

**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
UNIVERSIDAD DEL PERÚ - DECANA DE AMÉRICA**

**Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Metalúrgica**



***“USO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN LA CONFECCIÓN Y/O
REPARACIÓN DE TRÉPANOS PARA OPERACIONES ESPECIALES DE
WORKOVER EN POZOS PETROLEROS.”***

**INFORME DE EXPERIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR TÍTULO DE:
INGENIERO METALÚRGICO**

Bach. Clemente Rafael Palacios Zapata

**LIMA – PERÚ
2012**

OBJETIVO GENERAL

Confeccionar y/o reparar trépanos para operaciones especiales de workover en pozos petroleros utilizando el carburo de tungsteno.

INTRODUCCIÓN

El Carburo de wolframio o Carburo de tungsteno es un material cerámico compuesto por Wolframio y Carbono. Pertenece al grupo de los carburos cuya composición química es W_xC_x $x = 3$ y 6 . Dependiendo del tipo de aleación, se está empleando, sobre todo, en la elaboración de herramientas de corte con aplicación en aleaciones ferrosas y no ferrosas.

Durante mucho tiempo se ha buscado un material que pueda soportar temperaturas elevadas y materiales abrasivos durante su trabajo para distintas aplicaciones industriales, siendo el carburo de wolframio o carburo de tungsteno gracias a un sin número de pruebas y trabajos realizados el que ha demostrado ser uno de los más resistentes. El cual está siendo empleado en la industria petrolera, en perforación, trabajos especiales en workover, por ello el éxito de este primer metal duro fue inmediato.



Insertos de carburo de tungsteno Bits

Aunque su costo de producción sea elevado, es más económico que el diamante, y como se menciono anteriormente una de sus bondades es que frente a los demás metales duros tiene la ventaja de mantener su dureza incluso a elevadas temperaturas.



Diamante natural



Insertos de Carburo de Tungsteno

Teniendo en cuenta que no todas las formaciones litológicas a perforar tienen las mismas características de compactación, dureza, etc., se diseñaron las brocas con insertos de carburo de tungsteno, siendo este material más resistente a la abrasión y desgaste que pueden generar dichas formaciones.



Broca tricónica con insertos de Carburo de Tungsteno.

La importancia de este trabajo radica en la preparación de trépanos con insertos de carburo de tungsteno, que son utilizados en trabajos especiales de reparación de pozos que son afectados por algún daño al momento de su intervención, crear tecnología propia utilizando los materiales existentes en el mercado, porque existe poca información al respecto de la fabricación o reparación de estas herramientas, esperando que en el futuro se incremente tecnología propia.



Matriz en acero especial.

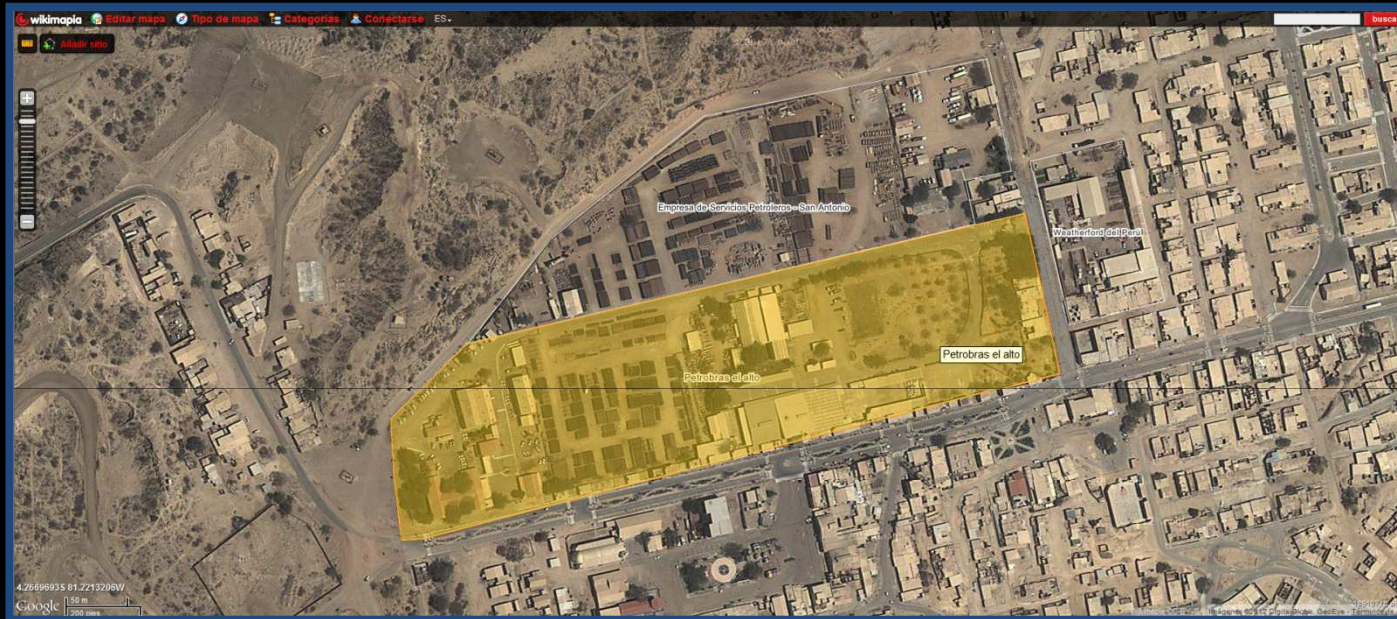
Relleno con Carburo de Tungsteno

Junk Mill – Trépano plano, enriquecido con Carburo de Tungsteno, usados en Operaciones especiales de Workover.



