

# DISEÑO DE DOS HERRAMIENTAS PARA LA RECUPERACIÓN DE OBSTRUCCIONES EN LOS POZOS DE PACIFPETROL S.A.

Paúl Minchala García<sup>1</sup>, Ernesto Martínez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero Mecánico 2006; (email: [paulminchala@gmail.com](mailto:paulminchala@gmail.com));

<sup>2</sup>Director de Tesis, Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1983, Profesor, (email: [emartine@espol.edu.ec](mailto:emartine@espol.edu.ec))

## RESUMEN

La presente Tesis tiene como lugar el Bloque 2 del Campus Petrolero Gustavo Galindo Velasco, actualmente administrado por Pacifpetrol S.A. y cuya ubicación es la Península de Santa Elena, Parroquia Ancón, la misma que tiene como función principal la optimización de la producción de petróleo para su posterior venta a la refinería de La Libertad. Actualmente existen tres tipos de producción artificial, ellas son: Método de Bombeo Mecánico, Método de Pistoneo ó Swab y Método de la Herramienta Local. Además de la producción, se presentan operaciones de acondicionamiento de pozos en cuyo trabajo se encuentran situaciones como la habilitación de pozos luego de problemas en la producción y el mantenimiento de elementos que se encuentran trabajando continuamente en el campo. Durante las operaciones de extracción de petróleo ocurren fallas mecánicas o errores humanos los cuales producirán que se suelte o parta el equipo o algún elemento en particular y caiga al fondo del pozo generándose así una obstrucción en el agujero. Al elemento obstruyente se lo denomina "pescado" y es un objeto indeseable en el interior del pozo y debe ser recuperado por una herramienta de pesca. La tesis se basa en el diseño de dos herramientas de recuperación previamente seleccionadas mediante un análisis estadístico. La primera de ellas es un pescante llamado Rabo de Rata, ideal para recuperar tubería agarrándola internamente. La segunda es una herramienta conocida como Collarín de Dados y contrario a la primera, esta recuperará objetos agarrándolos externamente. El procedimiento a seguir para diseñar dichos pescantes es hacer un estudio de una serie de herramientas de pesca que generalmente se utilizan en el Oriente ecuatoriano, conocer su funcionamiento y métodos de recuperación para implementarlas por los métodos convencionales de diseño a los campos de Pacifpetrol. Así, una vez diseñada e implementada la herramienta se espera que ésta tenga un costo de fabricación muy por debajo del precio de la compra a Compañías de Servicio, así como también deberá ser capaz de reducir el tiempo de pesca ya que esto se verá reflejado en un menor consumo de combustible en las unidades de servicio y operar en mas pozos en una sola jornada de trabajo.

## SUMMARY

The present Thesis has as place the Block 2 of the Oil Campus Gustavo Galindo Velasco, at the moment administered by Pacifpetrol S.A. and whose location is Santa Elena's Peninsula, Parish Ancón, the same one that has as main function the optimization of the production of oil for sale to the refinery of The Libertad. At the moment there exist three types of artificial production, they are: Method of Bombeo Mecanico, Method of Pistoneo or Swab and Method of the Herramienta Local. Besides the production, operations of conditioning of wells are presented in whose work is situations like the qualification of wells after problems in the production and the maintenance of elements that are working continually in the field. During the operations of extraction of oil happen mechanical flaws or human errors which will produce that the teams get loose or break some element in particular and fall to the bottom of the well being generated this way an obstruction in the hole. The element obstruyente is called "fish" and it is an undesirable object inside the well and it should be recovered by a fishing tool. The thesis is based on the design of two fishing tools previously selected by means of a statistical analysis. The first of them is a fishing tool called Taper Tap, ideal to recover pipe grabbing it internally. The second is a tool called Die Collar and contrary to the first one, this it will recover objects grabbing them externally. The procedure to continue to design these fishing tools is to make a study of a series of fishing tools that generally are used in the Ecuadorian East, to know its operation and recovery methods to implement them for the conventional methods of design to the fields of Pacifpetrol. This way, once designed and implemented the tool is expected that this has a cost of production very below the price from the purchase to Companies of Service, as well as it will be able to reduce the time of fishing since this will be reflected in a smaller consumption of fuel in the units of service and to operate in more wells in a single work day.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la Industria del Petróleo, es necesario contar con herramientas las cuales nos pueden facilitar

<sup>1</sup>Ingeniero Mecánico 2006; (email: [paulminchala@gmail.com](mailto:paulminchala@gmail.com)); <sup>2</sup>Director de Tesis, Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1983, Profesor, (email: [emartine@espol.edu.ec](mailto:emartine@espol.edu.ec))

los problemas en caso de encontrarnos con una situación de pesca.

