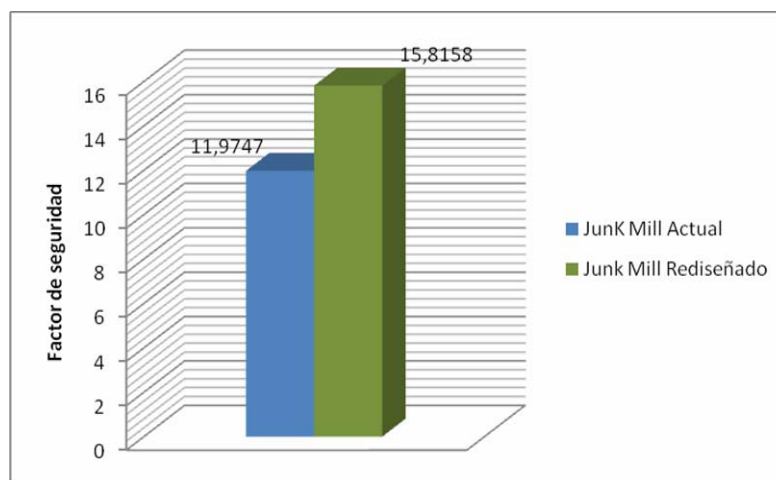


Fig. 4.34. Gráfica de comparación entre el factor de seguridad

Fuente: Elaboración propia

Observando la Fig. 4.34 se aprecia que el factor de seguridad en la herramienta rediseñada es mayor, de tal manera que el efecto de la fatiga disminuye lo cual es positivo para el rediseño. Y el hecho de que el factor de seguridad sea mayor en el rediseño quiere decir que la herramienta tiende a tener mayor durabilidad en el tiempo con respecto a la herramienta actual.

Por otro lado, en la forma en que varían los valores de esfuerzos máximos y mínimos entre la herramienta actual y la rediseñada, indican también que la fatiga disminuye.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se rediseñó la geometría de la herramienta Junk Mill de 5-7/8" en función de la reducción de los esfuerzos y los principios de diseño de herramientas para cortes de metales, consistiendo el nuevo diseño en alivio de aristas y configuración angular de la cara cortante.
- Se estudió la herramienta abrasiva Junk Mill actual, considerando su manufactura, material de fabricación, geometría y principio de funcionamiento.
- Se diagnosticó la situación actual de operación de la herramienta Junk Mill, encontrándose que el de 5-7/8" presentó mayor cantidad de fallas durante el proceso de milado.
- Se simuló la operación de la herramienta moledora de 5-7/8" mediante un programa computacional de análisis por el método de los elementos finitos, tomando en cuenta las condiciones críticas de operación (Torque 108 Lbf ft y Peso 4000 Lbs), y se encontró que los mayores esfuerzos se ubican en los bordes agudos de la cara cortante y en los estabilizadores.
- Se evaluó la influencia del rediseño de la herramienta a través de un programa computacional de análisis por el método de los elementos finitos y se obtuvo que, bajo las condiciones críticas de operación, el rediseño presentó menores esfuerzos de von Mises, menor desplazamiento total y mayor factor de seguridad que el diseño actual.

- El modelado geométrico utilizado en este estudio, no consideró la configuración indeterminada de carburos dispuestos en la zona cortante de la herramienta, de modo que los resultados obtenidos permiten conocer la tendencia de la respuesta ante los esfuerzos de la geometría general del Junk Mill de 5-7/8”.
- Los valores de esfuerzos de von Mises y de desplazamiento, obtenidos de la simulación de la operación de Los Junk Mill de 5-7/8” bajo las condiciones críticas de operación, sugieren que el material se encuentra en el rango elástico. Por lo anterior, se asume que las fallas recurrentes en los Junk Mill son debidas al ciclaje a los cuales se ven expuestas estas herramientas durante el proceso de milado.
- Del análisis dinámico se obtuvo que la vida de la herramienta corresponde a “vida infinita” ($n > 1$), ya que el modelo utilizado considera la geometría general del Junk Mill de 5-7/8” y no incluye la configuración indeterminada de carburos dispuestos en la zona cortante de la herramienta, posibles discontinuidades y defectos del material a causa del proceso no controlado de deposición de carburos.
- El torque tiene mayor influencia en los valores de esfuerzos que el peso, debido a la naturaleza del material de la cara cortante del Junk Mill de 5-7/8 que no admite deslizamiento durante la deformación.