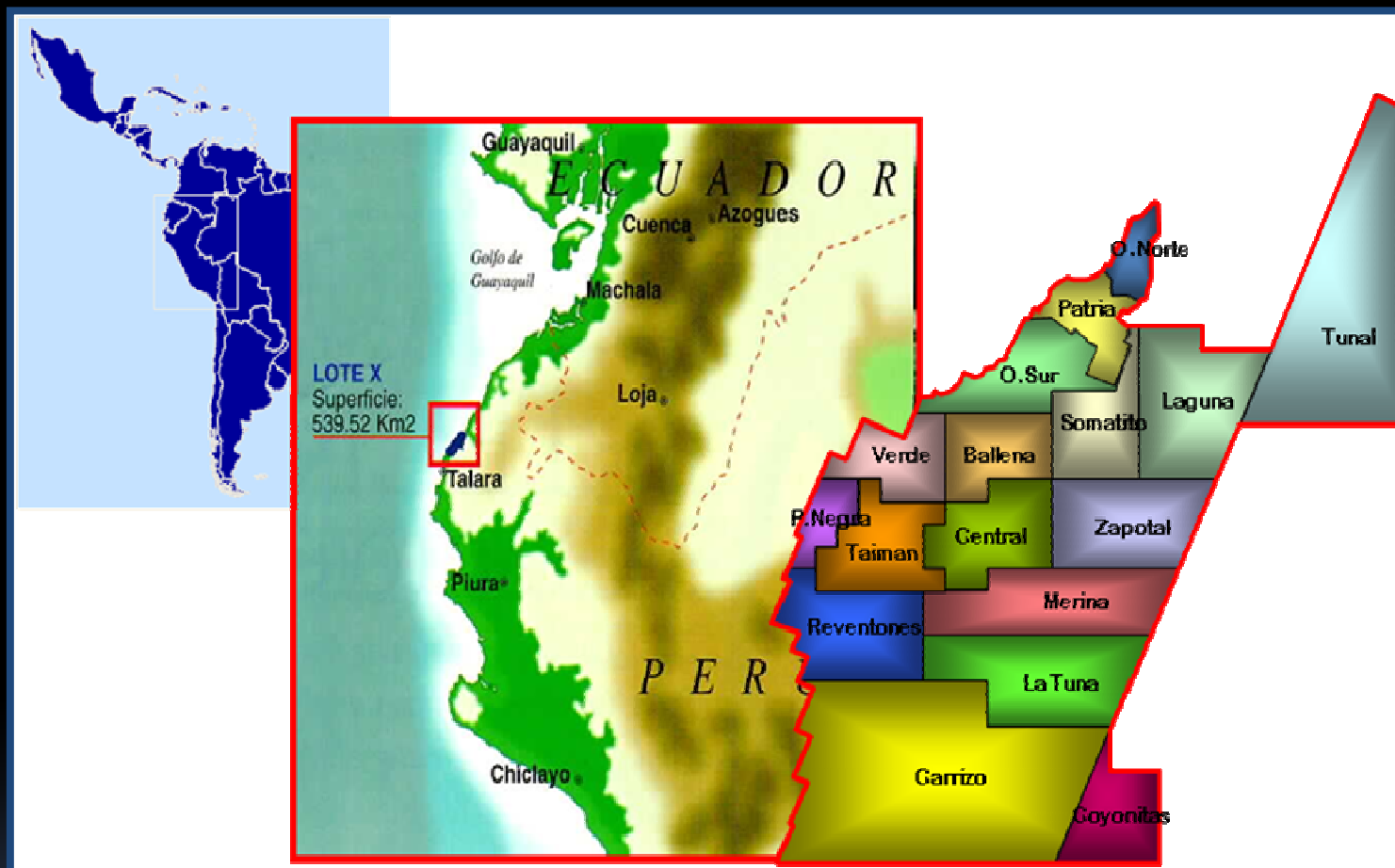
Diseño de intervención de un pozo afectado por un daño y tipo de herramientas a utilizar para su reparación.

