



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Metodología para la
ejecución de una operación
de registros eléctricos con
cable en una reparación
menor de pozo petrolero**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

Ingeniero Petrolero

P R E S E N T A

Carlos Alfredo Salazar Ortega

ASESORA DE INFORME

Dra. Iza Canales García



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2026



**PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL
(Titulación con trabajo escrito)**



De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado METODOLOGIA PARA LA EJECUCION DE UNA OPERACION DE REGISTROS ELECTRICOS CON CABLE EN UNA REPARACION MENOR DE POZO PETROLERO que presenté para obtener el título de INGENIERO PETROLERO es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi Entidad Académica, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación.

CARLOS ALFREDO SALAZAR ORTEGA
Número de cuenta: 313176311

Agradecimientos

Con todo mi cariño y admiración, agradezco profundamente a mis padres, **Leticia Ortega** y **Alfredo Salazar**, por haberme brindado siempre lo mejor en la vida, permitiéndome crecer en un hogar lleno de amor, valores y apoyo incondicional. Su ejemplo como personas honestas y como excelentes profesionistas ha sido una guía constante en mi formación personal y profesional.

A mi hermana, **Melissa Salazar**, por estar siempre presente, por su cariño incondicional y por acompañarme en mis momentos más difíciles, brindándome la fortaleza y el apoyo necesarios para seguir adelante.

A mi pareja, **Gisela García**, por brindarme su apoyo incondicional durante este proceso y motivarme a seguir adelante; sin ella, no estaría alcanzando este importante logro en mi vida

Agradezco de manera especial al **Ing. Rogelio Pozo**, Coordinador de Operaciones de Wireline, por autorizarme el uso de la información técnica y de la experiencia operativa contenida en este trabajo para fines académicos, lo cual hizo posible el desarrollo del presente escrito de titulación.

Mi agradecimiento al **Ing. Carlos Flores**, mi mentor, por sus enseñanzas, y guía en mi formación como ingeniero de registros eléctricos. Su experiencia y disposición para compartir conocimiento fueron fundamentales para mi desarrollo profesional.

De igual forma, expreso mi agradecimiento a la **Dra. Iza Canales** por el apoyo brindado en la dirección de este trabajo, así como por su tiempo, paciencia y dedicación durante el proceso de elaboración. Sus observaciones y orientación académica fueron clave para fortalecer la calidad del contenido presentado.

Resumen

En este informe se describen y analizan las operaciones del área de registros eléctricos en una operación de una reparación menor para un pozo petrolero el cual se denominará para este trabajo pozo “UNAM-Q”.

En el capítulo del prefacio relato mi experiencia trabajando como ingeniero de campo en el área de registros eléctricos, liderando diferentes intervenciones a pozos y las diferentes líneas de producto que compone la compañía de servicios para la cual trabajo.

El marco teórico tiene la finalidad de describir los conceptos necesarios para facilitar la comprensión de la planeación y ejecución de la operación descrita en el informe, los cuales han sido adquiridos a lo largo de mi formación académica y desarrollo profesional.

El objetivo del capítulo diseño de la operación es relatar los requerimientos del cliente, la planeación y cálculos realizados para la operación en el pozo *UNAM-Q*. El cliente requería realizar una inversión de flujo de Tubería de Producción (T.P.) a Tubería de Revestimiento (T.R.), comunicando el Espacio Anular (E.A.) y la T.P. con un área equivalente de 2.75 pulg^2 ; previo a la intervención se tenía una producción de aceite $Q_o = 5,202 \text{ bpd}$ y estimaban un incremento de producción de 1,101 bpd después de la inversión de flujo.

La operación fue desarrollada por un grupo multidisciplinario de líneas de producto, como lo fue Testing, PPS (Pressure Pumping Services) y Wireline services. Wireline services fue el encargado de realizar la comunicación entre la T.P. y E.A. al realizar el disparo de 45 cargas Tubing Puncher, PPS con unidad de tubería flexible realizó limpieza del aparejo de producción, desalojó lodo de emulsión inversa de 0.96 gr/cc del E.A., y la línea de producto de Testing para la medición del pozo con equipo multifásico.

Prefacio

Al egresar de la Facultad de Ingeniería ingresé a la compañía Weatherford de México con el programa NextGen. Weatherford es una de las principales empresas multinacionales de servicios energéticos a nivel mundial, especializada en el suministro de soluciones integrales, tecnología avanzada y servicios innovadores para la industria energética. La compañía participa activamente en todas las etapas del ciclo de vida de un pozo, desde la ingeniería y el diseño, hasta la perforación, terminación, producción, intervención y abandono responsable. Mediante la integración de tecnologías probadas, Weatherford busca maximizar el valor de los activos energéticos, mejorar la eficiencia operativa y ofrecer resultados sostenibles y rentables a sus clientes.

La misión de Weatherford es producir energía para hoy y para el mañana, asumiendo un papel fundamental dentro del sector energético global. La empresa reconoce que la innovación es un elemento clave para atender las necesidades energéticas actuales y futuras, manteniendo un firme compromiso con la seguridad, la calidad, la integridad y la responsabilidad ambiental.

Weatherford de México cuenta con más de trece años de experiencia, las principales líneas de producto y servicios de Weatherford de México incluyen **Formation Evaluation**, que abarca Logging While Drilling, Wireline Services y Production Testing; **Drilling**, que comprende Drilling Fluids Systems, Directional Drilling, Managed Pressure Drilling (MPD), Pressure Control, Cementing y Rental Tools; **Completion**, con Production Packers, Multi-Stage Fracturing, Sand Control, High Pressure Pumping y Cased Hole Logging; **Production**, mediante Artificial Lift Systems, Automation, Production Optimization Software, SCADA y Flow Measurement; **Intervention and Abandonment**, incluyendo Fishing Services, Well Cleaning, Zonal Isolation y Casing Repair; así como **Tubular Running Services**, con Conventional and Automated Systems.

Finalmente, Weatherford de México opera bajo estrictos estándares de calidad, seguridad, salud y medio ambiente, respaldados por certificaciones internacionales ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 e ISO 45001:2018, lo cual se refleja en su programa **OEPS** Operational Excellence & Performance System.

En mi caso fui seleccionado en la línea de producto de **Wireline Services** en la cual he trabajado por tres años como ingeniero de campo, fui entrenado en mi periodo de ingeniero en entrenamiento en las tres bases operativas de Weatherford de México, Villahermosa, Poza Rica y Reynosa posteriormente estuve durante tres meses en capacitación para realizar operaciones de registros en agujero descubierto y en agujero entubado en el centro de entrenamiento de Weatherford en Abu Dhabi, EAU.

Al concluir mi capacitación fui trasladado por 4 meses a la base operativa en Colombia con el motivo de conocer más operaciones, tener más experiencia en campo y concluir con mi proceso de capacitación y ser promovido a Ingeniero de Campo II. En México he liderado operaciones en los diferentes campos petroleros en onshore y offshore en la adquisición de registros geofísicos, disparos de producción, anclajes de tapones y empacadores, registros de integridad de tubería, registros de producción.

El objetivo del presente informe es describir y analizar la metodología empleada en la ejecución de una operación de registros eléctricos con cable durante una reparación menor de pozo petrolero, desde la perspectiva del ingeniero de registros, destacando la planeación, los cálculos operativos, el control de riesgos y la toma de decisiones técnicas necesarias para garantizar una ejecución segura y eficiente.

Contenido

Agradecimientos.....	ii
Resumen	iii
Prefacio.....	iv
Lista de Figuras.....	vi
Marco teórico	1
Diseño de Operación	8
Resultados	12
Análisis de la operación	16
Conclusiones	18
Referencias	19
Anexos	I
Anexo 1. Ficha técnica API cargas premoldeadas (ejemplo).....	I
Anexo2. Ficha técnica Pistola puncher 1 9/16”	II
Anexo3. Ficha técnica de la carga tipo puncher (PAC-1562-457).....	III
Anexo 4.1 Diagrama de herramientas – Corrida de calibración	IV
Anexo 4.2 Diagrama de herramientas – Corrida de puncher No. 1.....	V
Anexo 4.3 Diagrama de herramientas – Corrida de puncher No. 2.....	VI

Lista de Figuras

FIGURA 1 DIAGRAMA DE CLASIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS DE LA LÍNEA DE PRODUCTO DE WIRELINE SERVICES. NOTA. ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN LA EXPERIENCIA PROFESIONAL DEL AUTOR.	1
FIGURA 2. GRADIENTE DE PRESIÓN EN UN SISTEMA DE TUBOS DE FLUJO. TOMADO DE CURSO DE CONTROL DE PRESIÓN DE 10K (SECCIÓN 7, P. 73), POR ELMAR (2002)	3
FIGURA 3. REPRESENTACIÓN DE UNA CARGA HUECA (SHAPED CHARGE) TOMADA DE SCHLUMBERGER (S. F.)	5
FIGURA 4. DIAGRAMA DE CLASIFICACIÓN DE LOS DETONADORES PARA WIRELINE. NOTA. ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN EL CURSO WL-EXPLOSIVES BASIC TRAINING DE WEATHERFORD (2023).	6
FIGURA 5. SISTEMA DE PISTOLA PARA PUNCHER DE TUBERÍA. TOMADA DE OWEN OIL TOOLS. (2017)	7
FIGURA 6. SECCIÓN DEL REGISTRO DE CORRELACIÓN (GAMMA RAY/CCL) CORRESPONDIENTE A LA CORRIDA DE CALIBRACIÓN. IMAGEN ADAPTADA Y ANONIMIZADA DE MATERIAL TÉCNICO INTERNO, PRESENTADA CON FINES ACADÉMICOS Y DE ANÁLISIS TÉCNICO.	11
FIGURA 7. REGISTRO DE CORRELACIÓN CON CCL CORRESPONDIENTE A LA PRIMERA CORRIDA DE DISPARO, EMPLEADO PARA LA CONFIRMACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DEL DISPARO DURANTE LA OPERACIÓN (INFORMACIÓN TÉCNICA OMITIDA POR CONFIDENCIALIDAD)	12

FIGURA 8. REGISTRO DE CORRELACIÓN CON CCL CORRESPONDIENTE A LA SEGUNDA CORRIDA DE DISPARO, EMPLEADO PARA LA CONFIRMACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DEL DISPARO DURANTE LA OPERACIÓN (INFORMACIÓN TÉCNICA OMITIDA POR CONFIDENCIALIDAD)	13
FIGURA 9. REGISTRO DE LA RESPUESTA ELÉCTRICA DEL DISPARO CORRESPONDIENTE A LA PRIMERA CORRIDA, DONDE SE OBSERVA EL COMPORTAMIENTO DEL VOLTAJE, CORRIENTE Y TENSIÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO, INDICATIVO DE UN EVENTO DE DISPARO EXITOSO	14
FIGURA 10. REGISTRO DE LA RESPUESTA ELÉCTRICA DEL DISPARO CORRESPONDIENTE A LA SEGUNDA CORRIDA, DONDE SE OBSERVA EL COMPORTAMIENTO DEL VOLTAJE, CORRIENTE Y TENSIÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO, INDICATIVO DE UN EVENTO DE DISPARO EXITOSO	15

Marco teórico

El objetivo de este capítulo es explicar los conceptos que se emplean durante este informe para darle claridad al lector al ser temas específicos de la línea de Wireline y del trabajo de ingeniero de campo.