Recomendaciones

- Implementar métodos de inspección formales y documentados de la condición inicial del Junk Mill previo a su utilización en el proceso de rehabilitación.
- Crear registros en los cuales se obtenga un mayor campo de estudio de los Junk Mill utilizados, a fin de evaluar si existen otros tipos de Junk Mill que puedan considerarse críticos para estudios como este.
- Realizar próximos trabajos donde se pueda considerar una geometría más aproximada de la cara abrasiva del Junk Mill.
- Tener un mejor control durante la deposición de los carburos en los Junk Mill.
- Realizar un estudio de tal manera de conocer si existe una carga adicional en el Junk Mill, debido a la excentricidad del mismo durante el proceso de milado, causado por la sarta de limpieza.
- Realizar un diseño del Junk Mill considerándolo como una herramienta monolítica.

Bibliografía Citada

1. “Petróleos de Venezuela S.A., PDVSA”.

Disponible en: <http://www.pdvsa.com/index.php>.

2. ABOU, M., “Evaluación de los Depósitos Abrasivos en Herramientas Moledoras, Utilizadas en Operaciones de Rehabilitación de Pozos de Hidrocarburos”, trabajo de grado, Universidad de Oriente, Departamento de Mecánica, **(2005)**.

3. EL HALABI, F. “Diseño de herramienta para recuperar tapones de hierro en revestidores de 7 inch en pozos de PDVSA Gas”, trabajo de grado, Universidad Simón Bolívar, Departamento de Mecánica, **(2008)**.

4. AGUIRRE, E. y VIVAS, Y., “Completación de Pozos”. (2004)

Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos17/completacion-pozos/completación - pozos.shtml>

5. BOOKAMAN, V. y DE ABREU, C., “El pozo ilustrado”. Cuarta edición, Ediciones FONCIED, Caracas **(1998)**.

Disponible en: <http://www.svip.org/files/elpozoilustrado.pdf>

6. “Smith Service International”.

Disponible en: http://www.siismithservice.com/b_products/search_results.asp

7. PDVSA, “Herramientas y Técnicas de Pesca Lección 10”. Lecciones sobre servicio y reacondicionamiento de pozos. Enero (1980).

8. SALAZAR, E., “Esfuerzos normales axiales”, Colombia, (2001).

Disponible en: http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/palmira/5000155/lecciones/lec1/1_2.htm

9. MARTÍNEZ, D., “Torsión mecánica”, México, (2006).

Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Torsión_mecánica.

10. HAMROCK, B., JACOBSON, B. y SCHIMID, S., “Elementos de Máquinas”, Primera Edición. Editorial McGraw Hill. México (2000).

11. SHIGLEY, J. y MISCHKE, C., “Diseño en ingeniería mecánica”, Sexta Edición. Editorial McGraw Hill. México (2005).

12. FRÍAS, E., “Aportaciones al estudio de las máquinas eléctricas de flujo axial mediante la aplicación del método de los elementos finitos.”

Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Catalunya. España. **(2004).**

Disponible en: http://www.tesisenred.net/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-1214104-114808//06Efv06de23.pdf

13. MARK, J., “Tapón de Hierro de 9-5/8 in”. SCHLUMBERGER. Venezuela.

14. CORREA, J., “Metalografía – Aceros, Fundiciones, Inoxidables”, México, (2007).

Disponible en: <http://juliocorrea.wordpress.com/2007/08/18/metalografia-aceros-fundiciones-inoxidables/>

15. AGUILLON, A., “Carburo de Tungsteno.Doc”. WEATHERFORD. Venezuela.

16. GROOVER, M. “Fundamentos De Manufactura Moderna: Materiales Procesos Y Sistemas”. Prentice Hall Hispanoamericana. México, **(1997)**.