UBICACIÓN Y DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD PETROLERA

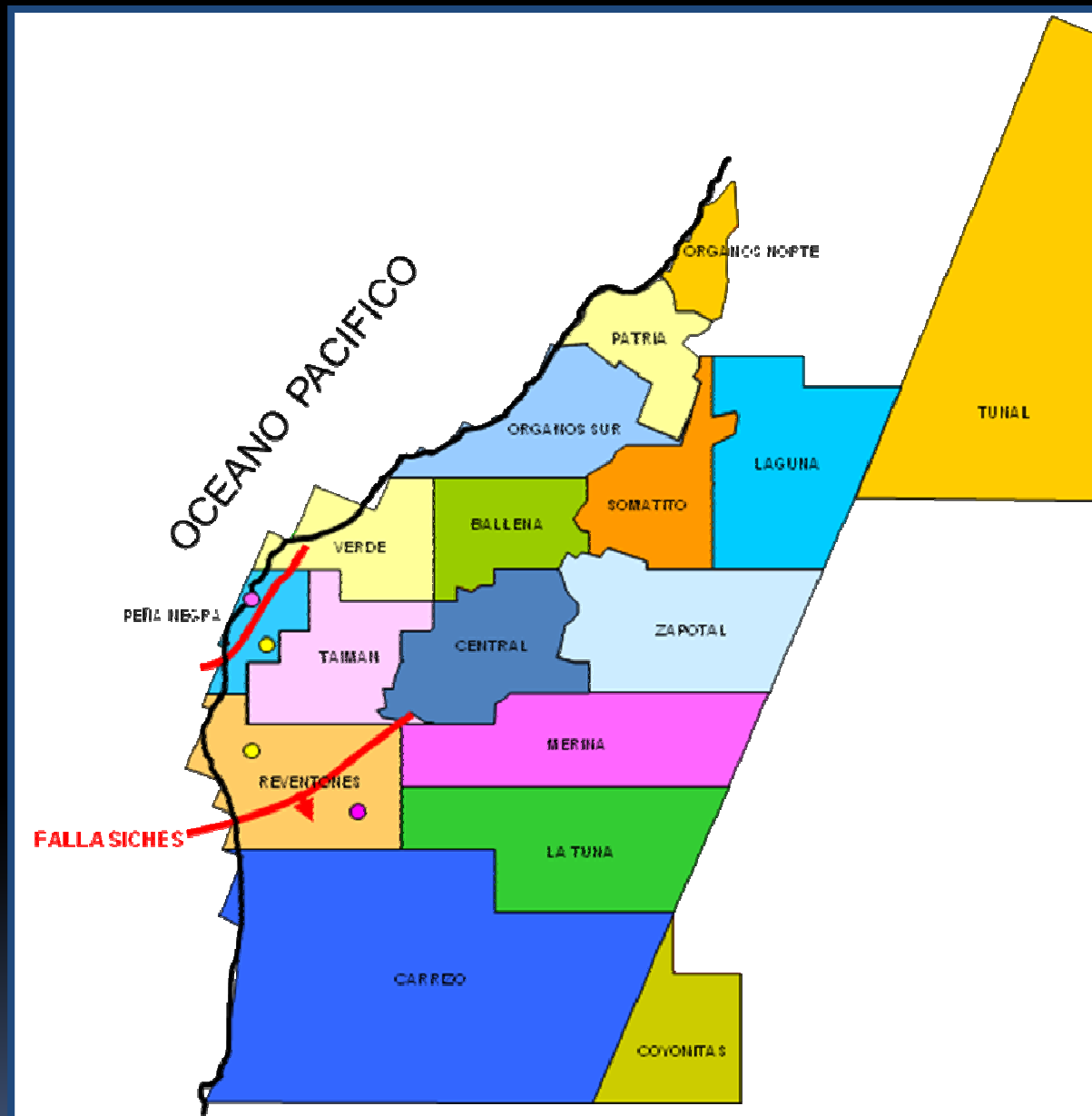


Campamento PETROBRAS – El Alto

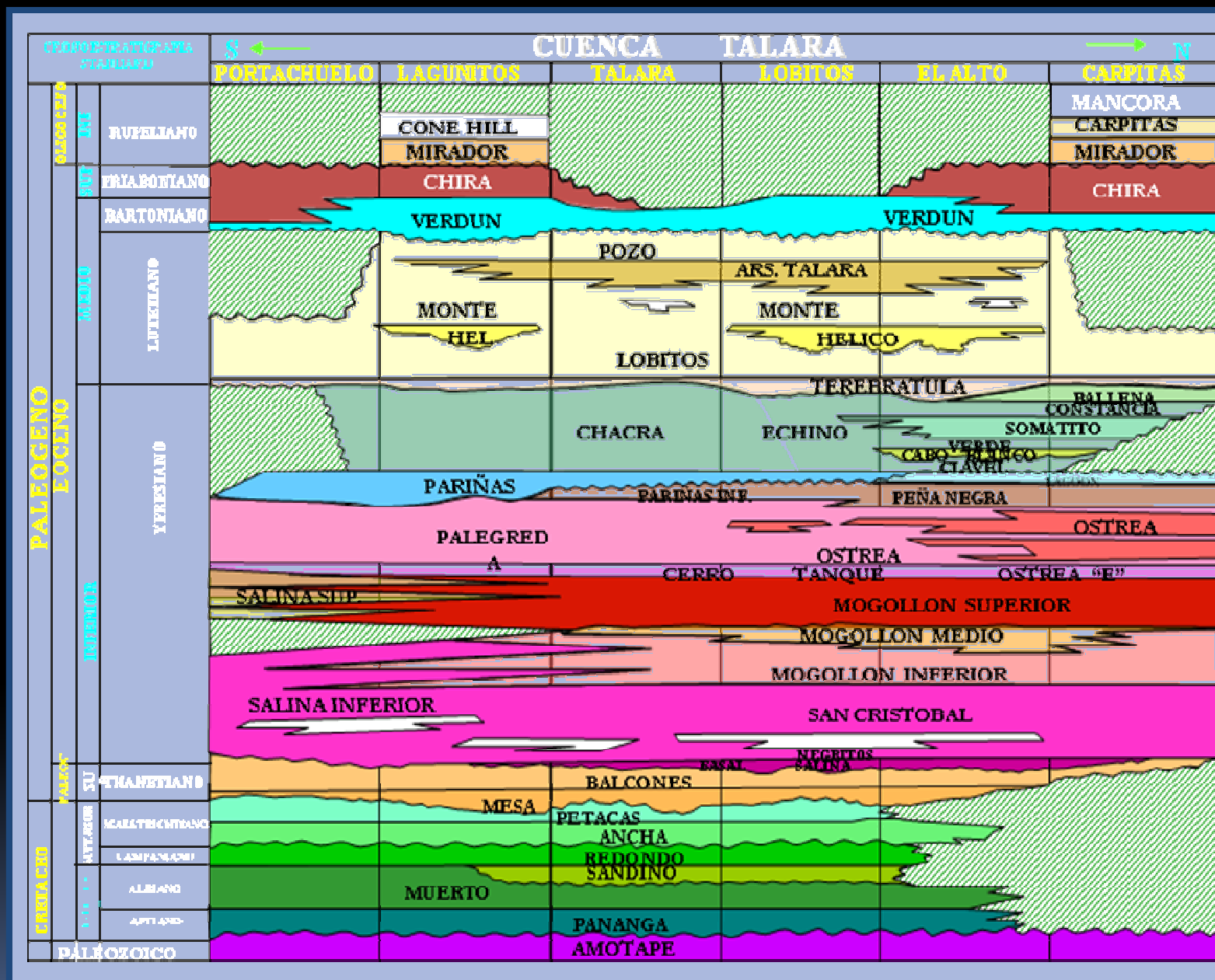
Coordenadas: 4°16'2"S 81°13'16"W, donde está ubicado el centro de operaciones de Petrobras.



Cuenca Talara – Lote X. Ubicación de los Yacimientos.



Columnas Estratigráficas – Estructurales por Yacimientos – Lote X – Talara.



Columna Estratigráfica: Formaciones que actualmente se están produciendo.



Taladro de Perforación automático que opera en el Lote X – Talara.



Equipo de workover.



Vista panorámica de equipo de workover.

ASPECTOS TEÓRICOS

Diagrama Fe-C

Los aceros que comúnmente usamos en la industria petrolera obedecen a una estructura cristalina, que dependen de la temperatura y porcentaje en peso (%C) de carbono utilizado para obtener la estructura deseada, según el trabajo que se desee realizar, a continuación adjunto el diagrama Fe-C, no para discutirlo si no para ubicarnos cuando hablemos del tipo de acero que requerimos para preparar la matriz de las herramientas. (Woods & Jefferson 1961). Es importante indicar que las piezas de acero que utilizamos en PETROBRAS – El Alto, contienen entre 0.34 – 0.41% de C. (%C indicado por líneas rojas.)