Antes de proceder con el diseño, primero haremos un estudio acerca de las herramientas más utilizadas en la Industria, conocer sus formas y principios de operación.

## 2. TIPOS DE HERRAMIENTAS Y MÉTODOS DE RECUPERACIÓN.

En esta sección nos familiarizaremos con las herramientas de pescas más comunes existentes en el oriente ecuatoriano, para esto, en la primera sección seleccionaremos a los pescados en cuatro grupos que por simplicidad serían: tuberías sueltas o partidas, tuberías atascadas, desperdicios metálicos y cables. Para cada situación existe un procedimiento de inicio diferente hasta lograr atrapar el pescado, luego de ello el paso a seguir es común para todas, devolverlo a superficie lo más pronto posible.

### 2.1 Recuperación de Tubería Suelta o Partida.

Aunque no es un caso muy común cuando se perfora (tubería suelta), se la debe describir debido a la aparición en las labores posteriores a ésta. Es de simple recuperación, por supuesto, en el caso de contar con los pescantes apropiados. Cuando una tubería es suelta o partida durante un proceso, se debe saber primero la profundidad a la que se encuentra seguido de la posición que ocupa dentro del pozo. Estas dos características nos la puede ofrecer un bloque impresor, el cual definiremos de la siguiente manera.

#### Herramientas Utilizadas.

El más utilizado se llama Collarín de Dados o Tarraja (Rotary Die Collar), representado en la figura 1. Realmente constituye una sección hembra de tarraja que engancha la parte externa del pescado. Esta herramienta está hecha en forma de un acoplador (cuello) de tubería, de construcción muy fuerte y un metal muy duro. Está equipado interiormente con dados roscados los cuales van haciendo roscas a medida que bajan sobre el tope del pescado (tubería), enroscando así firmemente el pescado con el pescante.



Figura 1.-Pescante Collarín de Dados, Compañía Weatherford.

Un ejemplo de pescante interno sin dispositivo de liberación es el así llamado Pescante Rabo de Rata (Taper Tap) representado en la figura 2. Constituye un ahusado macho de tarraja o simplemente un macho cónico, utilizado en casos en los que no hay suficiente espacio en el hueco como para usar un pescante de enganche exterior y la habilidad para pescar puede ser provista por esta herramienta que entraría en el diámetro interno del pescado agarrándose firmemente. El pescante rabo de rata está construido para pasar por dentro del pescado y hacerle roscas ejerciendo un torque a la sarta de pesca con la ayuda de la mesa rotatoria. Este agarre es tan efectivo que solo se soltara una vez que esté en superficie y se desacople con una llave hidráulica.

Estos pescantes, internos y externos, cuando atrapan al pescado no producen sellamiento o hermetismo necesario para forzar la circulación a través del pescado; en consecuencia, solo circulan por arriba del pescado a través de orificios apropiados por la misma sección de atrapamiento.



Figura 2.-Pescante Rabo de Rata, Compañía Weatherford.

### 2.2 Recuperación de Tubería Atascada.

Es el caso más común en las operaciones de perforación y las causas fueron detalladas en el capítulo anterior. La recuperación de este tipo

de tubería debe hacerse tomando en cuenta dos factores iniciales: la profundidad del atascamiento y el método a realizar para cortar o soltar la tubería, luego de ello se procederá a seleccionar el pescante adecuado para devolverla a superficie. El localizar el punto en el cual la tubería se ha atascado es de vital importancia y por ende debe calcularse con precisión. A continuación describiremos algunos métodos para localizar el punto de atascamiento.

### Herramientas Utilizadas.

Un ejemplo de este tipo de pescante es el Pescante de Enchufe Recuperable (Releasing Overshot) representado en la figura 3. Es la herramienta más fuerte disponible para enganchar externamente, sujetar y halar un pescado. Los enchufes son sobresalientes por su compactación, simplicidad y variedad de usos. Cada herramienta está diseñada para enganchar y sellar un especificado diámetro externo máximo, y puede fácil y sencillamente ser acondicionada para enganchar y sellar cualquier diámetro menor. Se engancha y se suelta hacia la derecha, instantánea y positivamente.



Figura 3.- Pescante de Enchufe, Compañía Weatherford.

Otro tipo de pescante interno con mecanismo de liberación es el Arpón Recuperable Tipo Circulo Lleno (Full Circle Releasing Spear) el cual se encuentra representado en la figura 4. Ofrece ciertas ventajas en todos los trabajos de pesca donde es necesario agarrar el pescado internamente y donde hay muy poca luz entre pescado y hoyo como para usar un pescante externo. Es sencillo y seguro, con un agarre positivo y un mecanismo de liberación real. Sin embargo, a pesar que tienen un área de enganche de las cuñas de 35 a 45% mayor que

cualquier otro pescante interior en la industria, no se usan tanto como los externos porque es difícil penetrar en el interior del pescado que desliarse por fuera del mismo. Además, el arpón tiene que ser de diámetro angosto para que funcione dentro del pescado; no es, pues, tan fuerte ni confiable en su resistencia como las herramientas de agarre por fuera. Un arpón puede fácil y sencillamente, con poco gasto, equiparse con un accesorio de empacadura cuando se requiere de circulación en las operaciones de pesca.