Wireline Services: Es la línea de servicio que tiene dos ramas importantes en su portafolio de servicios los cuales son en agujero descubierto y agujero entubado, así como se observa en la Figura 1. Todos los servicios se hacen a través de una unidad de registros que puede ser terrestre o marina en la cual va a contar con un cable electromecánico compuesto por un monoconductor o multiconductor cubierto por un aislante y hebras de metal las cuales por su composición pueden utilizarse en servicios con porcentajes de H_2S , para pozos con presiones parciales iguales o mayores a 0.05 psi de H_2S se requiere utilizar un cable hecho para ambientes hostiles.

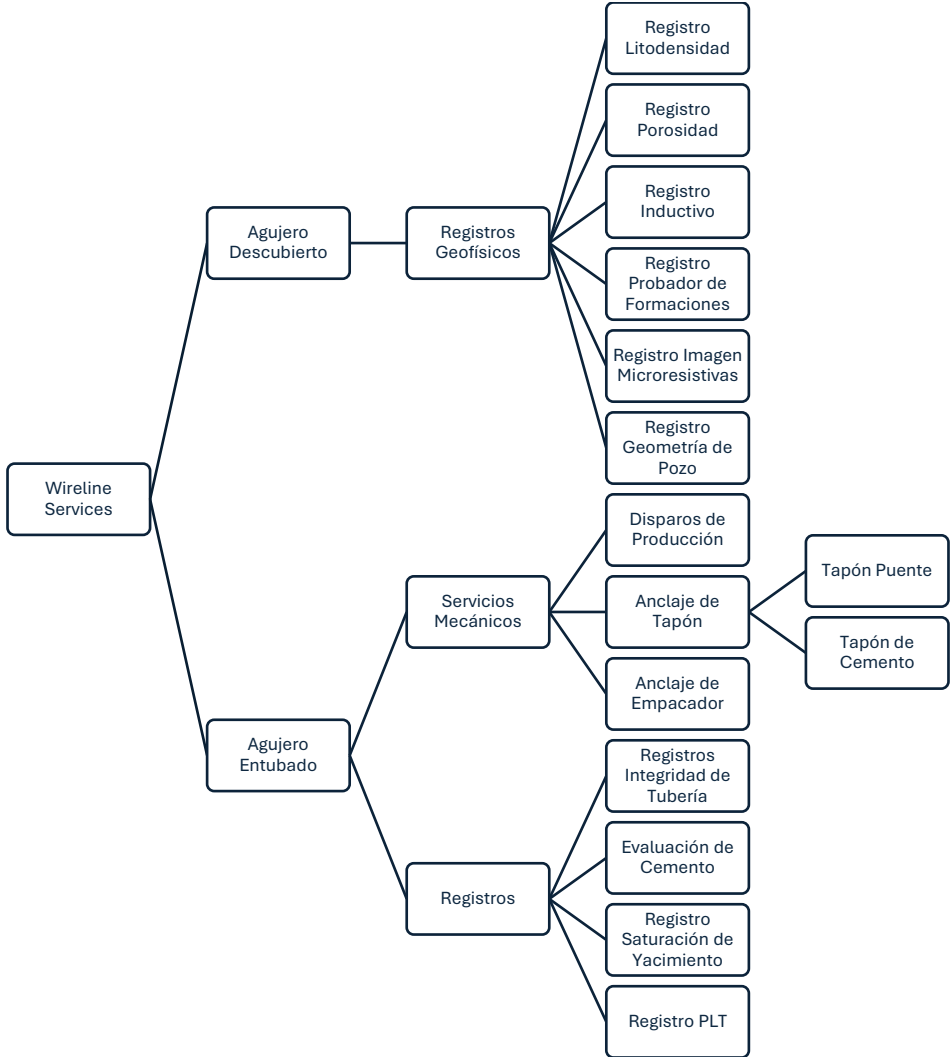


Figura 1 Diagrama de clasificación de los servicios de la línea de producto de wireline services.
 Nota. Elaboración propia con base en la experiencia profesional del autor.

Debido a que la mayoría de sus servicios de wireline son registros eléctricos, en la industria se le conoce también como la línea de Registros. El cable tiene 4 funciones primordiales como lo establece el procedimiento Wireline Cable (*Weatherford, 2023*) las cuales son:

1. Elemento de fuerza.
2. Comunicación.
3. Energía eléctrica.
4. Medida de profundidad.

Estas funciones son necesarias para poder llevar a cabo un trabajo, en caso de que no se tenga una se tendrá una falla en la operación y no se podrá continuar hasta solventarla, el cable es el elemento principal para la línea de servicio.

Es necesario tener conocimiento sobre un circuito eléctrico debido a que el sistema de adquisición, cable y sonda de registros son un circuito eléctrico. Se entiende como **circuito eléctrico** a los diversos elementos conectados entre ellos con una fuente de energía, en donde existe circulación de corriente eléctrica (*Alexander & Sadiku, 2017*). Un **circuito abierto** se presenta cuando se interrumpe el flujo eléctrico, impidiendo el paso de corriente (*Nilsson & Riedel, 2020*) se puede detectar cuando se tiene un alto voltaje y baja corriente. A diferencia de un **cortocircuito** que ocurre cuando dos puntos de un circuito con diferente potencial eléctrico se conectan directamente mediante una resistencia muy baja o prácticamente nula, lo que provoca un incremento significativo de corriente (*Alexander & Sadiku, 2017*).

Un **registro geofísico** es una representación digital de una propiedad física que se mide contra la profundidad, se distinguen de otros métodos geofísicos porque dan un diagnóstico más confiable de las condiciones de las rocas, de la tubería de revestimiento y de la cementación. (*Apuntes de introducción a los registros geofísicos de pozos, s. f., p. 1*)

La reparación menor del pozo *UNAM-Q* se trataba de un servicio de agujero entubado en el cual se necesita un elemento crucial para poder llevar a cabo la operación de una forma segura, controlando la presión y fluidos del pozo.

Equipo de control de presión: Es el elemento que permite intervenir el pozo controlando su presión. El equipo de control de presión de Wireline por sus siglas ECP es capaz de controlar la presión de una forma dinámica lo cual es necesario debido a que durante el tiempo de operación el cable está en movimiento, el control lo hace mediante la inyección de grasa la cual pasa a través de tubos de flujo con una holgura entre el diámetro nominal del cable y el tubo de flujo de 0.003 a 0.008 de pulgada. Adicional a la inyección de grasa el equipo está compuesto por elementos para controlar la presión cuando el cable está estático, en caso de una pérdida de sello hasta una eventual pérdida de cable.

La inyección de grasa en los tubos de flujo permite al sistema pasar de una presión determinada del pozo a tener una presión de cero, como se observa en la Figura 2. El arreglo del número de tubos de flujo se rige por la presión en cabeza, se tiene que considerar que un tubo de flujo reduce 1500 psi en un sistema de gas seco y 2000 psi en un sistema con líquidos, por lo tanto, la cantidad de tubos es condicionada hasta que se tenga una presión de cero. Se tiene un mínimo de arreglo el

cual para condiciones estándares son 3 tubos vivos y un tubo “muerto”, y en condiciones con presencia de H_2S se necesitan 4 tubos vivos y un muerto de acuerdo con Weatherford (2023), en el curso *10K Pressure Control Operations*. Un tubo de flujo muerto se le denomina al tubo de flujo que se encuentra por debajo del puerto de inyección de grasa el cual su función es evitar que la grasa se vaya por la presión del pozo y por la su velocidad de flujo.

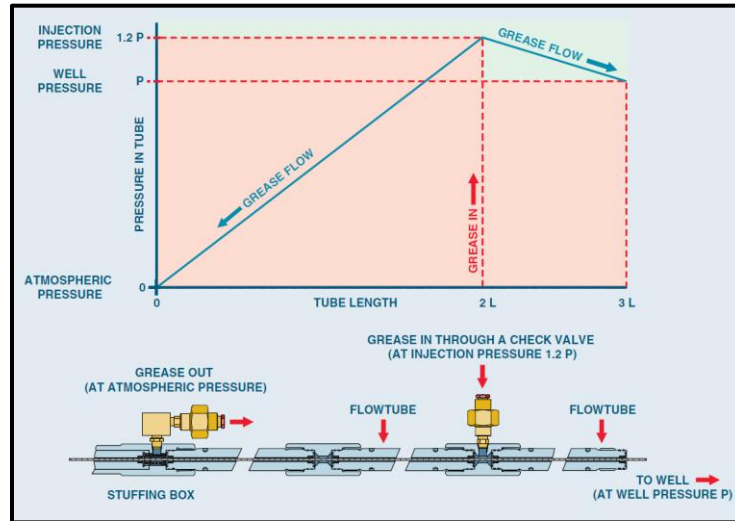


Figura 2. Gradiente de presión en un sistema de tubos de flujo. Tomado de Curso de control de presión de 10K (Sección 7, p. 73), por Elmar (2002)

Es necesario conocer el diámetro del cable a trabajar para la selección de tubos de flujo ya que un tubo de flujo con un espacio mayor a las 0.008 pulgadas ocasionará mayor gasto de grasa para controlar la presión y un tamaño menor ocasionará problemas con el cable. Adicional el tamaño del cable es importante para poder conocer el punto de balance de una operación que tenga presión en cabeza de pozo. El punto de balance es el peso de la herramienta necesario para poder descender en el pozo como se observa en la siguiente relación.

i. El punto de balance (F) para vencer la presión del pozo es:

a. $F = WHP \times A$ $A = \left(\frac{\pi \times D^2}{4}\right)$

b. A: Área Seccional del Cable de Registros ($pulg^2$)

*Nota: WHP es Presión de Cabeza

ii. Por lo tanto, el sobre balance (Ft) es calculado como:

c. $F_t = F + (20 \% \times F)$

Debido al punto de balance se tiene la relación de utilizar cables de un diámetro nominal pequeño para operaciones que se espera una presión de cabeza alta, en caso de no contar con un cable de esas condiciones o los límites operativos del cable no lo permite se utilizan accesorios para darle

peso a la sarta de herramientas. Estos accesorios son conocidos como barras de peso los cuales funcionan como pasantes eléctricos y su material externo puede ser de fierro o tungsteno. Conociendo el peso necesario se puede diseñar la sarta de registros y conocer la longitud del equipo de control de presión y la capacidad de la grúa necesaria para la operación.

Un concepto importante es el de **registro de correlación** el cual es el registro base que se obtuvo en su etapa de perforación, cuando se tomaron los registros geofísicos o al momento de los registros de integridad de cementación. Contienen una curva de información muy importante como lo es la curva de rayos gamma la cual mide la radiación natural de las formaciones geológicas, esta curva se considera la huella dactilar del pozo; debido a que su comportamiento será similar toda su vida por lo que el registro de rayos gamma obtenido en una siguiente operación se podrá correlacionar con el registro de agujero descubierto y así colocando en profundidad el registro y los disparos siguientes de la operación.

El registro que se realizó fue uno para correlacionar y realizar el disparo, los cuales tienen los siguientes sensores, el detector de rayos gamma y el detector de coples. Los **coples** o cuellos son las uniones de tuberías u accesorios en este caso del aparejo de producción, la curva de CCL, Casing Collar Locator por su abreviatura en inglés, también es un método de correlación con el estado mecánico del pozo; una práctica común es evitar disparar en un cople.