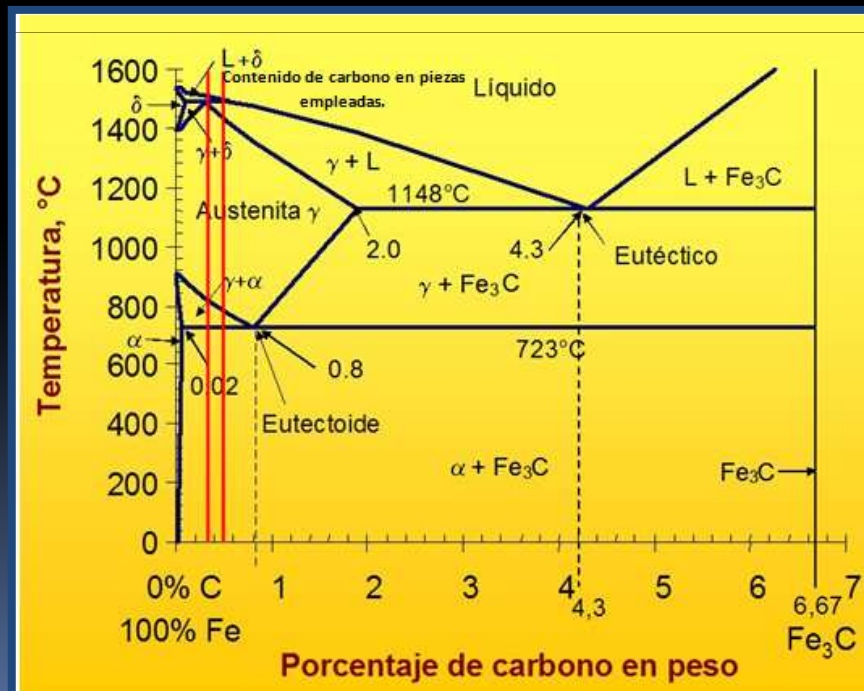
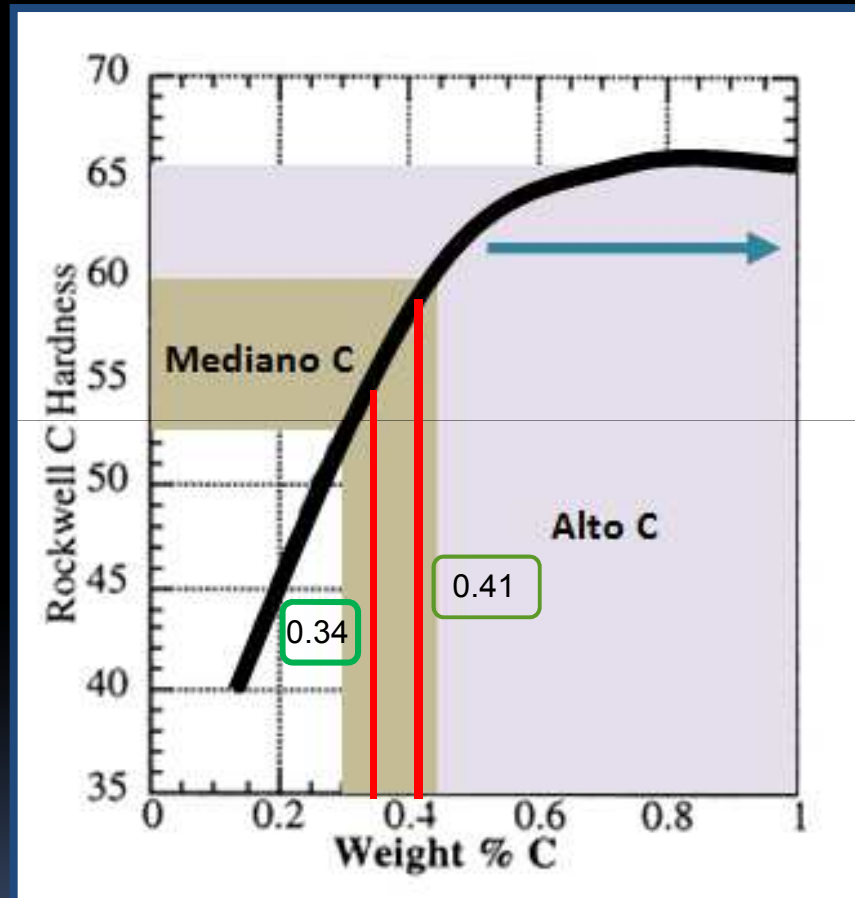


Diagrama de fases de Fierro

Los aceros de mediano carbonos son aquellos que contienen entre 0.30 y 0.45% en peso de carbono y los de alto carbono contienen de 0.45 a 1.7% en peso de carbono, teóricamente hablando. (Van Vlack, 1974 y Guy, 1970).



Efectos del carbón en la dureza de un acero.

Composición de los aceros (Matriz)

La matriz de aceros usados para la elaboración de herramientas empleadas en Work Over, son aceros de tipos de aleación:

C (0.34 y 0.41) % , Cr (1,5 y 1,1 %), Ni (1,5 y 0) %, Mo (0,2 y 0,2) %, Si (0,30 y 0,2) %, Mn (0,50 y 0,7) %

Estos dos tipos de aceros aleados son los que actualmente empleamos en nuestras operaciones de campo.

Estos aceros se suministran en estado bonificado, lo que permite en la mayoría de los casos su aplicación sin necesidad de tratamiento térmico adicional.

En caso de querer dar tratamiento térmico a estos aceros, se deben cumplir las instrucciones indicadas por el proveedor. Por ejemplo para nuestros aceros en mención:

- Forjado 1050 – 850°C.
- Recocido 650 – 700°C.
- Temple al aceite 830 – 860°C.
- Revenido 520 – 680°C.
- Normalizado 850 – 880°C.

Es importante tener en cuenta que todos los aceros contienen menos de **1% Mn, 0.35% Si, 0.04% P, 0.005% S** y cantidades residuales de otros elementos de aleación, a menos que se incluya otro elemento en su composición.

Herramientas

Las herramientas que se preparan con matriz de los aceros indicados en Operaciones de Work Over son:

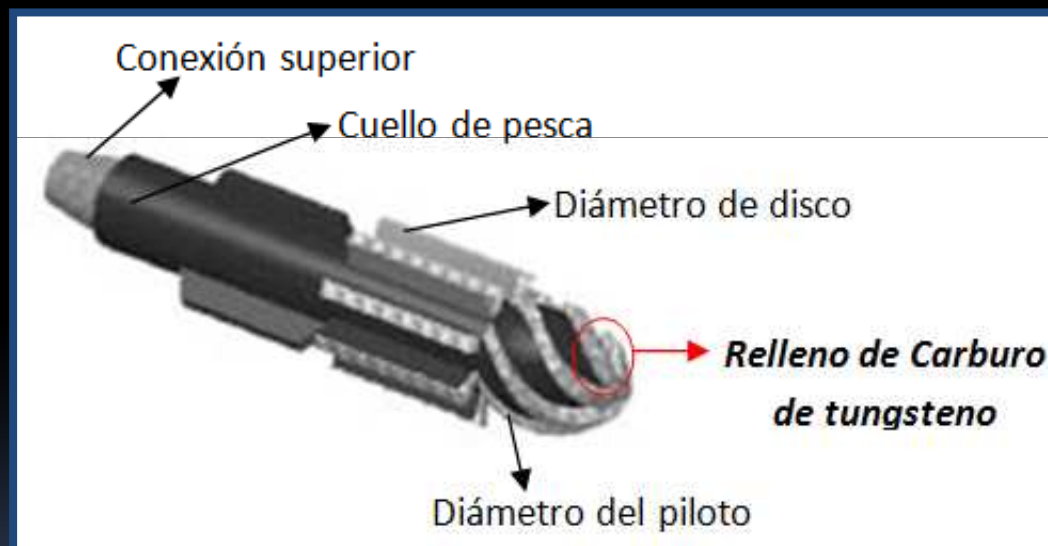
Trépano Plano – Junk Mill



Relleno con Carburo de Tungsteno.