Figura 4.- Pescante Arpón, Compañía Weatherford.

### 2.3 Recuperación de Desperdicios.

La pesca de desperdicios dentro de un pozo es una tarea muy común y difícil si no se cuenta con las herramientas apropiadas para recuperar este tipo de pescados. Los desperdicios son cualquier objeto de dimensiones pequeñas tales como: conos de brocas, cuñas, pedazos de hierro que se generan después de fresar y herramientas pequeñas caídas desde superficie. Aunque no es un problema serio, las pérdidas de piezas de metal en el hueco, incluso pequeñas, pueden ser costosas en razón del tiempo que se pierde por su culpa, sobre todo en pozos con revestimiento. No hay una forma que pueda considerarse la mejor para solucionar este problema. Un método preventivo es mantener todo el tiempo una cubierta sobre el hueco o una empacadura tipo disco para así evitar la caída de herramientas accidentalmente y además evitar perforar con brocas desgastadas.

A continuación describiremos dos tipos de herramientas de recuperación ideales para estos tipos de pescados.

### Herramientas Utilizadas.

Los Imanes de pesca ó comúnmente llamados Magneto se representan en la Figura 5. Cada

herramienta está diseñada para permitir el uso del más grande y poderoso elemento magnético que pueda ser contenido dentro de su diámetro externo. Es ideal para recuperar todos los tipos de objetos pequeños de formas irregulares y no perforables, que tengan atracción magnética.

Imanes permanentes y de gran poder se usan para sacar objetos pequeños de acero o de hierro que yacen libremente en el fondo del pozo evitando así el desgaste innecesario de la broca en su intento por molerlos. Poseen la libertad de poder ser bajados tanto con tubería como con cable. Las operaciones con cable tienen la ventaja de ser más rápidas y económicas. Las operaciones con tubería en cambio, tienen la gran ventaja de poder utilizar la circulación en el pozo, esto es, se pueda enviar desde superficie un fluido que permita remover sedimentos sobre el pescado y también para aflojarlo.



Figura 5.- Pescante Magnético, Compañía Weatherford.

#### **Recuperación de Desperdicios por Circulación Inversa.**

Para entender mejor el funcionamiento de éste método conoceremos primero el concepto de circulación normal o directa. Circulación directa es aquella en la cual se inyecta fluido desde superficie dentro de la sarta de perforación o de pesca hasta llegar al fondo del pozo donde regresa por medio del anular (espacio entre el exterior de la tubería y la pared del pozo o el revestimiento).

En la recuperación de desperdicios por circulación inversa se utiliza una herramienta llamada Cesta o Canasta de Desperdicios representada en la Figura 6.



Figura 6.- Cesta Recuperadora de Desperdicios, Compañía Weatherford.

#### **2.4 Recuperación de Cable.**

Como vimos anteriormente, hay operaciones las cuales se pueden realizar con cable y mencionamos también cuales son los posibles trabajos que se pueden realizar. Existen algunas consideraciones que se deben tomar en cuenta antes de correr un cable al pozo, entre ellas las más importantes son: el diámetro del cable, el peso por unidad de longitud, la resistencia a la ruptura, el alargamiento por unidad de longitud y el grado de temperatura máxima que puede soportar. Tomando en cuenta estas consideraciones se cree que el rendimiento del cable sería el óptimo, pero un gran porcentaje de rupturas de cable se debe a la fatiga; es por eso que el fabricante recomienda un periodo en el cual se debe hacer pruebas para comprobar su resistencia. Cualquiera que sea la causa de ruptura obstruirá el pozo e impedirá trabajos futuros en el mismo.

La herramienta utilizada para recuperar cables se llama Arpón para cables, es de construcción sencilla y se representa en la figura 7. Este arpón es adaptado para este tipo de pesca porque opera bajo el mismo principio de enganche del resto de herramientas y lo más importante es que puede ser adaptado a tubería o wireline para alcanzar el tope superior del pescado. Como toda herramienta tiene sus dificultades y esta es que se debe tener cuidado durante la operación de este pescante a fin de no sobrepasar mucho cable, la cual puede apilonarse encima de la herramienta y hacer que ésta quede aprisionada, complicando las operaciones.



Figura 7.- Arpón para Cables, Compañía Weatherford.