Para poder realizar una actividad de disparos en un pozo se deben tener en consideración muchos tópicos, el tema legal referente al permiso de explosivos de la compañía y si el pozo está asignado en el permiso, el permiso de trabajo de la locación del cliente ya sea privado o estatal, y el propósito del disparo, esto último con el fin de poder diseñar un programa de trabajo y seleccionar el tipo de material explosivo a utilizar.

Para la definición de **cargas huecas o cargas premoldeadas** se utilizará el glosario técnico de la compañía SLB; Schlumberger (s. f.) define la carga premoldeada o carga hueca como un dispositivo explosivo diseñado para generar un chorro de alta presión que genera un túnel de disparo, utilizado comúnmente en disparos de pozos. Los chorros de alta presión son generados por la forma del recubrimiento metálico y el material explosivo lo cual es proporcional al rendimiento de la carga, el rendimiento de una carga es puesto en prueba en condiciones dadas por el *American Petroleum Institute* (API) y con ello se genera una Ficha técnica registrada de evaluación del sistema de perforación API la cual indica los rendimientos de las cargas en el que se menciona el túnel de penetración en diferentes condiciones de temperatura, cemento, tubería. La ficha técnica API es utilizado por diversos softwares para simular la operación y conocer si la carga seleccionada podrá penetrar la tubería, cemento y roca de la formación para producir hidrocarburos.

Como se puede observar en la Figura 3 los componentes de una carga hueca son los siguientes:

1. Iniciador de detonación: Encargado de continuar con el tren de detonación, contiene el mismo material de la carga explosiva principal, pero con menos impurezas y granos más finos.

2. Carga explosiva principal: Contiene material explosivo distribuido alrededor del eje central de la carga hueca, el material explosivo usualmente utilizado para su elaboración son RDX, HMX, HNS o PYX.
3. Línea cónica: Elaborado con materiales de alta densidad (Cobre, Aluminio, Zinc, Tungsteno); del chorro de alta presión generado por la detonación el 30 a 40 % corresponde a la línea cónica.

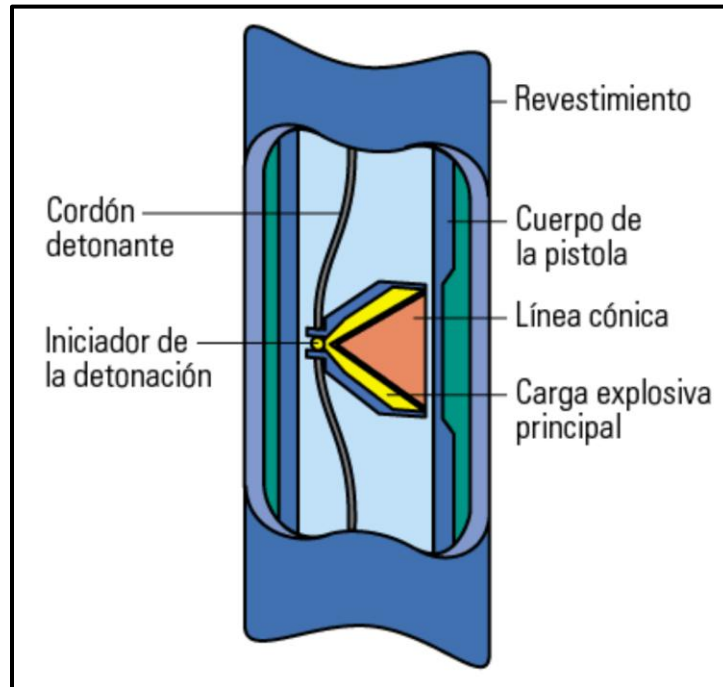


Figura 3. Representación de una carga hueca (shaped charge) tomada de Schlumberger (s. f.)

Para que una detonación se transmita hasta el iniciador de detonación de la carga hueca se necesita de un **cordón detonante** el cual es un tubo delgado y flexible con una carga continua de material explosivo diseñado para detonar a lo largo de su longitud y entregar suficiente energía para iniciar otros materiales explosivos colocados en las proximidades; el material explosivo es el mismo a las cargas premoldeadas (RDX, HMX, HNS o PYX) la distribución del material explosivo común para Wireline es de 9, 13, 17 o 21 gramos / metro.

El responsable de iniciar toda la detonación es el **detonador** el cual genera ondas de choque con suficiente energía localizada para iniciar reacciones de alto orden en materiales explosivos. Los detonadores se pueden clasificar en diferentes categorías de acuerdo con su modo de activación, características y a la clasificación API RP-67, sin embargo, sin importar la clasificación se trata de los mismos detonadores. En la Figura 4 se presenta un diagrama de las diferentes clasificaciones de los detonadores, elaborado con base en la información revisada en el curso *WL-Explosives Basic Training* (Weatherford, 2023); los conceptos de los componentes de la carga se obtuvieron del mismo curso.

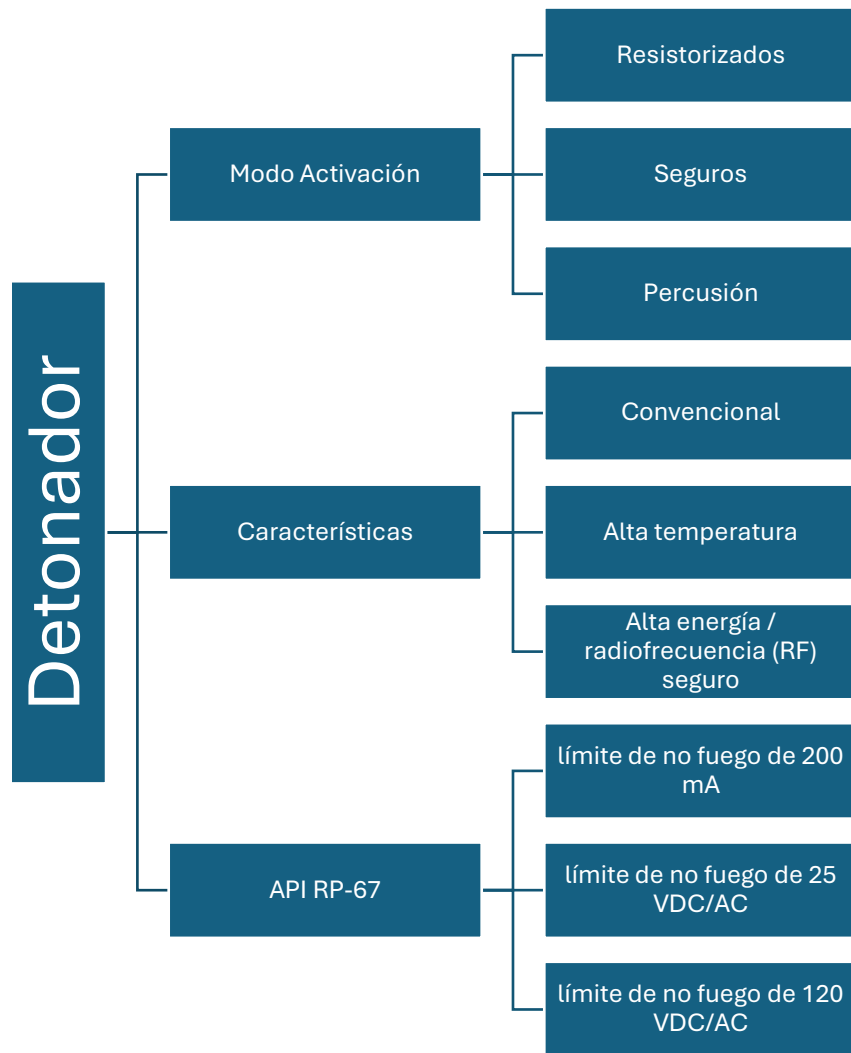


Figura 4. Diagrama de clasificación de los detonadores para wireline.
 Nota. Elaboración propia con base en el curso WL-Explosives Basic Training de Weatherford (2023).

Una **detonación** ocurre cuando un material explosivo entra en combustión tan rápido que la reacción se propaga a través del material a una velocidad superior a la del sonido, el material explosivo contiene todo el combustible y oxígeno; para que un material explosivo inicie su proceso de combustión depende de su sensibilidad a estímulos externos, estos pueden ser por fricción, calor, impacto, descarga electrostática.

En el caso de la operación que se describirá en el siguiente capítulo, no se requería una alta penetración de las cargas premoldeadas debido a la posibilidad de dañar la tubería de revestimiento y penetrar hasta la roca, lo que se buscaba era solo generar un área de flujo en el aparejo de producción, para lograrlo se necesitan **cargas amortiguadas** como se le conoce en la industria, este tipo de cargas no cuentan con una ficha técnica por parte de estándares API y tampoco se realizan simulaciones del desempeño. El proveedor proporciona una hoja de datos en la cual ha probado la carga en una tubería con un espesor específico y determina el diámetro del agujero y penetración generada por la detonación de la carga.

Es recomendable utilizar un sistema de disparo en fase 0° porque proporcionan tamaños de agujero consistentes y minimizan el daño controlado al Casing; la fase de una pistola hace referencia al ángulo en que se tienen alojadas las cargas en una pistola (0°, 60°, 135°, 180°), la densidad de una pistola se refiere a la cantidad de cargas por metro. Cuando se hace una operación de disparo en fase 0° como fue en el pozo *UNAM-Q* se requiere de accesorios magnéticos para orientar las cargas hacia la pared del tubo, de esta forma se asegura que la pistola está haciendo contacto con el tubo y las cargas realizarán los agujeros deseados en la pared del pozo.

El tamaño de las pistolas para realizar un disparo tipo puncher son de 1 9/16" y después de la detonación se expande a 1 11/16". En la Figura 5 se presenta una representación gráfica de una pistola tipo puncher utilizada en operaciones de disparo en pozo. El cañón o pistola es un sistema tubular el cual puede ser de diferentes tamaños, dentro del tubo se aloja un carrier en donde se alojan las cargas premoldeadas para poder realizar los disparos con de cable.

Los explosivos se clasifican basados en su velocidad, tiempo de reacción e intensidad de la presión *WL-Explosives Basic Training* (Weatherford, 2023); como se muestra en lo siguiente:

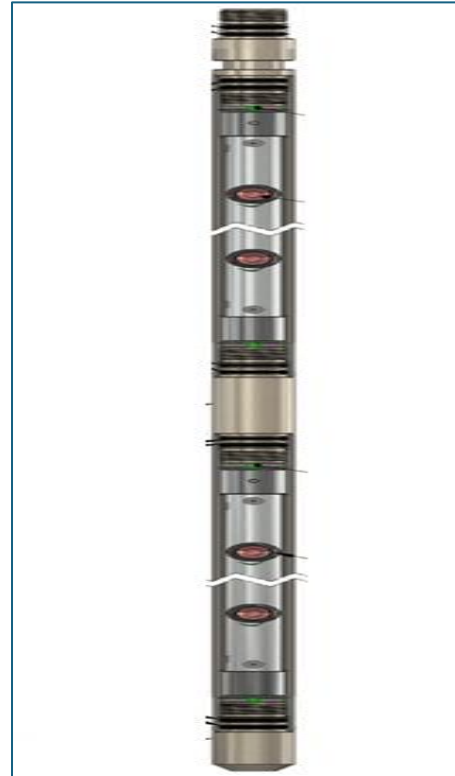


Figura 5. Sistema de pistola para puncher de tubería. Tomada de Owen Oil Tools. (2017)

- ❖ Agente explosivo: Combustible y oxidante, utilizado en minería o cañoneos.
- ❖ Material pirotécnico: Material el cual se quema en lugar de detonar, produce calor, luz, sonido y humo.
- ❖ Bajo explosivo: Material que se deflagra, generando altas presiones en espacios confinados.
- ❖ Alto explosivo: Material que detona produciendo una onda de choque seguida por alta presión y calor extremo.
 - Alto explosivo primario: Muy sensible a la ignición y una velocidad muy rápida de detonación. Es muy sensible y alto rendimiento energético, tiene la capacidad de detonar cantidades masivas por esas razones debe guardarse por separado.
 - Alto explosivo secundario: Requiere una onda de choque de alta energía proveniente de un explosivo primario para iniciarse, contiene más material explosivo.