Pilot Mill:

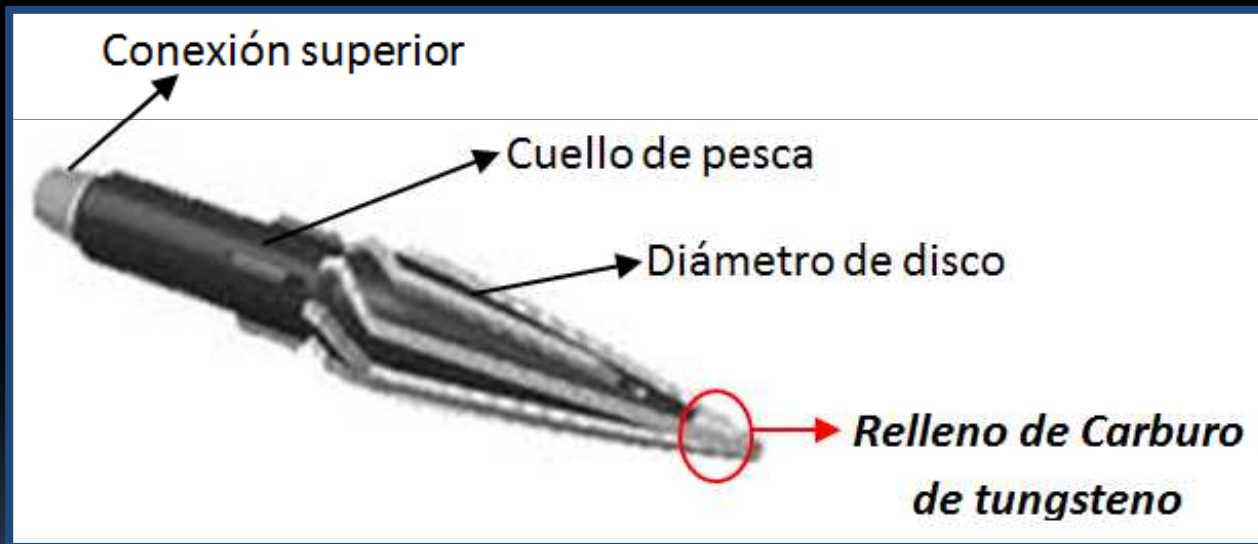
Son adecuados para el fresado de las secciones de obstrucciones tubular y puede ser utilizado como un Trépano de vestir para la instalación de un parche carcasa. Pueden ser utilizados para la reparación y como herramientas de línea en el fondo del pozo petrolero.



Elementos del Pilot Mill

Taper Mill:

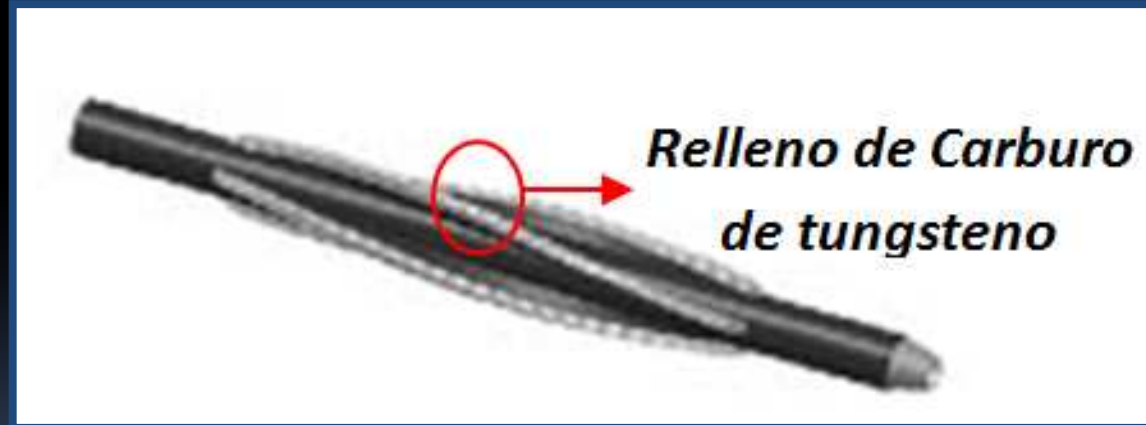
Están diseñados específicamente para reparación a través de espacios estrechos en los tubulares. Estos son recomendados, para la limpieza de los revestimientos, tuberías y otros tubulares que se han derrumbado o deformado. También se puede emplear delante de otras herramientas de fresado para limpiar los tubulares (Casing de producción).



Elementos del Taper Mill

String Taper Mill:

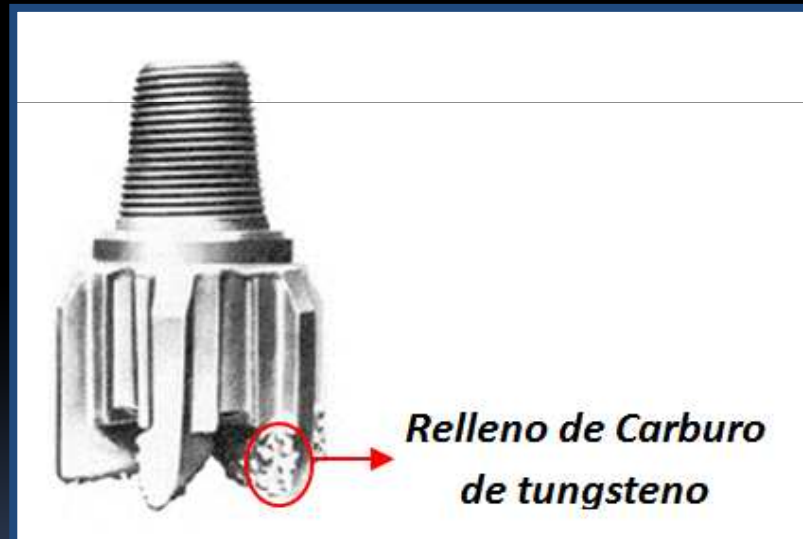
Son ideales para la limpieza de revestimientos de daños en las paredes del casing de producción, también se recomienda para la eliminación de obstrucciones en el agujero abierto. El diseño se estrecha desde la parte superior y la parte inferior del Trépano, permitiendo operaciones en ambas direcciones. Su precisión y caja de conexiones permiten al Trépano ser instalado en una cadena de cuello de perforación o en combinación con un conjunto de pilots más pequeños para evitar la desviación lateral al quitar obstrucciones en los Trépanos cónicos casing.