## 2.5 Funcionamiento de Herramientas Auxiliares

### Zapata Guía.

Siendo solo una herramienta de suplemento, es más que una herramienta individual, provee una función muy importante. Se usa con el pescante cuando el pescado está recostado contra las paredes del pozo; con este auxiliar, mediante rotación, es posible enderezar y colocar en posición el pescado a fin de que el pescante pueda engancharlo.

Existen dos tipos de zapatas que son las más utilizadas y son: zapatas guías llanas y zapatas guías fresadoras. Un ejemplo de este tipo de zapatas se presenta en la figura 8.



Figura 8.- Zapata Guía, Compañía Weatherford.

### Junta de Seguridad.

Representada en la figura 9. Es una eficiente herramienta auxiliar para todas las operaciones de perforación y pesca. Ejerce una capacidad de torsión de la sarta en ambas direcciones, suelta solamente cuando su torsión a la izquierda supera los límites de la misma, la cual es menor que el resto de acoplamientos.

Como sugiere su nombre, es un dispositivo para efectuar la liberación de la sarta de pesca del pescado; cuando este último no puede ser halado y recuperado. Aunque el pescante de enchufe u overshot y el arpón están diseñados para liberarse en tales casos, la junta de seguridad le agrega éxito para lograrlo.

Las juntas de seguridad generalmente se las utiliza junto con pescantes rabo de rata y collarín de dados para así poder soltar el pescado cuando no puede ser recobrado. La junta de seguridad es simplemente una conexión de enrosque controlado, asegurando que la junta será la primera en soltarse en lugar de las herramientas y tubería encima de ella. Por esta razón, las juntas de seguridad deben armarse con precaución.



Figura 9.- Junta de Seguridad, Compañía Weatherford.

## 3 DISEÑO DE LAS HERRAMIENTAS DE RECUPERACION.

Aquí definiremos los pescantes diseñar en base a lo investigado anteriormente y a la necesidad de la Compañía. Del análisis estadístico sabemos que los problemas más frecuentes en Pacifpetrol S.A. son la pesca de tubería y pesca de la herramienta de producción denominada Herramienta Local.

### 3.1 Identificación del problema a Resolver.

Primero analizaremos el caso de la pesca de tubería suelta. Nos podemos encontrar con tubería de 2 3/8 y 2 7/8 pulgadas de diámetro suelta en los pozos debido a fallas en las uniones o por la vibración en los sistemas de Swab y bombeo mecánico. Ver figura 10.

Diam. Nomin. Tubo (pulg)	Peso (Lbs/pie)	Diámetro Externo (pulg)	Espesor de Pared (pulg)	Diámetro Interno (pulg)
2 3/8	4,00	2,375	0,167	2,041
2 3/8	4,70	2,375	0,190	1,995
2 3/8	5,95	2,375	0,254	1,867
2 3/8	6,60	2,375	0,295	1,785
2 3/8	7,45	2,375	0,336	1,703
2 7/8	6,50	2,875	0,217	2,441
2 7/8	7,90	2,875	0,276	2,323
2 7/8	8,70	2,875	0,308	2,259
2 7/8	9,45	2,875	0,340	2,195
2 7/8	10,5	2,875	0,392	2,091
2 7/8	11,5	2,875	0,440	1,995



Figura 10.-Tubería de 2 7/8 de pulgada utilizada para la extracción de petróleo en los métodos de Bombeo Mecánico y Pistoneo de Swab.

Las especificaciones de las tuberías que se detallarán a continuación (ver tabla I) fueron tomadas de la Norma API SPEC 5CT (Specification for Casing and Tubing), dentro de las cuales se encuentran las dimensiones de las tuberías existentes en Pacifpetrol.

Tabla I.- Especificación para Tubería de Revestimiento y Producción.

Tenemos entonces, de los datos de campo, para la tubería de 2 3/8 de pulgada los pesos por unidad de longitud son de 4 y 4,7 Lbs/pie y para la tubería de 2 7/8 de pulgada el peso es de 6,5 Lbs/pie, siendo éste el mayor peso por unidad de longitud a recuperar.

Veamos ahora a la Herramienta Local (HL) como elemento obstruyente. La forma de su extremo superior es la mostrada en la figura 11 (unión cable-HL), la misma tiene un diámetro de 1 3/8 de pulgada. Como se mencionó anteriormente, la HL tiene diferentes diámetros para almacenar diferentes cantidades de crudo, dependiendo de cada pozo, pero su extremo superior será el mismo.



Figura 11.- Parte Superior de la Herramienta Local.

El peso aproximado de la herramienta de producción varía según su diámetro, así para las dimensiones de 3, 4 y 6 pulgadas de diámetro su peso es de 56, 68 y 90 libras respectivamente (249, 302 y 400 Newtons).