Diseño de Operación

En este capítulo se tiene como objetivo el poder planear una operación con seguridad, calidad y tiempo requerido por el cliente. La solicitud del cliente para el área de Wireline era realizar a través de cargas premoldeadas un área de flujo equivalente a $2 \frac{3}{4} \text{ pulg}^2$ en el intervalo de 3,954 mD a 3,960 mD, y evitar daños a las tuberías de revestimiento.

Se seleccionaron cargas amortiguadas para realizar el puncher a la T.P. de $3 \frac{1}{2}''$ 12.7 lb/ft. Se seleccionó las cargas PAC-1562-457 las cuales generan un orificio de las siguientes características de la Tabla 1.

Tabla 1.

Datos de desempeño del puncher de tubería PAC-1562-457

Rango de espesor de pared (pulg.)	Tamaño del orificio (pulg.)	Daño (pulg.)
0.625 – 0.750*	0.28*	0.02 de penetración*

Nota. Considerando acero grado L-80. El tamaño del orificio corresponde al promedio en el rango de espesores. El daño se midió con 0.200 pulg. de holgura de fluido entre la placa y la placa testigo. Fuente: Owen Oil Tools (2022), ver Anexo 3

Considerando los datos de la tabla 1 se realiza el cálculo para determinar la cantidad de cargas a utilizar para obtener el área de flujo equivalente requerido del cliente.

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}; A = \frac{\pi * (0.28 \text{ pulg})^2}{4} = 0.06157536 \text{ pulg}^2$$

$$\text{Cargas} = \frac{2.75 \text{ pulg}^2}{0.06157536 \text{ pulg}^2} = 44.66 \therefore 45 \text{ cargas}$$

Para generar el área de flujo de 2.75 pulg^2 son necesarias utilizar 45 cargas PAC-1562-457 para poder crearla, cuando se va a realizar un puncher se debe considerar la columna de fluido que se encuentra en el espacio anular del aparejo de producción, en este caso es un fluido de control de emulsión inversa con una densidad de 0.96 gr/cc, con una presión hidrostática de 5,397 psi, teniendo el siguiente ΔP considerando la presión hidrostática del interior de T.P. de 4,616 psi; por lo tanto el fluido del espacio anular y la presión viajará hacia la tubería de producción.

$$\Delta P = P_{EA} - P_{TP}$$

$$\Delta P = 5,397 \text{ psi} - 4,616 \text{ psi}$$

$$\Delta P = 781.51 \text{ psi}$$

Al generarse el área equivalente a 2.75 pulg^2 en un momento la ΔP estaría generando un levantamiento de presión en el pozo con la fuerza necesaria de aventar la sarta de herramientas de registro ocasionando un daño del cable o una ruptura del punto débil provocando la pérdida de herramienta en el pozo. Para evitar el problema ocasionado por el diferencial de presión se realizará primero un disparo de 2 cargas.

$$A = \frac{\pi * (0.28 \text{ pulg})^2}{4} \times 2 = (0.06157536 \text{ pulg}^2) \times 2 = 0.1232 \text{ pulg}^2$$

$$F = (5,397 \text{ psi}) \times (0.1232 \text{ pulg}^2)$$

$$F = 664 \text{ lbs}$$

Resultando en una fuerza de 664 lbs en dos orificios de puncher sin considerar la columna hidrostática de la TP, de esta forma se ecualizarán las presiones y en la siguiente corrida se evitará el problema generado por la fuerza derivado a la presión.

Para realizar la operación, se diseñaron en total 3 carreras, como se observa en la Tabla 2. Las razones de estas corridas son las siguientes: la primera corrida da la certeza de poder alcanzar la profundidad deseada para realizar el puncher de tubería y, a su vez, tomar un registro de correlación con los sensores de gamma ray y CC; la segunda corrida es para ecualizar la presión entre el espacio anular y la tubería de producción; y la última corrida, para terminar de conformar el área de flujo en el aparejo.

Tabla 2.

Diseño de corridas de registros eléctricos pozo UNAM-Q

Operación	No.	Profundidad mD	Metros disparados	Servicio
Calibración	1	0 m – 4,009 m	NA	Calibración con O.D 2.125 pulg
Disparo Tipo Puncher	2	3,955 m – 3,956 m	1	Disparo Tipo Puncher con 2 cargas
Disparo Tipo Puncher	3	3,955 m – 3,960 m	5	Disparo Tipo Puncher con 43 cargas

Por la profundidad de la operación y operaciones simultáneas en México, se tenía disponible un cable multiconductor (7 conductores) con un diámetro nominal de 3/8” el cual se utilizó haciendo un arreglo en los conductores para utilizarse como un cable monoconductor. El pozo en cabeza tenía una presión de 2,600 psi y el punto de sobre balance es igual a 344.57 lbs.

$$A = \frac{\pi * (0.375 \text{ pulg})^2}{4} = 0.11044 \text{ pulg}^2$$

$$F = (2,600 \text{ psi}) \times (0.11044 \text{ pulg}^2) = 287.14 \text{ lbs}$$

$$F_t = F + (F \times 20\%)$$

$$F_t = 287.14 \text{ lbs} + (287.14 \text{ lbs} \times 0.20) = 287.14 \text{ lbs} + 57.428 \text{ lbs}$$

$$F_t = 344.57 \text{ lbs}$$

Para obtener el peso se necesitará el uso de barras de peso de tungsteno y de fierro de diferentes diámetros ver anexos 4.1, 4.2 y 4.3. La parte superior de la herramienta tiene un diámetro de 2 pulgadas, y en la parte inferior un diámetro de 1 11/16 pulgadas. Asegurando que en las corridas de disparo los accesorios de puncher (ccl, magnetos, pistola) se peguen a la tubería y la generación del área de flujo sea exitosa.

En los anexos 4.1, 4.2 y 4.3 se puede observar que se tiene un peso mayor al necesario al punto de sobre balance y esto es debido a que la operación descrita en el trabajo se realizó con pozo abierto (pozo produciendo), la producción genera una fuerza de empuje que dificulta descender a la herramienta con el cable.

Conociendo el total de cargas se realiza la solicitud de explosivo al encargado del departamento de la compañía para hacer la notificación a la SEDENA y la compañía pueda realizar el movimiento de explosivo en tiempo y forma. Los explosivos al llegar a la locación se resguardan en el bunker el cual está dividido para explosivos primarios y secundarios, puesto a tierra, alejado de fuentes de calor y bajo llave; la llave está a cargo del ingeniero de campo y es su responsabilidad el conteo de explosivo con su balance de lo solicitado y consumido. Una buena práctica es solicitar el 20% más de explosivos a utilizar para estar preparados en una eventual corrida adicional de disparo o siendo respaldo.

En la primera corrida se diseña que la sonda de gamma ray – ccl se encuentre al fondo antes del troquelador de 2.125 pulgadas con la finalidad de obtener una mayor profundidad de lectura de información y también simplificar la correlación respecto a las corridas 2 y 3 con la profundidad del sensor de ccl.

La corrida de calibración fue hasta 4,000 mD en los cuales se comprueba el libre pase de herramientas hasta un diámetro de 2.125 pulgadas y se correlacionó con un registro de agujero descubierto tomado por una compañía de registros, el registro de correlación obtenido por el cliente contiene información de gamma ray del intervalo de 3,930 mD a 6,091 mD. Para realizar la correlación se contaba con el registro de agujero descubierto y con el tally de aparejo siendo una correlación mecánica. Se realizó la correlación con el registro de agujero descubierto, ya que en ocasiones las medidas físicas de las tuberías cuando están ingresando al pozo pueden diferir con una profundidad de un registro previo con cable; pero se utilizará el tally de tubería para comparación.

Se correlaciona en profundidad las curvas de gamma ray de 3,930 mD a 4,000 mD; se identifican las tuberías y accesorios del aparejo de producción con el tally de tubería proporcionado por el cliente, concordando con las profundidades indicadas en este siendo así un doble método de control de profundidad.

El diseño original era realizar el puncher de tubería en el intervalo de 3,955 mD a 3,960 mD, sin embargo, en el intervalo descrito se tienen dos coples los cuales se informan al cliente y se toma la decisión de un nuevo intervalo para disparar. Se solicitó realizar el disparo cuidando el sensor de presión y temperatura del aparato de producción, concluyendo en conjunto el nuevo intervalo del puncher 3,947 mD a 3,953 mD, véase la Figura 6 la cual presenta un segmento del registro de correlación, donde se observa el sobrepuesto de las curvas de rayos gamma para fines de correlación estratigráfica.