String Taper Mill

Econo Mill:

Se usa en operaciones de workover para perforar tapones, depósitos de carbonatos o romper depósitos de arena compactadas en el fondo del pozo, utilizando los mismos parámetros de trépanos usados en operaciones especiales de workover.



Econo Mill

Fundamento de un Trépano

El calzado de un trépano depende del tipo de trépano a usar y de la reparación que se va a ejecutar en un pozo petrolero.

Los trépanos son preparados con un metal duro usando la matriz indicada, este material es el Carburo de tungsteno que en escala de dureza esta después del Diamante, por esta razón es usado en la industria petrolera (perforación y workover). Es una aleación de: **82% de tungsteno, 12% Cobalto y 4% de carbono.**

Para adherirlo a la matriz usamos soldadura de bronce niquelado, aplicando el proceso de soldadura oxiacetilénico.

Procedimiento: Soldadura oxiacetilénico

En este procedimiento de soldadura, el calor necesario para soldar, es decir, para calentar las piezas y el metal de aportación y fundirlas, procede de una llama de alta temperatura obtenida por la mezcla y combinación del acetileno con el oxígeno. **La llama oxiacetilénica genera temperaturas del rango de 5800 a 6300 °F**, dependiendo de la relación oxígeno-acetileno ambos gases se mezclan en proporciones apropiadas, en un soplete proyectado y construido en forma tal que el soldador tiene la posibilidad de regular por completo la llama, ajustándola a las necesidades del trabajo.

Para nuestro caso soldar en los que el metal de aportación es un metal o aleación no ferrosa cuyo punto de fusión esta encima de los **1000°F (537.78°C)**, pero es más bajo que la matriz donde se va a depositar (como relleno).

En conclusión, el metal base no llega a fundir pero el metal de aportación fluye fundido entre su superficie para generar un enlace o unión molecular de excelente resistencia.

Tipos de Soldaduras que se usara para la reparación y confección de un trépano.

Soldadura Usada para la fabricación y reparación de herramientas en la industria petrolera (perforación y Work Over):

- **Varilla compuesta de fragmentos de carburo de tungsteno sinterizado en una matriz dúctil de cobre-zinc-níquel:**

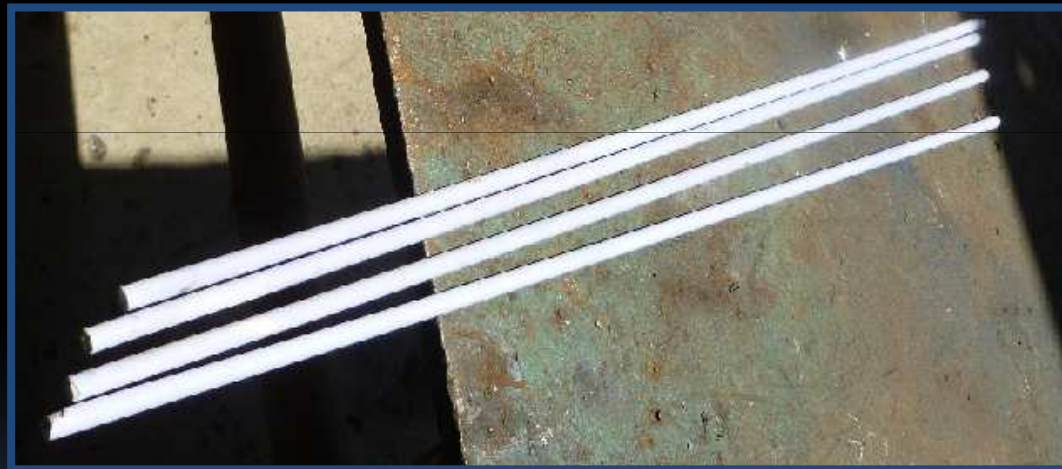
La aplicación oxiacetilénica, asegura la fijación de las partículas de carburo de tungsteno. Disponibles en dos grados: para corte y para abrasión. (Tecno Weld, 2011).



Varillas de Carburo de Tungsteno en matriz de bronce.

- **Varillas de Bronce-Níquel de baja expulsión de humos con 10% Níquel:**

Aplicación, para soldadura oxiacetilénico por sus altas características mecánicas y son usadas de preferencia con otras aleaciones de soldadura. Una aplicación es como aglutinante para partículas de carburo de tungsteno.



Varillas de bronce – níquel

PARTE EXPERIMENTAL

El desarrollo experimental se realizó en la factoría SERMEPET S.R.L. ubicado en Talara Alta, distrito de Pariñas.

Se preparó un trépano plano que es una herramienta la cual se utilizará para realizar un trabajo específico en pozo petrolero que ha sufrido un daño en uno de los elementos que se encuentran cumpliendo una función en el pozo. El tipo de Material que se usó para preparar trépanos:

- Herramienta a preparar o reparar
- Tipo de acero (Matriz) a usar que cumpla: Contenido de carbono en su composición, alta resistencia al desgaste, alta resistencia a la tracción y alta dureza. Generalmente son aceros de mediano y alto contenido de carbono.
- Preparar el tipo de herramienta. Usando Torno y Fresa.
- Usar Equipo oxiacetilénica
- Varillas **Cu-48%, Ni- 10%, Si – 0.2%, Zn – 41.80%.**
- Varillas compuestas de fragmentos de carburo de tungsteno.

Esta relación es general para preparar ó reparar: Un Trépano ó Zapato Lavador.



Zapato Lavador reforzado con Carburo de Tungsteno.



Junk Mill reparado con Carburo de Tungsteno.