En cuanto al material de esta unión se conoce (Análisis metalográfico previo) que es un acero de bajo carbono AISI 1010 cuyas propiedades típicas se presentan a continuación:

Tabla II.- Propiedades Químicas Acero AISI 1010

C, %	Mn, %	P (max), %	S (max), %
0.08-0.13	0,30-0.60	0,04	0,05

Tabla III.- Propiedades Físicas Acero AISI 1010

Resistencia Tracción Kgf/mm <sup>2</sup> (Mpa)	Límite Fluencia Kgf/mm <sup>2</sup> (Mpa)	Alargam. 50 mm %	Dureza Brinell
40 (392,3)	30 (292,2)	39	109

### 3.2 DISEÑO DE FORMA.

Para proceder a realizar el diseño de forma seleccionaremos los pescantes a ser diseñados. Primero, para recuperar la HL necesitaremos un pescante que lo pueda agarrar externamente, debido a que su extremo superior es macizo. Los pescantes indicados para recuperar este tipo de pescados como vimos en la sección 2 son el Enchufe y el Collarín de Dados. Segundo, para recuperar tubería internamente tenemos el Arpón y el pescante Rabo de Rata. A continuación realizaremos comentarios para determinar la fiabilidad de cada uno de ellos.

De un análisis general tenemos que manufacturar los componentes de los pescantes de Enchufe y Collarín de Dados es complicado en nuestro medio, de esta manera no serviría de mucho diseñar este pescante sabiendo de que no será factible construirlo. Por otro lado, tanto el Collarín de Dados como el pescante Rabo de Rata poseen la característica de ser utilizados para recuperar objetos de diferentes diámetros, siempre y cuando estos diámetros estén dentro de su rango. En cuanto a la eficiencia podemos decir que el pescante de Enchufe y el Arpón son los más seguros porque están diseñados para formar un sello al momento de enganchar, impidiendo que se suelte incluso en casos donde se requiera halar y golpear bruscamente y por último en lo que respecta a la rapidez de enganche siguen siendo superiores porque solo dependen de ubicar el pescado en la posición de enganche y bajar con peso, en cambio el Collarín de Dados y el pescante Rabo de Rata además de ubicar en la posición de agarre se le tiene que aplicar torsión para formar la rosca que permitirá levantar el objeto.

De lo expuesto anteriormente no quiere decir que siempre el Collarín de Dados y el pescante Rabo de Rata van a ser mejores que el Arpón y el Enchufe, incluso estos últimos son los más utilizados en la Industria debido a sus dispositivos de liberación, aspecto no considerado debido a que en los pozos de Pacifpetrol S.A. no se producen pegas. Entonces para el diseño consideraremos la construcción del pescante Rabo de Rata y Collarín de Dados.

El Collarín y el pescante Rabo de Rata son herramientas de principios de operación similares a las de una Tarraja y un machuelo, respectivamente. La particularidad de estas herramientas es que su rosca no es recta sino que tiene forma cónica y obedecen a la Norma ASME B1.20.1. La cantidad de hilos por pulgadas de estas roscas se presenta en la siguiente Tabla.

Tabla IV.- Propiedades Roscas NPT

(n)	(H)	(h)	(f)	(F)
27	0,03208	0,02496	0,0012	0,0014
18	0,04811	0,03833	0,0018	0,0021
14	0,06186	0,05071	0,0024	0,0027
11.5	0,07531	0,06261	0,0029	0,0033
8	0,10825	0,09275	0,0041	0,0048

Donde:

n es el número de hilos por pulgada.

H es la altura del diente.

h es la altura truncada.

f es la truncación horizontal.

F es la truncación vertical.

Para el caso del diseño se seleccionará un número de hilos por pulgada de 11.5 para el pescante Rabo de Rata y 18 para el Collarín de Dados.

### 3.3 ANÁLISIS DE ESFUERZOS.

El procedimiento a seguir en el diseño es recurrir a las herramientas convencionales de diseño, específicamente al diseño de sujetadores roscados. El análisis de esfuerzo nos lleva a considerar dos puntos claves que son: los esfuerzos en la rosca y los esfuerzos en el núcleo de la herramienta. Detallaremos el diseño del pescante Rabo de Rata y por tratarse de herramientas similares obviaremos el diseño del Collarín de Dados.

La herramienta deberá ser capaz de levantar al menos 4000 pies de tubería, entonces:

$$W_t = 6,5 \text{ Lbs/pie} \times 4.000 \text{ pies}$$

$$W_t = 26.000 \text{ Lbs} \quad \text{Peso en Tensión que soportará la herramienta.}$$

Los esfuerzos en el núcleo pueden calcularse considerando que las cargas son soportadas por el cilindro desnudo (despreciando el aumento de

resistencia por efecto de la rosca). Dos esfuerzos estarán presentes aquí, Torsión y Compresión.