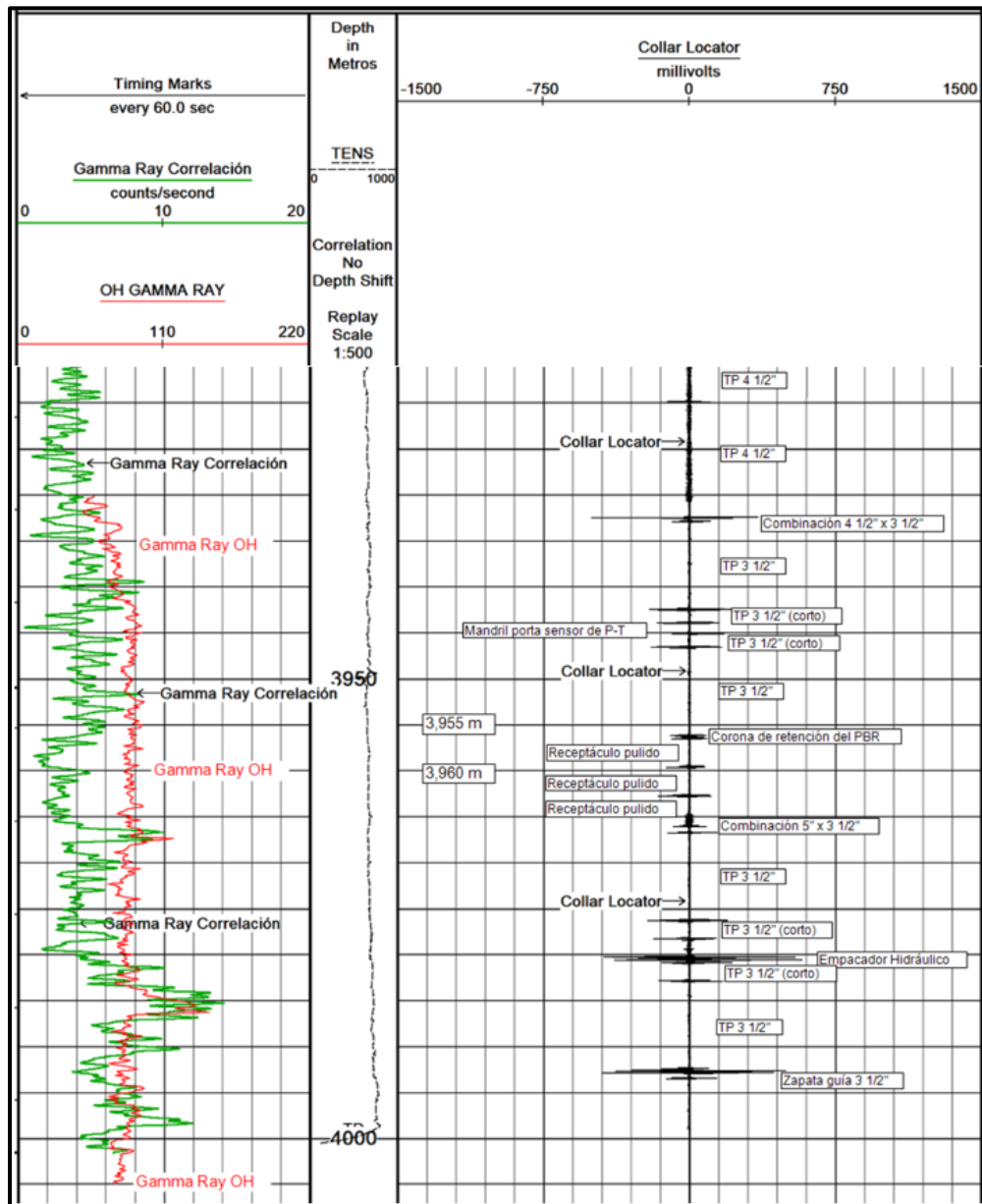


Figura 6. Sección del registro de correlación (gamma ray/CCL) correspondiente a la corrida de calibración. Imagen adaptada y anonimizada de material técnico interno, presentada con fines académicos y de análisis técnico.

Resultados

Debido a las condiciones del pozo y profundidades de los accesorios del aparato de producción el cliente determina cambiar la profundidad de los disparos quedando los servicios realizados descritos en la Tabla 3.

Tabla 3.

Corridas de registros eléctricos realizadas en pozo UNAM-Q

Operación	No.	Profundidad mD	Metros disparados	Servicio
Calibración	1	0 m – 4,000 m	NA	Calibración con O.D 2.125 pulg
Disparo Tipo Puncher	2	3,952.97 m – 3,953.01 m	1	Disparo Tipo Puncher con 2 cargas
Disparo Tipo Puncher	3	3,947.89 m – 3,952.97 m	5	Disparo Tipo Puncher con 43 cargas

Una vez confirmado el intervalo a disparar se armó una pistola de 1 m con dos cargas distribuidas para realizar la corrida de disparo y equalizar presiones como se puede observar en el anexo 4.2, el registro del disparo 1 indica el intervalo en el cual se dispararon las cargas, así como los puntos generales de un registro de disparo como se observa en la Figura 7.

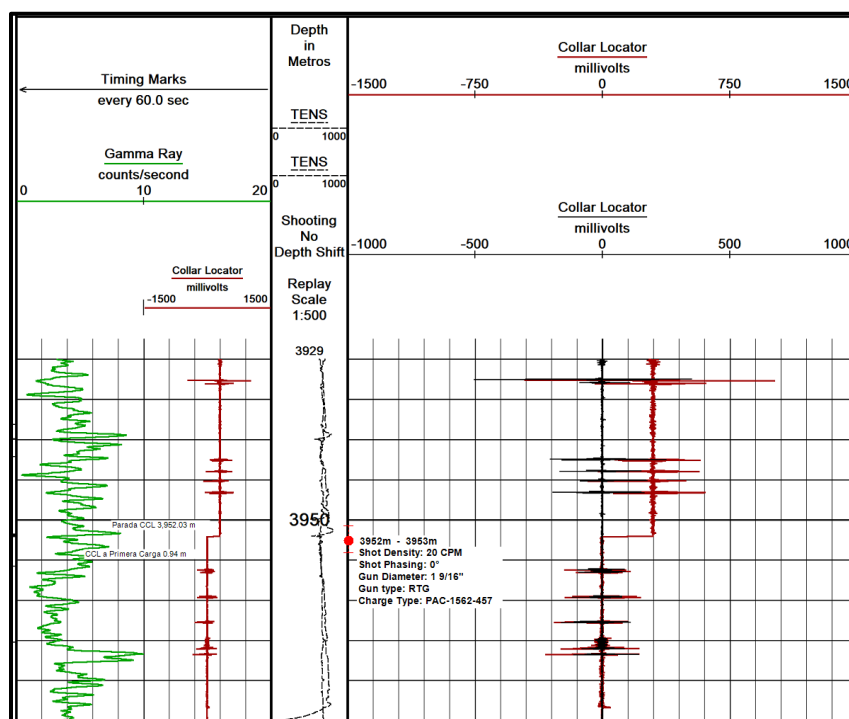


Figura 7. Registro de correlación con CCL correspondiente a la primera corrida de disparo, empleado para la confirmación de la profundidad del disparo durante la operación (información técnica omitida por confidencialidad)

La Figura 8 muestra el registro de correlación de la curva de CCL en donde se pone en profundidad respecto al registro de correlación que se tomó cuando se calibró el pozo. Se observa como coinciden los coples y posterior a la detonación estos ya no coinciden ligeramente debido a la pérdida de peso de la detonación.

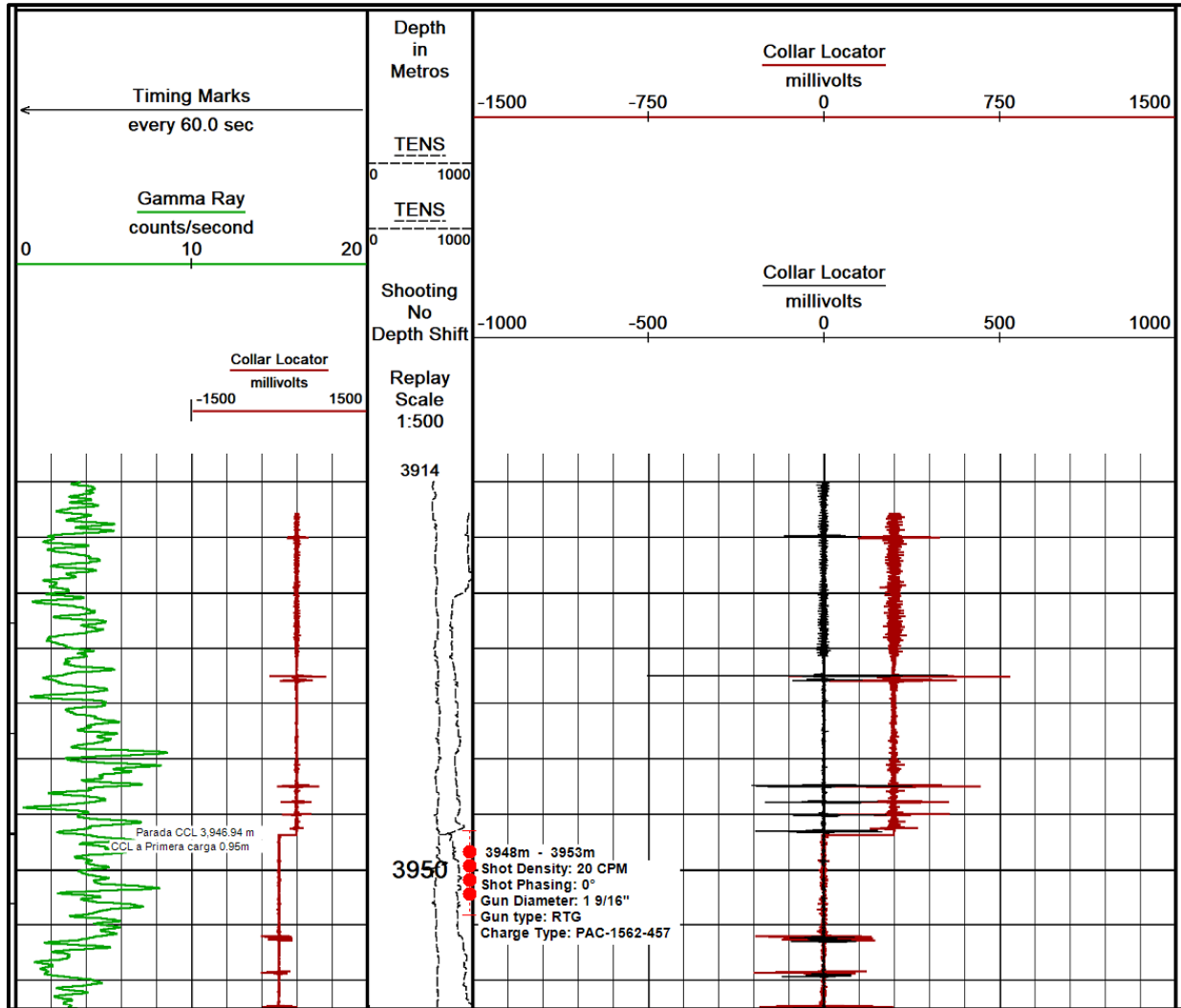


Figura 8. Registro de correlación con CCL correspondiente a la segunda corrida de disparo, empleado para la confirmación de la profundidad del disparo durante la operación (información técnica omitida por confidencialidad)

Con el registro de correlación mostrado en la Figura 6 se determina que el registro está en profundidad para continuar con la operación de disparos, antes de cada registro de disparo se realiza un registro para verificar la profundidad de la herramienta al momento del disparo. Cuando la pistola armada está en superficie se toman medidas físicas como lo es la distancia del sensor del CCL hasta la primera carga; en el registro se observa en donde se coloca el sensor de CCL y con esto en que profundidad están siendo realizados los disparos.

Para confirmar durante el registro la correcta detonación de la pistola se tiene un gráfico el cual se observa el voltaje, consumo y tensión respecto al tiempo. Si se observa un circuito abierto y variación de la tensión es un indicativo que el sistema detonó correctamente, por procedimiento se recupera la pistola a superficie y se siguen todas las medidas de seguridad como si se tratara de una pistola sin detonar hasta que se confirma visualmente la detonación al cien por ciento. Las medidas de seguridad en cuestión del manejo de explosivos son los mismos al armar, ingresar al pozo y al recuperar a superficie; el momento más delicado es cuando es la conexión eléctricamente de la pistola cargada con el cable y accesorios, porque se cierra el circuito eléctricamente. Se debe monitorear las corrientes parásitas de la locación, suspender las comunicaciones por radio, GPS, señales móviles hasta que la pistola se encuentre en una profundidad segura para el personal como lo establece el procedimiento de operaciones balísticas, *Weatherford. (2025)*.

Observar la Figura 9. en caso de que en el gráfico la curva de color rojo (corriente) se mantuviera aumentando sin variación durante el periodo de tiempo de accionamiento significaría que el circuito no se abrió y el detonador sigue activo, pudiera tratarse de un problema eléctrico en el sistema (corto circuito) por eso el voltaje no estaría llegando al detonador, si no se tuviera una detonación es considerado una falla y con ello el cliente asigna tiempo no productivo a la compañía (NPT), este tiempo son sanciones económicas por cada hora en el cual está ocurriendo la falla, el NPT se detiene hasta que se vuelve al mismo punto previo a la falla en este caso hipotético se detendría hasta que la pistola estuviera detonada. En las Figuras 9 y 10 se observan los gráficos correspondientes de las detonaciones de ambas corridas de disparos.