Procedimiento para preparar y/o reparar un trépano

Durante años han sufrido modificaciones tanto la matriz como la soldadura que se uso para efectuar la aplicación (relleno) con metal duro (carburo de tungsteno) de lo que va ser el trépano requerido: una matriz con alta dureza, resistencia al desgaste y resistencia a la tracción-Torsión. La soldadura debe tener propiedades de resistencia al desgaste por fricción. Se debe recordar que **estas herramientas** durante el trabajo que van a desempeñar en la reparación del pozo, **soportaran rotaciones entre 75 a 100 rpm, torques variantes entre 900 a 1800Lbs-pie torque**, temperatura del pozo, presión hidrostática y peso sobre el trépano.

Estos parámetros van a generar calor en el trépano que va a disminuir las propiedades mecánicas de la soldadura de bronce aplicada. Se le ayudara a la herramienta con bombeo de un fluido que desempeñara funciones como transportar lo perforado y de lubricar el trépano. De todas maneras habrá una energía residual que va ir generando un daño, al final se desprenderán los insertos de carburo de tungsteno por fatiga y se procederá a su reparación.

Ejecución en la preparación y/o reparación de un trépano: Modelo Trépano Plano (Tipo Junk Mill ó Concave Mill).

- Se confecciona la matriz (Trépano Nuevo) de lo contrario se repara el trépano:

La matriz se elabora, en un acero de tipo de aleación (AISI:4340): **C 0,34%, Cr 1,5%, Ni 1,5%, Mo 0,2%, Si 0,30%, Mn 0,50%.**

Estado de suministro: **bonificado 240 a 380 HB.** Es un acero especial de bonificación al Cromo Níquel molibdeno, altamente resistente a la tracción, a la torsión y cambios de flexión, insensible a sobrecalentamiento. Por su estado de suministro permitirá en la mayoría de los casos su aplicación sin necesidad de tratamiento térmico. **Contratamiento térmico se alcanzara dureza entre 52 a 56 HRC.** De igual manera se puede usar acero especial con bonificación con aleación de Cromo Molibdeno (AISI 4140): **C 0,41%, Cr 1,1%, Mo 0,2%, Si 0,2%, Mn 0,7%.**



Junk Mill - Trépano libre de material fatigado

Aceros de baja aleación – Son todos los aceros cuya suma total de los elementos de aleación no sobrepasan del 10 %, siendo hierro el restante. Los aceros que usamos para la confección o reparación de la Matriz son: A4140 y A4340.

Algunos de estos aceros son:

Acero AISI	Carbono	Manganeso	Niquel	Cromo	Molibdeno
A4023	0.20 – 0.25	0.70 – 0.90			0.20 – 0.30
A4042	0.40 – 0.45	0.70 – 0.90			0.20 – 0.30
A4068	0.63 – 0.70	0.75 – 1.00			0.20 – 0.30
A4140	0.38 – 0.43	0.75 – 1.00		0.80 – 1.10	0.15 – 0.25
A4150	0.48 – 0.53	0.75 – 1.00		0.80 – 1.10	0.15 – 0.25
A4320	0.17 – 0.22	0.45 – 0.65	1.65 – 2.00	0.40 – 0.60	0.20 – 0.30
A4340	0.38 – 0.43	0.60 – 0.80	1.65 – 2.00	0.70 – 0.90	0.20 – 0.30
A4615	0.13 – 0.18	0.45 – 0.65	1.65 – 2.00		0.20 – 0.30
A4620	0.17 – 0.22	0.45 – 0.65	1.65 – 2.00		0.20 – 0.30

ACEROS DE BAJA ALEACIÓN AL MOLIBDENO

- **Soldadura de Bronce al Níquel con revestimiento flexible (Cu-48%, Ni-10%, Si-0,2 %, Zn-41.80%):**

Resistente al desgaste por fricción. Ideal para unir piezas de carburo de tungsteno a bases de acero con alta resistencia, recubrimiento de superficies que requieran una gran resistencia a la fricción, se hacen muy resistentes por que endurecen en trabajo. **Dureza: 130 HB(al depositarse), 200 HB (en Trabajo), rango de fusión: Solido 921°C, Liquido 935°C. Temperatura de trabajo 938-982°C.** Método de calentamiento: soplete (Llama Neutra).

Procedimiento

El Objetivo del método es hacer juntas resistentes en piezas cuyo punto de fusión es más alto que el del metal que se usa para el relleno y lazo de unión.

Se procede a limpiar el área a soldar eliminando el óxido o grasa, retirar relleno de soldadura de bronce níquelado con insertos de grano de carburo de tungsteno fatigado, biselar las secciones gruesas ó rajaduras. Use llama neutra y mantenga el soplete en un ángulo bajo con el metal base. Caliente hasta rojo mate y frote un poco de fundente al inicio del área a soldar.

Cuando el fundente fluya libremente deposite una gota de aleación pasando la llama sobre ella hasta que funda y ligue fácilmente. Agregue la aleación y carburo de tungsteno en simultáneo, hasta obtener la medida y la forma deseada. La soldadura de bronce níquelado usada es para acomodar el grano de carburo de tungsteno depositado. **La temperatura de trabajo oscila entre 938 – 982°C.** Dejar enfriar lentamente al ambiente 18 hrs cubierto. Se usa esmeril con piedra para darle la forma final.

Secuencias en reparación del Trépano Plano.



Trepano desgastado que va a reparación



Paso 1. Acomoda trépano a reparar en mesa de trabajo



Paso 02: Se retira el material fatigado compuesto por soldadura de bronce e insertos de Carburo de Tungsteno.



Paso 03: Trépano libre de material fatigado.



Paso 04: Matriz lista para aplicar la soldadura de bronce con insertos de Carburo de Tungsteno.



Paso 05: Aplicación de soldadura de bronce niquelado en matriz del trépano.



Paso 06: Se deposita inserto de Carburo de Tungsteno en soldadura de bronce niquelado, aplicado en matriz.



Paso 07: Acomodando los insertos de Carburo de Tungsteno con soldadura de relleno de bronce niquelado.



Paso 08: Aplicación de soldadura de bronce e insertos de Carburo de Tungsteno



Paso 09: El trépano es cubierto para su enfriamiento lento durante 18 horas al aire libre.



Paso 10: El trépano es esmerilado para dar diámetro correcto.