El peso de la columna de tuberías arriba de la herramienta será:

$$W_c = 4,7 \text{ Lbs/pie} \times 4.000 \text{ pies.}$$

$$W_c = 18.800 \text{ Lb.}; \text{ Peso en compresión que soportará la herramienta.}$$

El esfuerzo cortante torsional se lo calcula empezando por la fórmula principal

$$\zeta = (Tr)/J ; \text{ para un eje macizo.}$$

$$J = (\pi/32) \times d^4 ; r = r_i \quad d = d_i .$$

Entonces

$$\zeta = (2T) / (\pi r_i^3); r_i = \text{menor diámetro tubería interna.}$$

$$\zeta = 11980 \text{ psi.}$$

El siguiente grafico muestra la combinación de esfuerzos

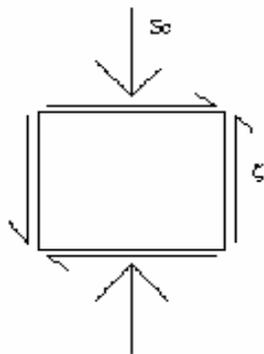


Figura 12.- Estado de Esfuerzos Combinados en el Núcleo.

Analizando los esfuerzos combinados mediante el círculo de Mohr tenemos:

$$\zeta_{\max} = 12.860 \text{ psi.}$$

$$\sigma_1 = 8.185 \text{ psi.}$$

$$\sigma_2 = -17.535 \text{ psi.}$$

Los esfuerzos en la rosca se calculan considerando que la rosca es una viga corta en voladizo proyectada desde el núcleo, ver figura 13. La carga sobre la viga se toma como la carga axial de la herramienta  $W_t$ , concentrada

en el radio de paso, esto es en la mitad de la altura  $h$  del diente de la rosca. El ancho de la viga es la longitud de la rosca (medida en el radio de paso) sometida a la carga.

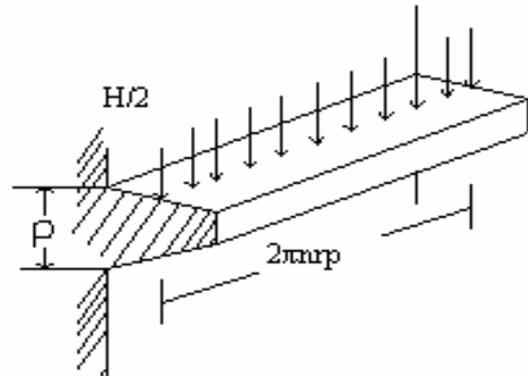


Figura 13.- Diagrama de Fuerzas en la Rosca.

Con esta hipótesis el esfuerzo de flexión  $S_f$  en la base de la rosca es aproximadamente:

Con  $n = 11,5$  hilos/ pulg. ; Característica de la rosca.

$$S_f = (3 W_t H) / (2 \pi z r_m p^2 (0,80));$$

Siendo:

$$p = 0,08696 \text{ in.} \quad \text{Paso de la rosca.}$$

$$z = 5 \quad \text{Numero de roscas sometidas a la carga.}$$

$$H = 0,0753065 \text{ in.} \quad \text{Altura del diente (Tabla IV).}$$

$$(0,80) \quad \text{factor de corrección debido a las ranuras o canales.}$$

Para mayor precisión en los cálculos se debe reemplazar  $r_m$  por  $r_i$  de manera que el esfuerzo por flexión será:

$$S_f = 38.633 \text{ psi.}$$

Debido a la carga en tensión  $W_t$  actuando en la rosca, un cortante transversal aparecerá en la unión núcleo-rosca. Por definición la relación sería:

$$\zeta_s = V / A ; \text{ donde } V = W_t \text{ y } A \text{ es el area de la unión núcleo-rosca.}$$

$$A = 2 \pi n (r_i) \times p \times \Psi$$

$$\Psi = 0.8 \text{ valor dado para roscas NPT}$$

$$\zeta_s = 14.870 \text{ psi}$$

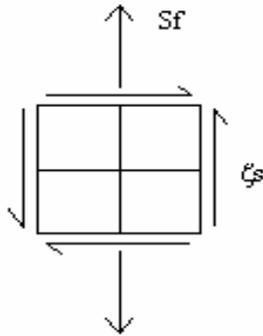


Figura 14.- Estado de Esfuerzos Combinados en la Rosca.