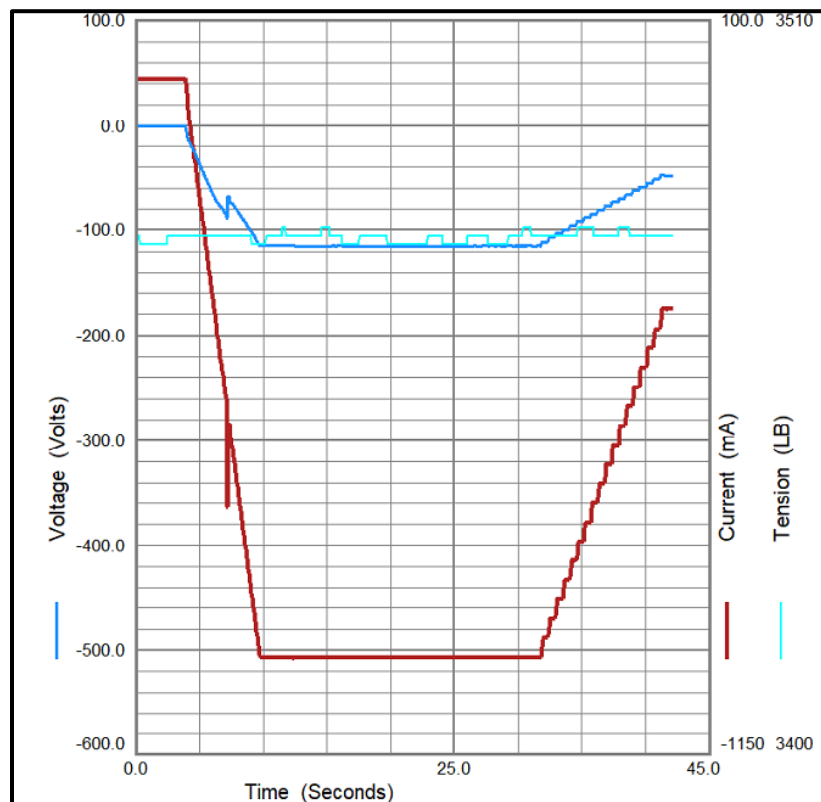


Figura 9. Registro de la respuesta eléctrica del disparo correspondiente a la primera corrida, donde se observa el comportamiento del voltaje, corriente y tensión en función del tiempo, indicativo de un evento de disparo exitoso

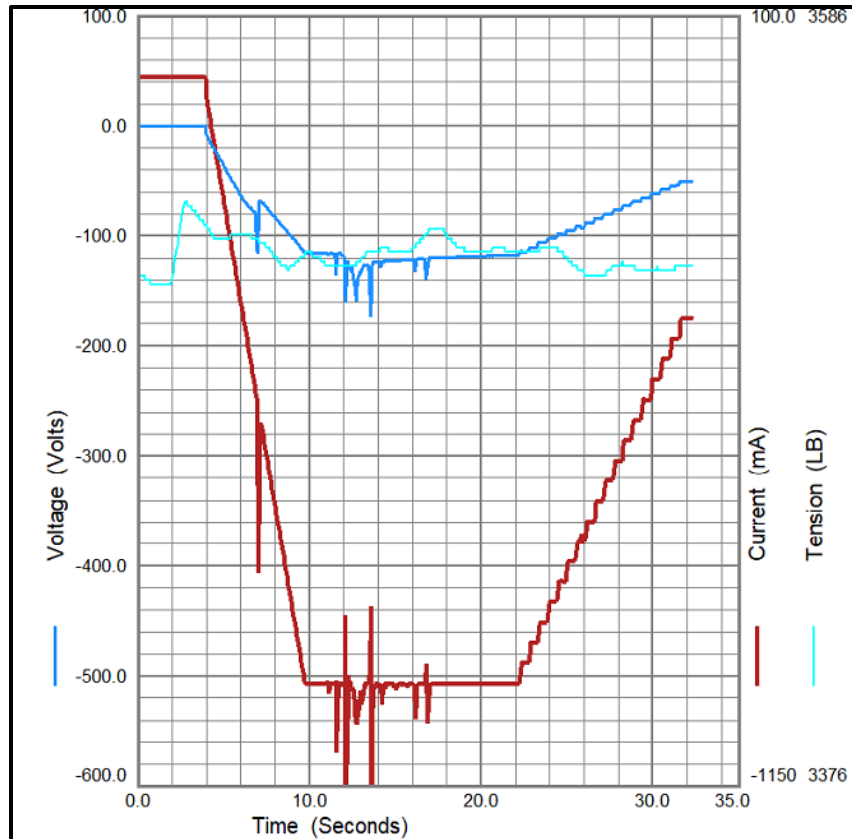


Figura 10. Registro de la respuesta eléctrica del disparo correspondiente a la segunda corrida, donde se observa el comportamiento del voltaje, corriente y tensión en función del tiempo, indicativo de un evento de disparo exitoso

Posterior a los disparos y confirmando visualmente en superficie la completa detonación de la pistola, se realizó una prueba de admisión por la válvula de la T.R. en el medio árbol de válvulas para confirmar el éxito de la comunicación entre el espacio anular y el aparejo. En caso de que durante la prueba se detectara que la comunicación no fuera efectiva se tendría que agregar más carreras de disparo hasta comprobar la comunicación.

Realizar más carreras para la compañía significa alargar más la operación y con ello los costos operativos ya que la grúa es esta operación era por un servicio de renta debido a la longitud de la sarta, costo de consumibles (hardware, consumibles, explosivos) y también para el cliente ya que aumenta los servicios realizados y el costo por tiempo de intervención. Por eso la importancia de la selección adecuada de carga premoldeada para generar el área de flujo y penetración de la tubería en cuestión.

Consideraciones de confidencialidad

Por políticas de confidencialidad del cliente y de la empresa prestadora del servicio, no se incluyen los registros completos del pozo en el presente informe. Únicamente se presenta una sección representativa del registro, debidamente anonimizada, con fines académicos y de análisis técnico.

Análisis de la operación

El correcto cálculo del punto de balance evitó tener complicaciones para poder descender con las herramientas en el pozo y así se aseguró que no se consumiera el tiempo operativo presupuestado mencionado al cliente. Al momento de realizar puncher de circulación es una excelente practica considerar el fluido del espacio anular por la presión hidrostática que genera, es uno de los puntos con más impacto en la operación ya que no haberlo considerado pudo provocar una fuerza adicional que empujara la herramienta hacia superficie y con el movimiento de caída perder la herramienta. Los costos generados para esa situación hubieran sido demasiados altos considerando los equipos necesarios para pescar cable y posteriormente la herramienta en fondo, para poder pescar cable y herramienta es necesario el uso de una tubería flexible, adicional se afectarían los tiempos del cliente e inclusive la producción del pozo.

De igual manera, durante la etapa de planeación se realizó el cálculo de la presión diferencial generada al establecer comunicación con el espacio anular, considerando las condiciones del fluido presente en el pozo. Estas actividades reforzaron la importancia de la planeación operativa, ya que una adecuada preparación previa constituye un factor determinante para el éxito de una intervención.

Al tener el registro de agujero descubierto y el tally de la tubería de producción facilitó el control de profundidad ya que se pudo hacer uso de ambos como complemento; sin embargo, si solo se hubiera tenido el tally de tubería también se hubiera podido colocar en profundidad las corridas ya que con el sensor de ccl se podía determinar cada accesorio y así conocer la profundidad real, además de poder proteger el sensor de presión – temperatura del aparejo de producción que mencionó el cliente. Si se tratara de disparos de producción un error en control de profundidad puede causar daños catastróficos para el pozo, se puede disparar un intervalo equivocado el cual no tenga hidrocarburo y el cliente invierta en operaciones de estimulaciones y limpiezas, sin embargo, al estar disparado otro intervalo nunca produciría; si se llegara a disparar un intervalo que contenga agua, se tendría un pozo con invasión de agua y afectaría la vida del pozo.

La profundidad es lo más importante que se vende como compañía de registros, por eso la importancia de un control de profundidad adecuado en la correlación y en las mediciones físicas de la sarta de registros para asegurar que el disparo se encuentra en la profundidad indicada, siendo este el punto de mayor impacto en la operación.

Una operación siempre se debe realizar con seguridad y calidad, todas las actividades realizadas se hicieron siguiendo los procedimientos internos los cuales nos dan la pauta para realizar una operación con cero incidentes y con cero fallas operativas. La selección de carga amortiguadas y la cantidad fue la adecuada ya que se tuvo comunicación con el espacio anular y se obtuvo el gasto esperado en el objetivo de operación por el activo, no se debe de olvidar tener en cuenta las especificaciones de las tuberías presentes ya que una mala selección de carga generará una penetración imparcial.

Posterior a las actividades de registros eléctricos, se instaló una unidad de tubería flexible con la cual se ejecutó la secuencia operativa de limpieza con solvente e inyección de nitrógeno por la tubería de producción. Como resultado de esta intervención, se recuperó a través de las válvulas del medio árbol correspondientes a la tubería de revestimiento un volumen de 96.4 m³ de fluido de control del espacio anular, así como una medición de $Q_o = 2,490$ bpd, comprobando la comunicación generada por el área de flujo entre la tubería de producción y el espacio anular bajo las condiciones particulares de operación descritas en este trabajo. Esto permitió alcanzar los objetivos planteados sin la ocurrencia de eventos operativos adversos de importancia.

Los resultados obtenidos respaldan la aplicación del método de disparo *puncher* como una alternativa operativamente viable para establecer comunicación entre el espacio anular y el aparejo de producción en intervenciones similares, siempre que se mantenga un control adecuado de la profundidad mediante un registro de correlación y la verificación de la detonación del disparo a partir del registro de la respuesta eléctrica.

Conclusiones

Se cumplió el objetivo del diseño de la operación con las tres corridas de registros eléctricos realizadas, permitieron ejecutar la operación de disparo tipo *puncher* de manera controlada, asegurando una adecuada correlación y una profundidad precisa de los disparos en el pozo. La correcta planeación y ejecución de estas corridas resultó fundamental para cumplir con los objetivos operativos establecidos en términos de tiempo, calidad y seguridad.

Los registros de correlación confirmaron la adecuada posición de las herramientas durante ambas corridas de disparo, mientras que los registros de la respuesta eléctrica del disparo mostraron el comportamiento característico asociado a eventos de detonación exitosos. Lo anterior permitió validar técnicamente la correcta ejecución de la operación y descartar la presencia de fallas durante el proceso de disparo.

Durante el desarrollo de este trabajo también se fortalecieron diversos conocimientos técnicos relacionados con la planeación y ejecución de operaciones de *wireline*. Uno de los principales aprendizajes fue el cálculo del punto de balance, particularmente relevante debido a las condiciones de presión en cabeza de pozo y al diámetro del cable utilizado, factores que podían complicar la operación si no se determinaban adecuadamente. Asimismo, el cálculo de cargas amortiguadas para generar el área de flujo requerida por el cliente, lo cual implicó el análisis de los datos técnicos tanto de la tubería como de la carga utilizada.