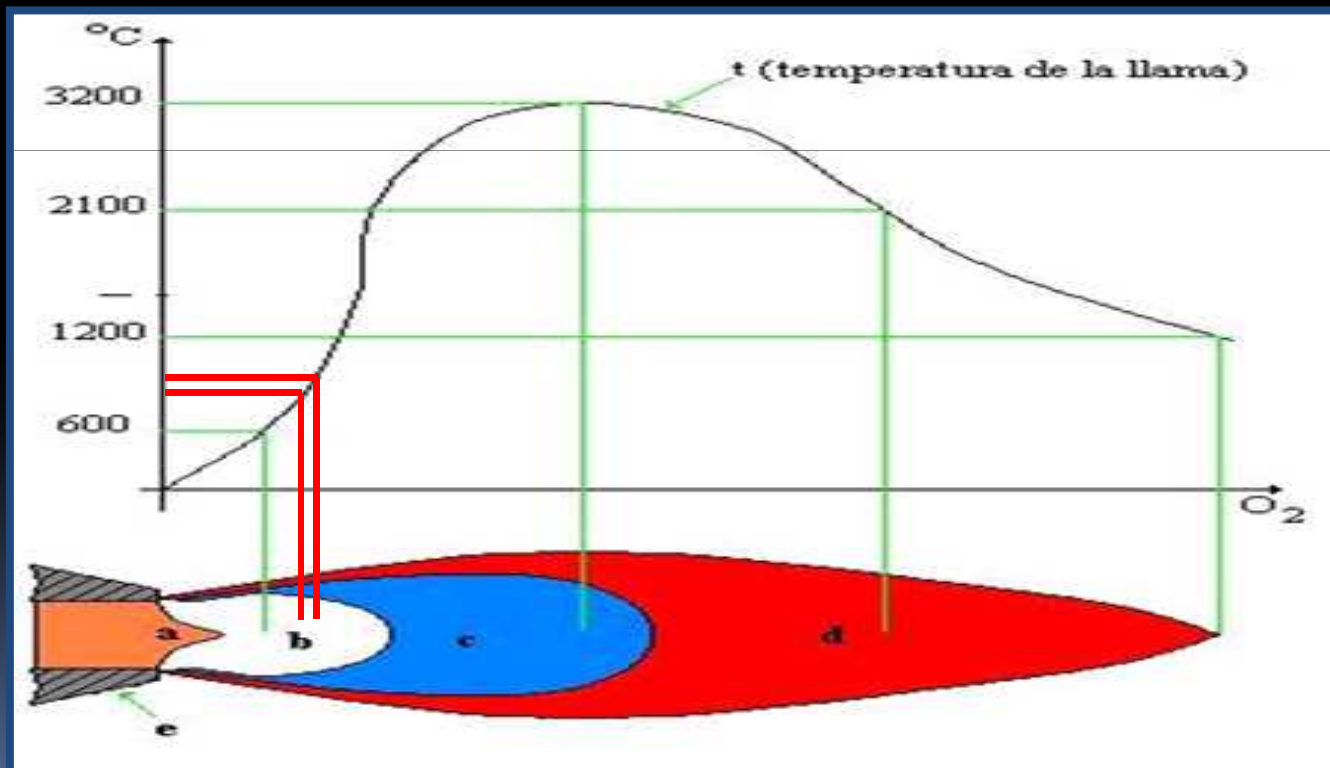
Paso 11: Verificación del diámetro correcto.



Paso 12: Mantenimiento terminado exitosamente.

REGULACIÓN DE LA LLAMA OXIACETILÉNICA

A una temperatura de soldadura entre 938°C a 982°C, la llama se encuentra en la zona cono o dardo, de color blanco deslumbrante y es donde se produce la combustión del oxígeno y acetileno.



DISCUSIÓN DE RESULTADOS

-La primera variación que se realizó fue el espesor del lomo de trabajo del trépano plano de 4" a $\frac{3}{4}$ ", debido a que se observó el exceso de soldadura aglutinante aplicado durante la instalación de insertos de carburo de tungsteno además de presentar fatiga en el tercer trabajo que se realizó.

-En el Trépano preparado se ha usado una mejor distribución de los granos de carburo de tungsteno y como aglutinante de soldadura el Cu-Ni-Zn a 10%Ni, obteniéndose resistencia al desgaste por fricción.

-El control de la eficiencia de este trépano se hizo por número de pozos intervenidos, al momento de presentar fatiga el cuál se observó cuando empezaron a desprenderse los granos de carburo de tungsteno, la reparación se realizó con el retiro total del relleno, el cual se reemplazó por material nuevo y no se volvió a rellenar sobre el material fatigado.

-Con respecto al trabajo, el contacto de rotación del material reparado, se obtuvo un resultado excelente porque el carburo de tungsteno de $\frac{3}{4}$ " esta mejor distribuido respecto al lomo de 4", el cual se fatigó menos; y esto nos dio una eficiencia en trabajo y en costos.

CONCLUSIONES

- Se confeccionó y reparó trépanos para operaciones especiales de workover en pozos petroleros usando el carburo de tungsteno.
- Se logró optimizar el proceso utilizando la soldadura de Cu- Zn-Ni al 10%Ni en conjunto con la soldadura con incrustaciones de carburo de tungsteno en matriz Bronce- Níquel, dando la temperatura correspondiente y no generar una fatiga.
- Se recomendó una temperatura entre 938 °C- 982 °C de trabajo con llama neutra de soldadura oxiacetilénica.
- Se demostró que utilizar demasiada soldadura aglutinante y una inadecuada distribución de carburo de tungsteno la herramienta sería ineficiente.
- Se determinó que el lomo de trabajo de $\frac{3}{4}$ " es más eficiente por tener la distribución del grano del carburo de tungsteno más compacta en la herramienta.(densidad del grano en la superficie)

RECOMENDACIONES

- Calentar la pieza de matriz a la temperatura adecuada para aplicar la varilla. Si se aplica antes de que esté suficientemente caliente, el metal de aporte no correrá por la superficie de la pieza; por otro lado, si la pieza está demasiado caliente, la varilla fundida tenderá a hervir.
- Emplear el fundente adecuado a cada varilla.
- Cuando el carburo de tungsteno empieza a desprenderse en el trabajo de reparación, inmediatamente se deberá reparar el trépano para evitar contaminar el pozo y dificultar el avance del trabajo de reparación.
- La reparación del trépano consiste en el cambio integral del relleno de carburo de tungsteno. No efectuar la reparación sobre el material fatigado.
- Durante la operación de reparación evitarse golpear el trépano que causa el desprendimiento de los granos de carburo de tungsteno; cuyo trabajo del trépano es con rotación y peso.
- La aplicación de la matriz y la soldadura correspondiente garantiza trabajos de perforación y reparación de pozos. Es una herramienta con buenos resultados operativos porque la soldadura aplicada de aporte y unión de carburo de tungsteno es resistente al desgaste por fricción.



Gracias!!!