Resolviendo mediante el círculo de Mohr obtenemos los siguientes resultados:

$$\zeta_{\max} = 24.377 \text{ psi.}$$

$$\sigma_1 = 43.694 \text{ psi.}$$

$$\sigma_2 = -5.061 \text{ psi.}$$

#### CRITERIOS DE FALLA.

Ahora analizaremos los requerimientos que deberá tener el material con que será diseñada la herramienta para soportar los esfuerzos aplicados. Nos limitaremos en comprobar el diseño estático mediante la teoría de falla del Esfuerzo Efectivo de Von-Mises.

El esfuerzo efectivo de Von-Mises se define como aquel esfuerzo a tensión uniaxial que generaría la misma energía de distorsión que la que se produciría por la combinación real de los esfuerzos aplicados.

$$\sigma^I = (\sigma_1^2 - \sigma_2 \sigma_1 + \sigma_2^2)^{1/2} \quad \text{Ec. 1}$$

$$\eta = S_y / \sigma^I \quad \text{Ec. 2}$$

De igual manera tomamos  $\eta = 1.5$  para obtener:

Para los esfuerzos en el núcleo necesitaremos un material con un límite de fluencia mayor o igual a:

$$S_y = 34.139 \text{ psi.}$$

$$\text{Con } \sigma_1 = 8.185 \text{ psi.} \quad (\text{Ec. 1 y Ec. 2})$$

$$\sigma_2 = -17.535 \text{ psi.}$$

Para los esfuerzos en la rosca necesitaremos un material con un límite de fluencia mayor o igual a:

$$S_y = 69.648 \text{ psi.}$$

$$\text{Con } \sigma_1 = 43.694 \text{ psi.}$$

$$\sigma_2 = -5.061 \text{ psi.}$$

#### 3.4 SELECCIÓN DEL MATERIAL.

De las propiedades de los materiales sabemos que la herramienta se diseñará con un acero aleado, para mejorar sus propiedades mecánicas. Las compañías comerciales nos presentan algunos aceros con estas características, muchos de ellos con un contenido de carbono que sobrepasa el 0,9%. Así tenemos entre los aceros más comunes AISI/SAE 01, acero CALMAX, acero XW-5, acero XW-41 y por último el acero AISI 8620 para cementación.

Las condiciones de carga para la herramienta Rabo de Rata exigen que sea bastante duro en la superficie para poder cortar la tubería y a su vez sea capaz de soportar todo el peso de las tuberías a tensión, en otras palabras, el material deberá poder ser tratado térmicamente para alcanzar una dureza externa elevada y conservar en el núcleo una tenacidad considerable.

El acero que cumple con estas características es el AISI 8620 (ó 7210, designación comercial), un acero aleado para cementación, con un núcleo de alta resistencia. Se utiliza en casos donde se requiere alta dureza y resistencia al desgaste superficial.

#### 3.5 TRATAMIENTOS TÉRMICOS REQUERIDOS.

Como describimos en la sección anterior, el tratamiento térmico ó termoquímico requerido para las herramientas es la cementación.

Los tratamientos térmicos a seguir en la herramienta son:

- Alivio de Tensiones.
- Cementación y Temple.
- Revenido.

##### Alivio de Tensiones

Una vez que la herramienta se ha maquinado, ha sufrido una deformación plástica en su contorno, lo que quiere decir que tiene esfuerzos residuales que es preciso aliviar. Un Distensionado ó Recocado es el primer tratamiento a seguir a fin de asegurar el buen desempeño térmico de la herramienta durante el

resto de tratamientos. Se coloca la herramienta en el horno a una temperatura entre 600 y 650°C, manteniéndolo así por dos horas. Luego se enfría en el horno a una velocidad máxima de 15°C por hora hasta alcanzar 600°C, después libremente al aire.

### Cementación y Temple.

Debido a la mayor profundidad cementada que se puede alcanzar con la cementación gaseosa sin perder las propiedades que se esperan del núcleo, se considera ésta una mejor opción para las herramientas.

Para la cementación del pescante Rabo de Rata se mantendrá una temperatura de cementación de 900 a 950°C por 5 horas luego de lo cual se dejará enfriar en la caja a temperatura ambiente. Luego se recalienta a temperaturas entre 800 y 830°C y se templará en aceite. Con este procedimiento se alcanzarán profundidades de cementación de hasta 1.10 mm y porcentajes de carbono de en la superficie superiores al 1%, ver figura 15.

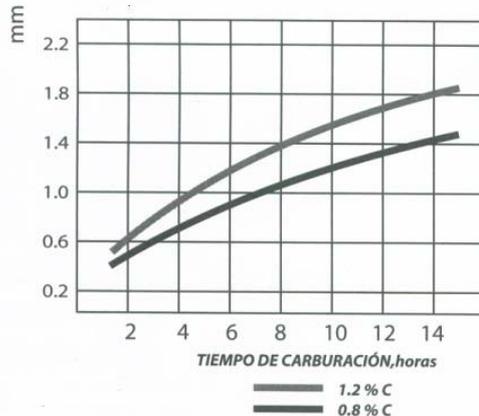


Figura 15.- Curvas de Carburización para el Acero 8620

### Revenido

El revenido es un tratamiento cuya misión es casi únicamente reducir tensiones. Se someten las piezas a temperaturas entre 160 y 200°C, manteniéndolas durante 1 ó 2 horas, luego de lo cual se obtendrá superficialmente durezas de 60 a 62 HRC, ver figura 16.

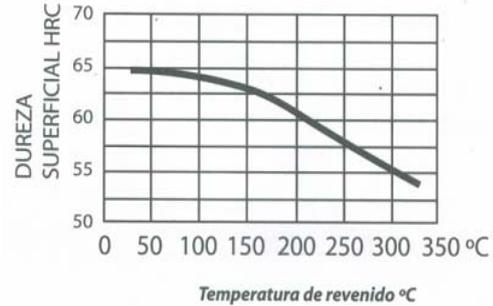


Figura 16.- Curvas de Revenido para el Acero 8620.

## 4 CONCLUSIONES

Mediante el Análisis Estadístico realizado al inicio del Capítulo 4, se pudo establecer las necesidades prioritarias de Pacifpetrol S.A. y las características que debían poseer las herramientas a diseñar, esto acompañado con un estudio de herramientas utilizadas en otros lugares da como resultado la elección de los pescantes Rabo de Rata y Collarín de Dados.

Aun cuando estas herramientas son similares a una tarraja y a un machuelo común, se debe diferenciar en el sentido de que estos últimos son diseñados únicamente para cortar y crear rosca, mientras que las herramientas diseñadas además de lo expuesto deben ser capaz de levantar un cierto peso, es por eso que la selección del material juega un papel importante en este diseño.

Para las condiciones de carga a las que estará expuesta la herramienta, el material mas indicado es un acero para cementación, cuya cualidad es alcanzar elevadas durezas superficiales necesarias para cortar y producir rosca manteniendo un núcleo tenaz.

En el diseño se prefirió cementar la herramienta en una atmósfera gaseosa debido a la mayor profundidad de la capa cementada que se logra y sobretodo a la uniformidad del porcentaje de carbono que se crea alrededor de la pieza.

El presente trabajo ha sido de gran importancia y utilidad ya que no solo permitió reducir el costo de la compra de la herramienta sino también permitió adquirir experiencias y compartir conocimientos técnicos con los

profesionales tanto de Pacifpetrol S.A. como del Distrito Amazónico.

## RECOMENDACIONES

Utilizar las Zapatas Guías en las herramientas en el caso específico donde la tubería de revestimiento sea lo suficientemente espaciosa, con esto reduciremos la posibilidad de quedar atrapado todo el conjunto dentro del pozo, sobretodo en las secciones donde hay cambio de diámetro en el revestimiento.

Existen ocasiones donde el nivel de petróleo en el pozo es suficiente para estar presente en el corte y actúa como lubricante, en caso contrario es recomendable la aplicación de grasas o aceites sobre la herramienta a fin de reducir la fricción y aumentar la vida útil de la pieza.

Al momento de cortar y hacer rosca con la herramienta no exceder un número máximo de vueltas que en el caso del pescante Rabo de Rata es y Collarín de Dados es 20 vueltas y un mínimo de 8 asegurando así que por lo menos 5 dientes soporten la carga a elevar.

La fabricación de al menos 2 herramientas con estas características por la cantidad de pozos existentes en la Península, de esta forma evitaremos la pérdida de tiempo si se da el caso de que alguna de ellas esté en operación.

Es importante que se siga manteniendo el convenio existente entre la ESPOL y Pacifpetrol S.A., ya que de esta manera permite a los estudiantes realizar sus practicas vacacionales y a los egresados desarrollar temas de investigación que son de interés para el país.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**1. P. MINCHALA** (2006). "Diseño de Dos Herramientas de recuperación para la recuperación de Obstrucciones en los pozos de Pacifpetrol S.A."

**2. JOE DeGEARE, DAVID HAUGHTON, MARK McGURK**, "The Guide to Oilwell Fishing Operations" (Publicado 2003)

**3. NORTON**, "Diseño de Máquinas" (2da. Edición, 1995)

**4. MANUAL DEL INGENIERO MECANICO**, Volumen 1 y 2, 1980.

**5. AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE**, "Specification for Casing and Tubing, API 5CT", Sexta Edición, 1999.

**6. AMERICAN NATIONAL STANDARD**, "Pipe Threads, General Purpose" ANSI/ASME B1.20.1, 1983.

**7. MANUAL DE MATERIALES DE INGENIERIA**, Compañía Iván Bohman C.A., 2006.