Adicionalmente, esta experiencia permitió integrar conocimientos teóricos con su aplicación en condiciones reales de operación, particularmente al comprender el principio de penetración de las cargas y analizar el registro de correlación durante la ejecución de una operación de disparo. Con base en este análisis se tomó la decisión de no realizar el disparo en el intervalo inicialmente previsto y ajustar la profundidad, debido a la presencia de un cople en la tubería, cuyo cambio de espesor podría afectar la penetración de la carga y, en consecuencia, reducir el área de flujo generada. Este tipo de situaciones contribuyó al desarrollo de criterio técnico para la toma de decisiones durante la operación.

Finalmente, la experiencia también reforzó que en trabajos que involucran explosivos la seguridad es el aspecto más importante, por lo que no existen atajos y es indispensable seguir estrictamente los procedimientos establecidos para prevenir incidentes y garantizar la integridad del personal y del equipo. En este sentido, la adecuada planeación, el análisis técnico de las condiciones del pozo y la correcta ejecución de las operaciones constituyen elementos fundamentales para el éxito de este tipo de intervenciones, aportando además experiencia y conocimiento aplicable en futuras operaciones de características similares.

Referencias

Alexander, C. K., & Sadiku, M. N. O. (2017). *Fundamentals of electric circuits* (6th ed.). McGraw-Hill Education.

Arroyo C., F. A., & Roig S., F. J. (s. f.). *Apuntes de introducción a los registros geofísicos de pozos* (Cap. 1). Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Departamento de Geofísica.

Core Laboratories. (s. f.). *Core Laboratories: Owen: Product catalog and technical documentation*.

Elmar. (2002). *E-Lite Series grease and hydraulic control module: Operating and reference manual* [Imagen]. En *Curso de control de presión de 10K* (Rev. 2, Sección 7, p. 73).

Nilsson, J. W., & Riedel, S. A. (2020). *Electric circuits* (11th ed.). Pearson.

Owen Oil Tools. (2014). *Registered data sheet: Perforating system evaluation, API RP 19B Section 1 (6.7G HERO-HR, SDP-2107-410)* [Ficha técnica]. Core Laboratories.

Owen Oil Tools. (2017). *PAC™ tubing punch: Product information* (Modelo 1-9/16" 6 spf).

Owen Oil Tools. (2022). *1.562" PAC™ tubing punch, 0.625"–0.750", HMX, PAC-1562-457 (PAC-1562-457-DS, R01)*. Core Laboratories.

Schlumberger. (s. f.). *Carga premoldeada (hueca)* [Figura]. Energy Glossary. https://glossary.slb.com/es/terms/s/shaped_charge

Schlumberger. (s. f.). *Shaped charge (carga premoldeada)*. Oilfield Glossary. https://glossary.slb.com/es/terms/s/shaped_charge

Weatherford. (2023). *10K pressure control operations* [Material de capacitación interna]. Weatherford.

Weatherford. (2023). *Wireline cable* [Procedimiento interno]. Weatherford.

Weatherford. (2023). *WL-Explosives basic training* [Material de capacitación interna]. Weatherford.

Weatherford. (2025). *Wireline services: Global ballistics standard operating procedure* [Procedimiento interno]. Weatherford.

Anexos

Anexo 1. Ficha técnica API cargas premoldeadas (ejemplo).



Registered Data Sheet Perforating System Evaluation, API RP 19B Section 1

API Form 19B-Section 1 Conforms to All Requirements of Section 1 Special Test - See Remarks/Exceptions below

Service Company AVAILABLE TO ALL FROM OWEN OIL TOOLS Explosive weight 6.7 gm, HMX powder, Case Material STEEL
 Gun OD & Trade Name 2.125" OD, TAG, 6 SPF, 60°, 6.7G HERO-HR (SDP-2107-410) Max Temp. °F 400 1 hr X 3 hr X 24 hr X 100 hr X 200 hr
 Manufacturer PERFORATOR, 2.125" SDP, 6.7G, HERO-HR, HMX Maximum Pressure Rating 23,000 psi, Carrier Material STEEL Shots/ft _____
 Manufacturer Charge Part No. SDP-2107-410 Date of Manufacture 9-26-2014 Shot Density Tested 6 Recommended Minimum ID for Running 2.3" in. Simultaneous
 Gun Type SCALLOPED, EXPENDABLE, HOLLOW CARRIER Available Firing Mode: X Selective X Debris X
 Phasing Tested 60 degrees; Firing Order: X Top down X Bottom up Debris Weight _____ gm/charge, _____ in³/charge
 Debris Description SMALL STEEL PIECES Remarks/Exceptions per Section 1.11 _____ RDX VERSION AVAILABLE AS SDP-2107-310

Casing Data 2.875 OD, Weight 6.4 lb/ft, API Grade, L-80 Date of Section 1 Test 10-30-2014
 Target Data 72" OD, Amount of Cement 7,399 lb, Amount of Sand 14,805 lb, Amount of Water 3,876 lb,
 Date of Compressive Strength Test 10-30-2014 Brquette Compressive Strength 5,575 psi, Age of Target 29 days

Shot No.	No 1	No 2	No 3	No 4	No 5	No 6	No 7	No 8	No 9	No 10	No 11
Clearance, in.	0.32	0.44	0.32	0.10	0.00	0.10	0.32	0.44	0.32	0.10	0.00
Casing Hole Diameter, Short Axis, in.	0.25	0.26	0.25	0.25	0.23	0.24	0.25	0.26	0.27	0.25	0.27
Casing Hole Diameter, Long Axis, in.	0.27	0.27	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.28	0.28	0.26	0.27
Average Casing Hole Diameter, in.	0.26	0.27	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.27	0.28	0.26	0.27
Total Depth, in.	25.2	25.2	25.7	24.7	25.7	25.5	26.0	28.7	25.0	25.5	25.2
Burr Height, in.	0.049	0.055	0.034	0.047	0.031	0.028	0.026	0.047	0.044	0.017	0.044

Shot No.	No 12	No 13	No 14	No 15	No 16	No 17	No 18	No 19	No 20	No 21	No 22
Clearance, in.	0.10	0.32	0.44	0.32	0.10	0.00	0.10	0.32	0.44	0.32	0.10
Casing Hole Diameter, Short Axis, in.	0.26	0.27	0.26	0.25	0.27	0.26	0.24	0.25	0.27	0.27	0.26
Casing Hole Diameter, Long Axis, in.	0.27	0.27	0.27	0.26	0.28	0.27	0.25	0.26	0.28	0.28	0.27
Average Casing Hole Diameter, in.	0.27	0.27	0.27	0.26	0.28	0.27	0.25	0.26	0.28	0.28	0.27
Total Depth, in.	27.0	27.2	27.7	25.7	25.2	18.7	25.0	21.2	24.7	18.7	25.2
Burr Height, in.	0.017	0.040	0.051	0.045	0.064	0.043	0.046	0.057	0.033	0.045	0.041

Remarks _____

Manufacturer's Certification

Type of Certification: _____ Self _____ Jerry Baldwin _____ Third Party

I certify that these tests were made according to the procedures as outlined in API 19B; Recommended Practice for Evaluation of Well Perforators, Second Edition, September 2006. All of the equipment used in these tests, such as the guns, jet charges detonator cord, etc., was standard equipment with our company for the use in the gun being tested and was not changed in any manner for the test. Furthermore, the equipment was chosen at random from stock and therefore will be substantially the same as the equipment that would be furnished to perforate a well for any operator. API neither endorses these tests nor recommends the use of the perforator system described.

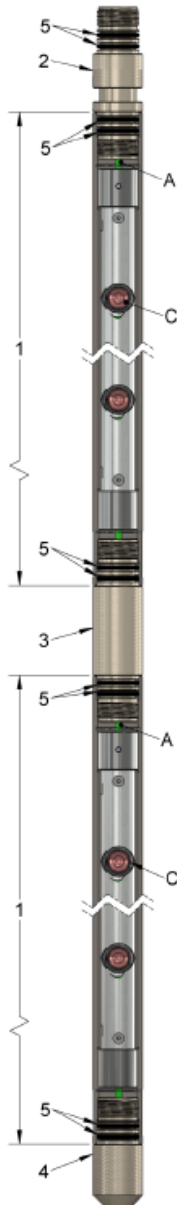
_____ X _____ CERTIFIED BY Matthew Clay Ballistics Engineering Manager 11-1-2014 Owen Oil Tools 12001 CR 1000, Godley, TX 76044
 (Company Official) (Title) (Date) (Company) (Address)
 _____ X _____ RECEIVED _____
 Name of test as it should appear on website: 2.125" OD, TAG, 6 SPF, 60°, 6.7G HERO-HR (SDP-2107-410)
 Name of test as it appears on application and application date: 2.125" OD, TAG, 6 SPF, 60°, 6.7G HERO-HR (SDP-2107-410)

Anexo2. Ficha técnica Pistola puncher 1 9/16”



PAC™ Tubing Punch 1-9/16” 6spf 0° Threaded Gun System

PRODUCT INFORMATION:



ITEM	PART NO.	DESCRIPTION
1	S16-0638-O02A	Shipping Assembly, 1-9/16" x 2', 6 spf, 0° (6 shots)
	S16-0638-O04A	Shipping Assembly, 1-9/16" x 4', 6 spf, 0° (18 shots)
	S16-0638-O07A	Shipping Assembly, 1-9/16" x 7', 6 spf, 0° (36 shots)
	S16-0638-O11A	Shipping Assembly, 1-9/16" x 11', 6 spf, 0° (60 shots)
	S16-0638-O15A	Shipping Assembly, 1-9/16" x 15', 6 spf, 0° (84 shots)
	S16-0638-O21A	Shipping Assembly, 1-9/16" x 21', 6 spf, 0° (120 shots)
2	TAG-1562-280	Top Sub, 1-9/16"
3	TAG-1562-281	Tandem Sub, 1-9/16"
	TAG-1562-285	Orienting Tandem Sub, 1-9/16"
4	TAG-1562-078	Bull Plug, 1-9/16"
5	OOO-N569-215	O-Ring, #215, 90 Duro Nitrile, see ref. section
	OOO-V569-215	O-Ring, #215, 90 Duro Viton, see ref. section
A	A538010	Detonating Cord, 40 gr., RDX, LS - see ref. section
	A545010	Detonating Cord, 40 gr., HMX, LS - see ref. section
	DET-0500-011	Detonating Cord, 40 gr., HNS, LS - see ref. section
	A574010	Detonating Cord, 60 gr., HMX, LS - see ref. section

ITEM	CHARGE PART NUMBER	EXPLOSIVE TYPE	HOLE SIZE (IN.)	*PENETRATION (IN.)
C	PAC-1562-450	HMX	0.31	0.125 - 0.188
	PAC-1562-451	HMX	0.39	0.250 - 0.375
	PAC-1562-453	HMX	0.41	0.375 - 0.500
	PAC-1562-455	HMX	0.40	0.500 - 0.625
	PAC-1562-457	HMX	0.28	0.625 - 0.750
	PAC-1562-459	HMX	0.19	0.813 - 0.875

SPECIFICATIONS:

Pressure Rating	172.4 Mpa	25,000 psi
Temperature Rating	UP TO 260°C	UP TO 500°F
Tensile Strength	28,470 daN	64,000 lbf
Carrier Thread	1-9/32-12 Stub Acme	
Gun Weight Loaded	4.06 kg/m	2.72 lb/ft
Torsional Yield	949 N-m	700 lb-ft

***NOTE: Consult Owen for casing grades above P-110 or containing chrome**

Anexo3. Ficha técnica de la carga tipo puncher (PAC-1562-457)



1.562" PAC™ Tubing Punch 0.625" - 0.750", HMX, PAC-1562-457

TECHNICAL INFORMATION:

APPLICATION:

This charge was developed to run in a 1.562in. 4spf or 6spf O² carrier and perforate wall thicknesses ranging from 0.625 - 0.760 in. For this system to operate properly, the gun must be run deoctralized against the inner tubular.

SPECIFICATIONS:

NET EXPLOSIVE WEIGHT:

3.2 grams

TOTAL CHARGE WEIGHT:

39.7 grams

TEMPERATURE RATING:

400°F - 1 hour
335°F - 24 hours
310°F - 100 hours

PACKAGING:

QUANTITY PER BOX:

20

NET EXPLOSIVE WEIGHT:

64 grams

NET CHARGE WEIGHT:

794 grams

TOTAL PACKAGE WEIGHT:

1,360 grams

BOX DIMENSIONS:

7 in. W x 14 in. L x 7 in. D

SHELF LIFE:

3 years (left in original packaging)

PACKAGE TYPE:

Charges in foil bag with desiccant; inside cardboard box with cardboard spacers

SHIPPING:

CLASSIFICATION:

1.4D

DOT NUMBER:

EX1994060290

CE NUMBER:

0080.EXP.01.0032

UN NUMBER:

UN0440

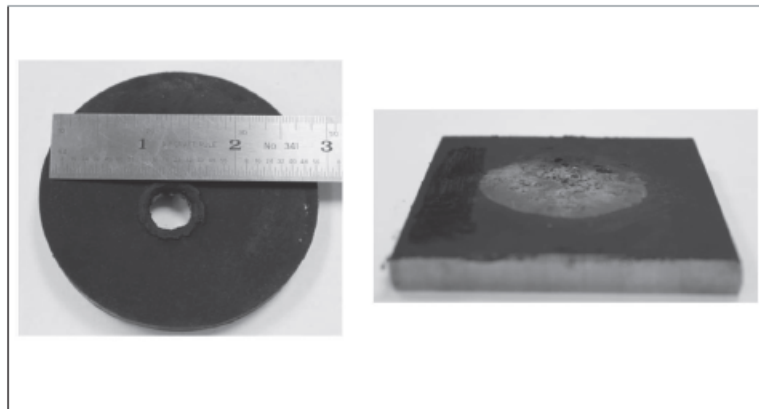
PROPER SHIPPING NAME:

CHARGES, SHAPED



PERFORMANCE DATA:

WALL THICKNESS RANGE (IN.)	HOLE SIZE (IN.)	DAMAGE (IN.)
0.625 - 0.760*	0.28"	0.02 penetration*
*Assuming L-80	*Avg. over thickness range	*with 0.200 clearance



Left Figure: PAC-1562-457 shot in 0.625 in. thick plate with witness plate behind and 0.200 in. fluid clearance between (0.625 in. plate shown)
Results: Hole size in 0.625 in. plate = 0.28 in.

Right Figure: PAC-1562-457 shot in 0.625 in. thick plate with witness plate behind and 0.200 in. fluid clearance between (witness plate shown)
Results: Damage to witness plate= 0.02 in.

NOTES:

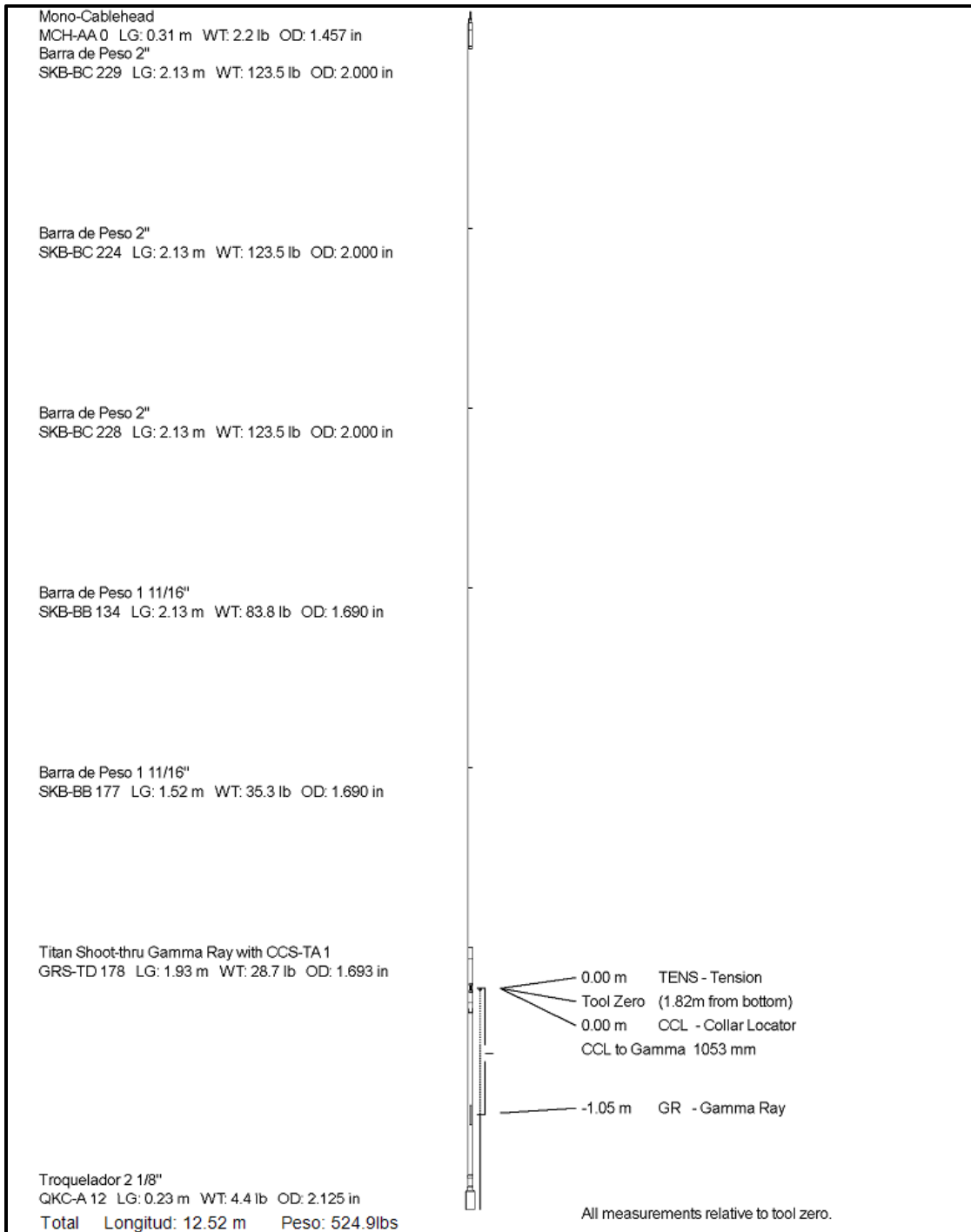
Contact your local Owen representative for casing grades above L-80 or containing chrome.

© 2016-2022 Owen Oil Tools. All Rights Reserved

Anexo 4.1 Diagrama de herramientas – Corrida de calibración

Herramientas:

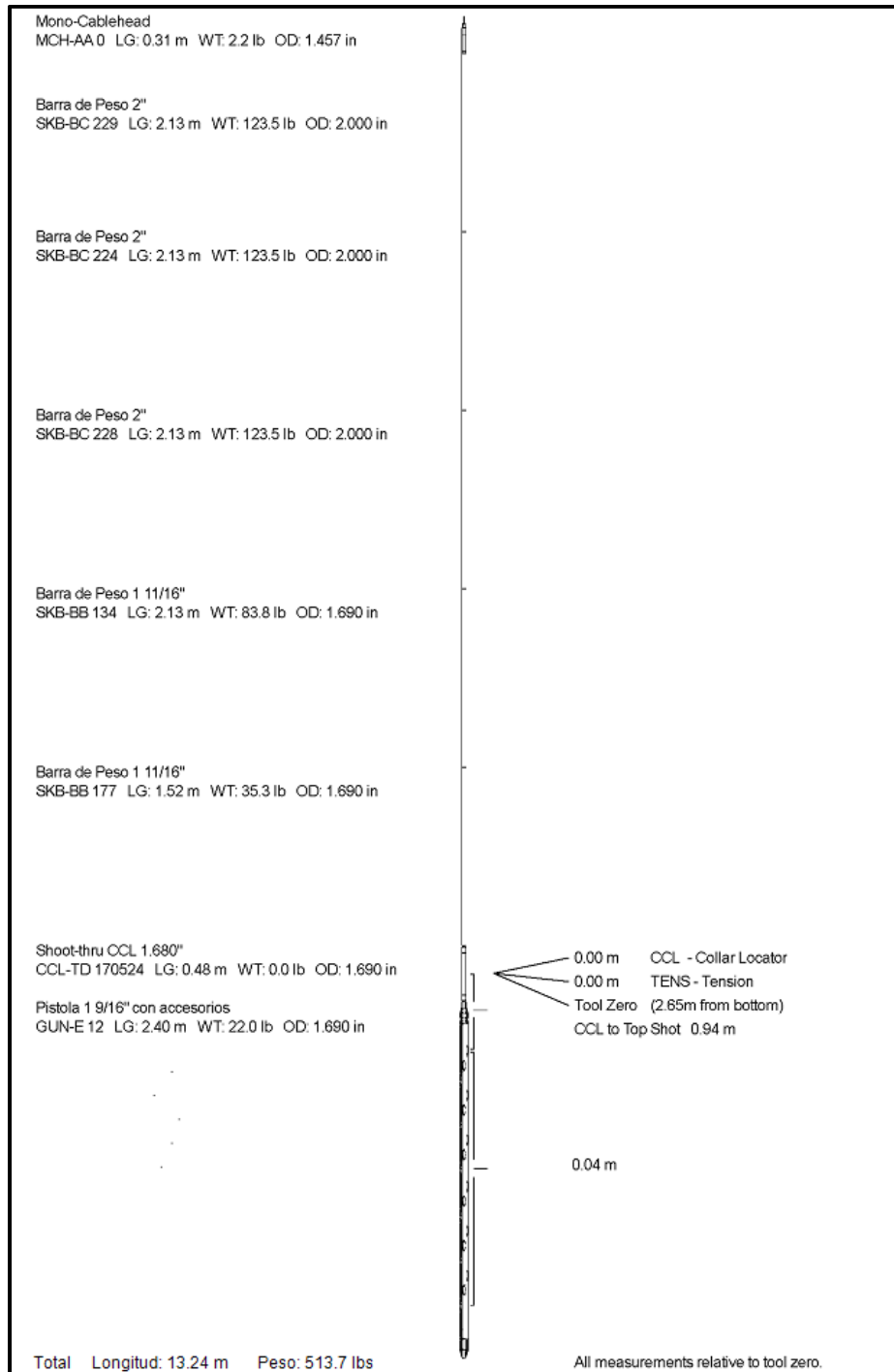
- Barras de peso
- Sonda de Gamma Ray / CCL
- Troquelador



Anexo 4.2 Diagrama de herramientas – Corrida de puncher No. 1

Herramientas:

- Barras de peso
- Sonda de CCL
- Pistola puncher 1 9/16” con accesorios (magnetos)



Anexo 4.3 Diagrama de herramientas – Corrida de puncher No. 2

Herramientas:

- Barras de peso
- Sonda de CCL
- Pistola puncher 1 9/16” con accesorios (magnetos)