17. SALAS, R. “Presentación: El taladro y sus componentes”. PDVSA. Venezuela, **(2004)**.

18. GERE, M. y JUÁREZ, R. “Mecánica de materiales”. Sexta Edición. Publicado por Cengage Learning Editores, **(2006)**.

Disponible en: [http //books.google.es/books?id=Q6JYKHrf –C YC& prin tse c=frontcover&source=gbs_summary_r&cad=0#PPP19,M1](http://books.google.es/books?id=Q6JYKHrf-CYC&printsec=frontcover&source=gbs_summary_r&cad=0#PPP19,M1)

Bibliografía Adicional

- LEOMOSSCA, “**Asesores y Ejecutores de Operaciones y Pesca**”, Asistencia Petrolera C.A. Venezuela, (2007).
- SIMANCAS, F., “**Manual teórico-práctico de Ingeniería de Completación y Rehabilitación de pozos escuela de petróleo de la U.C.V.**”, Venezuela, (2005).
- SHIGLEY, J y MISCHLE, C., “**Diseño en ingeniería mecánica**”, Sexta Edición, Editorial Mc Graw Hill. Nueva York (2002).
- BEER, F. y JOHNSTON, R., “**Mecánica de materiales**”, Tercera Edición. Editorial Mc Graw Hill, México, (2001).
- “**Weatherfor**”.
Disponible en: http://www.weatherford.com/weatherford/groups/public/documents/intervention/ifs_mills.hcsp.
- “**Sumitec**”
Disponible en: <http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%204140.pdf>

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y
ASCENSO:**

TÍTULO	“REDISEÑO DE LA GEOMETRÍA DE UNA HERRAMIENTA MOLEDORA “JUNK MILL” UTILIZADA EN LAS OPERACIONES DE REHABILITACIÓN DE POZOS DE HIDROCARBUROS.”
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Figuroa Álvarez, Fredhangela	CVLAC: 16.063.156 E MAIL: fredha06@gmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALABRAS O FRASES CLAVES:

Junk Mill

Rediseño

Análisis de esfuerzos

Fatiga

por

esfuerzos

fluctuantes

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÁREA	SUB-ÁREA
MECÁNICA DE SÓLIDOS	DISEÑO

RESUMEN (ABSTRACT):

Se realizó un rediseño de la geometría de la herramienta moledora Junk Mill a fin de obtener un diseño caracterizado por mejor eficiencia y desempeño. El rediseño fue realizado en función de la reducción de las solicitaciones a las cuales esta herramienta está sometida durante su operación de rehabilitación de pozos de hidrocarburos. Para lograr el rediseño, primeramente se realizó el análisis estático a la herramienta actual, con el fin estudiar los esfuerzos producidos durante el proceso de milado, para ello se utilizó un software de análisis por el método de los elementos finitos y los parámetros operacionales sugeridos por los registros de pozos, obtenidos por el Drilling Information Management System (DIMS). Además, se estudió la influencia de las condiciones de operación: torque y peso sobre la herramienta, utilizando los valores máximos y mínimos de estos parámetros, encontrándose que el torque produce mayor influencia sobre los esfuerzos debido a la naturaleza del material de la herramienta. Como parte del análisis dinámico, se utilizó la caracterización de los esfuerzos fluctuantes para el cálculo del factor de seguridad y se encontró que el valor de este factor sugiere vida infinita. Tomando en consideración los resultados obtenidos del estudio hecho al Junk Mill actual y los parámetros generales de diseño de las herramientas de corte de metales, finalmente se obtuvo la herramienta rediseñada, la cual fue sometida a los mismos estudios realizados a la herramienta actual. Los resultados obtenidos fueron comparados y se encontró que con el rediseño se logró una disminución de los esfuerzos de von Mises en una tasa de 2,822 MPa.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E-MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
Marcela Seijas				TU	JU
	CVLAC:	V. 16.717.744			
	E-MAIL	marcela.seijas@gmail.com			
	E-MAIL				
Félix Payares		CA	AS	TU	JU
	CVLAC:	V. 5.976.608			
	E-MAIL				
	E-MAIL				
Gaetano Sterlacci		CA	AS	TU	JU
	CVLAC:	V. 8.871.360			
	E-MAIL				
	E-MAIL				
Giovanny Morantes		CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E-MAIL	morantesg@pdvsa.com			
	E-MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2009	05	20
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
Tesis de Junk Mill	.doc

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F
G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z . a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x
y z . 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 .

ALCANCE

ESPACIAL: _____ (OPCIONAL)

TEMPORAL: _____ (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

INGENIERO MECÁNICO

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

PREGRADO

ÁREA DE ESTUDIO:

MECÁNICA

INSTITUCIÓN:

UNIVERSIDAD DE ORIENTE. NÚCLEO ANZOÁTEGUI

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

DERECHOS

“Los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien participará al Consejo de Escuela”.

AUTOR 1

AUTOR 2

AUTOR 3

TUTOR

JURADO 1

JURADO 2

POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS