



2. IMPORTANCIA DE DISPONER DE MUESTRAS REPRESENTATIVAS DE LAS ROCAS DE LOS YACIMIENTOS

2.1 INTRODUCCIÓN AL CORTE DE NÚCLEOS

La administración apropiada de la explotación de un yacimiento puede incrementar notablemente la recuperación de los hidrocarburos. Para desarrollar las estrategias adecuadas de la administración, se requiere de un conocimiento exacto de las características del medio poroso por el cual fluye el fluido del yacimiento, y la calidad y las características de la roca que define este medio poroso. Además, la roca que no se considera parte del yacimiento es importante caracterizarla para ajustar modelos de la cuenca y ayudar en operaciones de perforación de los pozos.

Una de las fuentes de información más valiosas, sobre las características litológicas y físicas, así como del contenido de fluidos de las rocas, es una muestra obtenida directamente de las formaciones con los fluidos que contienen. Extracción de núcleos es el término que se refiere a la técnica por medio de la cual se obtienen muestra relativamente grandes (por comparación con los recortes de perforación usuales) del material del yacimiento en su estado natural y de su lugar de origen llevándolas a la superficie para realizarles un amplio examen geológico-petrofísico. Normalmente la información petrofísica más importante requerida de la técnica de muestreo es:

- ✓ Porosidad: que es una medida de capacidad de la formación para contener fluidos.
- ✓ Permeabilidad: que indica si los fluidos que contiene la formación pueden fluir a velocidades suficientemente rápidas para permitir la producción económica de los hidrocarburos.
- ✓ Saturación de fluidos (agua e hidrocarburos): que indica la cantidad de fluidos por unidad de espacio poroso.

La información detallada de las formaciones es esencial para la evaluación exitosa de los programas de recuperación primaria y secundaria. Las muestras de rocas pueden revelar información crítica subsuperficial. Con núcleos de calidad, compañías petroleras pueden entender totalmente las características de la formación y de una manera más eficiente alcanzar objetivos de producción.

Los núcleos de alta calidad son muy valiosos para definir, por ejemplo, aspectos litológicos más precisos, necesarios para construir el modelo geológico del yacimiento. Estos modelos son básicos e imprescindibles para la caracterización petrofísica y evaluación del yacimiento petrolero.

La calidad del núcleo es la llave. La muestra debe ser obtenida sin alterar sus propiedades nativas, originales o in-situ. Con el uso apropiado de técnicas e instrumentos especializados pueden obtenerse muestras de rocas de calidad.

A través de la extracción del núcleo, Ingenieros, Geólogos y Petrofísicos aumentan el acceso a la información del yacimiento que no puede determinarse de ninguna otra manera. Datos sobre la litología de la formación, características del flujo, capacidad de almacenamiento y potencial de producción son apenas algunos de los tipos de información invaluable que se pueden obtener por medio de un programa exitoso de núcleo. Este capítulo discute lo que es la extracción del núcleo y los beneficios asociados con el proceso.

2.2 LA IMPORTANCIA DE NUCLEAR

Los estudios del yacimiento intentan definir e interpretar parámetros tanto geológicos como de ingeniería (petrofísicos) y dictan el programa de análisis del núcleo. El análisis de núcleo debe integrarse con el de campo y datos de producción para descartar las incertidumbres del yacimiento que no pueden ser eliminadas con los registros de pozo, las pruebas de pozo o los datos sísmicos. Estas exigencias definen los objetivos de la extracción de núcleos que, a su vez, controlan el fluido del núcleo, los equipos y su manejo principalmente. En la mayoría de los casos, estos objetivos no pueden ser obtenidos con el núcleo recuperado en un solo pozo.

El corte de núcleos es así una parte importante del proceso del ciclo de vida del yacimiento. Con la selección del pozo nucleado se verifica o proporciona máxima información real geológica y de ingeniería, para establecer un modelo de producción del yacimiento.

La obtención y manejo de las muestras de roca deberán seguir las prácticas establecidas, para obtener la mayor cantidad de información representativa requerida de las muestras, y así, certificar la representatividad de las propiedades determinadas en las pruebas de laboratorio subsecuentes.

Se ha observado un incremento en la actividad de toma y análisis de núcleos debido a que éstos son muestras reales del yacimiento y la mayor parte de los análisis que se realizan al núcleo en el laboratorio son mediciones directas de propiedades geológicas y petrofísicas.

La disposición y calidad de la información de núcleos son críticas para la evaluación del proyecto mediante reducción de riesgos. Se debe medir la cantidad de roca necesaria para cumplir con todos los objetivos para el estudio de los núcleos contra la inversión requerida para tomar los núcleos y realizar su análisis. Cada proyecto será diferente al respecto, dependiendo del tamaño del proyecto, las incertidumbres y riesgos asociados con el proyecto, su impacto en la evaluación del mismo, y los costos asociados con la obtención de la información requerida. Por ejemplo, yacimientos complejos pueden requerir mucha información para optimizar su explotación, pero resulta imprudente tomar muchos núcleos debido a una baja ganancia obtenida por el proyecto, justamente porque es un yacimiento complejo difícil de explotar. Por el otro lado, a veces los mejores yacimientos tienen roca relativamente simple, ajustan mejor a los modelos sencillos utilizados para caracterizar el yacimiento por mediciones indirectas, y por ende, requieren pocos núcleos solo para confirmar la veracidad de las mediciones indirectas.

La extracción de núcleos es necesaria para evaluar el potencial de producción en pozos exploratorios y en pozos de desarrollo. Tales muestras de roca son importantes para determinar el aspecto estructural y las condiciones estratigráficas del subsuelo y ayudan a establecer nuevas ubicaciones de perforación, a definir los límites del campo, a la identificación de contactos de los fluidos y a detallar las variaciones petrofísicas a través del yacimiento.

La extracción de núcleos proporciona la única representación válida de la formación, es el único medio de medida directa. Todos los demás métodos, como los registros de pozos, requieren de interpretación. Aún cuando los registros de pozos juegan una parte importante en la identificación y en la caracterización de los yacimientos, sólo la extracción de núcleos puede asegurar la correlación confiable de aquellos registros a las condiciones reales subsuperficiales. Y para el análisis más avanzado, sólo las muestras de núcleos pueden proporcionar datos críticos como porosidades, permeabilidades y saturaciones de fluidos, entre otros.

2.3 EL PROPÓSITO DE NUCLEAR

El propósito que se persigue al perforar un pozo petrolero es localizar una estructura que contenga hidrocarburos y que produzca aceite y/o gas en cantidades suficientes para recuperar el costo de perforación y terminación del pozo y obtener ganancias. Durante el curso de la perforación, por lo tanto, puede ser necesaria mayor información de las características litológicas y contenido de los fluidos de las formaciones antes de tomar una decisión para terminar el pozo y gastar sumas adicionales en la terminación, incluyendo material y servicios.

Dependiendo de las personas que estén dirigiendo el proyecto, los objetivos del programa de núcleo serán diferentes. Debe entenderse que los objetivos del corte de núcleos en ocasiones no son los mismos para los Ingenieros de perforación, los Ingenieros de yacimientos, Geólogos, Petrofísicos y Analistas del núcleo.

La extracción del núcleo y el análisis de muestras de núcleos son esenciales en la exploración, el desarrollo, y en las fases de producción en la industria petrolera. Esta información proporciona muy buenos indicios a los ingenieros para mejorar la comprensión del yacimiento y la predicción de su comportamiento. Si se almacenan apropiadamente, las muestras de núcleo pueden ayudar en el desarrollo del yacimiento muchos años después de que el pozo es perforado, ver Figura 2.1.




Figura 2.1. Lugar donde se almacenan los núcleos.

Lo ideal en el muestreo es obtener el 100% de recuperación de la formación nucleada y sacar el núcleo a la superficie sin alterar el contenido de fluidos de la formación. En la práctica, no siempre es posible obtener completamente las metas deseadas. El objetivo que más a menudo se ha sacrificado es la conservación del contenido original de fluidos en los núcleos, sin alterarse.

2.4 MÉTODOS DE NUCLEO

Núcleo: Porción de roca extraída del subsuelo, cortada mediante el uso de una barrena especial, denominada corona. Debido a que la corona es hueca en su parte central, permite recuperar una porción cilíndrica de la roca que va cortando. Los núcleos convencionales o de fondo de agujero son los obtenidos mediante el corte de la roca, cuando al mismo tiempo dicho corte incrementa la longitud perforada del pozo. Los núcleos de pared son los que se obtienen al cortar una porción de la roca de las paredes de un pozo ya perforado y no incrementan la profundidad de la perforación.

Nuclear: es cortar una muestra del material de la formación a través del pozo. Hasta donde sea posible, se toman las muestras de roca en un estado inalterado, físicamente intacto. El material de la formación puede ser roca sólida, roca deleznable, conglomerados, arenas sin consolidar, carbón, lutitas, gumbos (especie de lodo negro gelatinoso), o arcillas. El núcleo puede realizarse con varios métodos y con una variedad de herramientas. Pero en los yacimientos petroleros, la extracción de los núcleos generalmente se lleva a cabo por dos métodos:


 **Extracción de núcleos de fondo o Convencionales:** El diámetro del núcleo oscila desde 1¾" hasta 5¼" y es recuperado dentro de un barril muestrero en pozos verticales, desviados y horizontales. Dependiendo del sistema utilizado para la operación de nuclear, el núcleo puede ser recuperado en estado preservado o no preservado, y puede ser usado para aplicaciones analíticas muy diversas.

Los núcleos de diámetro completo son tomados con diversas opciones con un barril convencional o adaptado para diferentes técnicas practicadas con sistemas específicos. Se ha hecho costumbre el uso de la funda de aluminio, la cual es apropiada en la mayoría de los casos, pero no siempre se tiene la necesidad de ser utilizada.

Los núcleos convencionales se pueden cortar en una variedad de tamaños y diámetros, variando entre 6 y 27 metros de longitud y 1.25 a 6 pulgadas (3.18 a 15.25 centímetros) de diámetro, dependiendo del equipo utilizado. Los diámetros más comunes son de 2.5 pulgadas (6.35 centímetros) hasta 4 pulgadas (10.15 centímetros). Los tamaños mayores han sido utilizados en objetivos relativamente someros y con pozos de mayor diámetro; agujeros de 12.25" por ejemplo, perforado así para acomodar gastos altos de producción, bombas sumergibles o pozos perforados para inyección de fluidos.

Los núcleos convencionales se pueden tomar en todo tipo de litología, solo la técnica de muestreo cambia de acuerdo a algunas variaciones en litología; por ejemplo, diferencias en corte de núcleos en formaciones consolidadas o no consolidadas. El objetivo del estudio puede influir en la técnica de la toma de núcleos o variaciones de equipo utilizado, según la necesidad de tomar núcleos orientados o de preservar fluidos del yacimiento.

Las muestras de diámetro completo son más recomendadas para yacimientos con sistemas de fracturas, con porosidad a gran escala (vúgulos y/o cavernas) y muy heterogéneos. También es lo más recomendable para rocas conglomeráticas y brechas con clastos grandes. La caracterización a nivel de tapones (muestras pequeñas) únicamente proporciona propiedades petrofísicas de la matriz de la roca. Por lo general, en brechas, los clastos representan "volúmenes" del yacimiento que no es almacén de hidrocarburos. Si se toma un tapón o núcleo de pared en un clasto, probablemente no será representativo del yacimiento. Por otro lado, si se intenta tomar un tapón en roca fracturada, el tapón se romperá y no se podrá obtener una muestra de la parte del yacimiento que mayor permeabilidad tiene.

 **Extracción de núcleo de pared:** Muestras con forma de tapón, cilíndricas, generalmente de 1" de diámetro, son recuperadas de las paredes del agujero por medio de técnicas de percusión o por extracción con rotaria pequeña. Este muestreo tiene lugar en las primeras pulgadas de la pared del agujero, en regiones que generalmente están invadidas por el filtrado de fluido de perforación. Las muestras resultantes no están preservadas y frecuentemente se dañan por el procedimiento de la recuperación. Este tipo de muestras es de uso limitado desde un punto de vista analítico.

Aunque son preferidos los núcleos de pared tomados con rotaria pequeña, con las muestras cortadas en la pared del pozo por percusión también se obtienen excelentes resultados para ciertas pruebas. Aunque la textura de la roca es alterada por el disparo de la cápsula, varias pruebas se pueden realizar, independientemente de la textura de la muestra, por ejemplo: análisis mineralógicos, análisis bioestratigráficos, descripción de litología, análisis de las saturaciones de fluidos, y otras. Las limitaciones son para los análisis que requieren una textura o constitución de roca intacta, sin alteración.

Los núcleos de pared tomados por disparo (percusión) son económicos y su adquisición es rápida, ideal en circunstancias cuando los costos del equipo de perforación y servicio son altos. En poco tiempo se pueden tomar 50 muestras (una sola bajada), y en muchos pozos se toma un promedio de 100 a 300 muestras, dependiendo del alcance de los estudios y los espesores de las formaciones de interés. Se debe variar el tamaño de la carga explosiva según la consolidación y tipo de formación seleccionada para el muestreo. Por lo general, se toma entre dos y tres muestras por metro debido a la pobre recuperación que tendrían algunos intentos. La recuperación de muestras es menor en formaciones con moderada a buena consolidación, o lutitas muy compactas.

Las muestras de pared no son representativas en formaciones con “macro” porosidad, o sea, con grandes fracturas o cavidades de disolución. Tampoco son adecuadas en brechas o areniscas con tamaño de grano medio mayor del promedio (por encima 1000 μ). Bajo el mismo concepto, no se pueden tomar núcleos de pared que sean representativos en conglomerados. Tales muestras son apropiadas para areniscas de granos medios a gruesos o tamaños menores, calizas con porosidad intercrystalina o intergranular (mudstones y grainstones, algunos wackestones, mientras no sean fracturadas) y lutitas.

Las muestras de pared son cortadas después de tomar los registros geofísicos del pozo, bien sea al término de la perforación del pozo o en varias etapas intermedias, antes de asentar la tubería de revestimiento. No es obligatorio esperar una etapa de registros para tomar las muestras, de pared, aunque esto facilita la ubicación exacta de las muestras que se quieren tomar. Una de las grandes ventajas que tiene el corte de muestras de pared es tener el registro geofísico de pozo a la mano, antes de programar su toma. Con un núcleo convencional o de fondo siempre se corre el riesgo de cortarlo fuera del objetivo, debido a correlaciones inexactas de las cimas de las formaciones.

Se debe tener en cuenta que las paredes de los pozos son susceptibles a la invasión de filtrados y compuestos del lodo de perforación. Mientras mayor sea el tiempo y sobrebalance (presión hidrostática > presión de formación) a que esté expuesta la zona donde se toma el núcleo de pared, mayor daño tendrá, lo cual afectará los resultados de las pruebas realizadas a las muestras. Este efecto también se incrementa cuando la roca es de mayor permeabilidad.

2.5 ANÁLISIS DE NÚCLEOS EN LABORATORIO Y APLICACIÓN DE RESULTADOS.

Las muestras de roca y los diversos análisis que se realizan sobre ellas en el laboratorio proporcionan información fundamental e imprescindible para llevar a cabo múltiples trabajos y estudios que comprenden la exploración y explotación de los yacimientos petroleros.

La amplia gama de pruebas de laboratorio requieren de muestras o núcleos de diferentes tipos, cortados bajo ciertas condiciones, en ocasiones muy especiales, y preservados en forma apropiada para alcanzar los objetivos que fundamentaron la toma de núcleos en el pozo seleccionado.

Es conveniente señalar que si se pone mucha atención en el proceso de recuperación de núcleos en los pozos para llevar al laboratorio muestras representativas de la roca del yacimiento, también se deben efectuar los diversos análisis en la mejor forma posible, reproduciendo las condiciones del yacimiento si así lo requieren las pruebas, con el fin de disponer de buena información para procesarse, igualmente, en forma apropiada en diversos proyectos de la búsqueda y extracción de hidrocarburos.

A continuación se presentan resúmenes de las distintas pruebas de laboratorio sobre núcleos y la aplicación de los resultados en áreas técnicas de Ingeniería Geológica, Geofísica y Petrolera.

Tabla 2.1. Análisis de laboratorio sobre muestras de rocas y aplicación de resultados en áreas técnicas de geología y geofísica.

ANÁLISIS EN LABORATORIO	APLICACIONES DE RESULTADOS	GEOFÍSICA
<p>GEOLÓGICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> ☞ Litológicos ☞ Petrográficos ☞ Granulométricos ☞ Mineralógicos ☞ Paleontológicos ☞ Radioactividad Natural ☞ Paleomagnetismo <p>PETROFÍSICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> ☞ Porosidad ☞ Permeabilidad Absoluta ☞ Velocidad Acústica ☞ Densidad 	<p>GEOLOGÍA</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ DETERMINACIÓN DE LA EDAD DE LAS FORMACIONES. ✓ DEFINICIÓN DE AMBIENTES SEDIMENTARIOS. ✓ ESTUDIOS DE DIAGÉNESIS. ✓ DETERMINACIÓN DE ASPECTOS ESTRATIGRÁFICOS Y ESTRUCTURALES DE SUBSUOLO. ✓ DEFINICIÓN DE HETEROGENEIDADES GEOLÓGICAS DE LAS FORMACIONES DE LOS YACIMIENTOS. ✓ DETERMINACIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE FACIES. ✓ PREPARACIÓN DETALLADA DE COLUMNAS GEOLÓGICAS. ✓ DETERMINACIÓN DE TIPO, CANTIDAD Y DISTRIBUCIÓN DE ARCILLAS. ✓ DEFINICIÓN A DETALLE DEL MODELO GEOLÓGICO DE LOS YACIMIENTOS (COMBINACIÓN DE ESPECTOS SEDIMENTALÓGICOS, ESTRATIGRÁFICOS Y ESTRUCTURALES). 	<p>GEOFÍSICA</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ CALIBRACIÓN DE LOS REGISTROS DE VELOCIDAD ACÚSTICA (SÓNICO) Y DE DENSIDAD. ✓ INTERPRETACIÓN DE REGISTROS SÍSMICOS A NIVEL DE POZO (VSP). ✓ PREPARACIÓN DE MAPAS DE TIEMPO O DE PROFUNDIDAD DE DATOS SÍSMICOS. ✓ INTERPRETACIÓN DE SECCIONES SÍSMICAS. ✓ DETERMINACIÓN DE MODELOS DE ATRIBUTOS SÍSMICOS DE LAS FORMACIONES O DE LOS YACIMIENTOS. ✓ RELACIÓN ENTRE ATRIBUTOS SÍSMICOS Y ASPECTOS GEOLÓGICOS.

Tabla 2.2. Análisis en laboratorio sobre muestras de rocas y aplicación de resultados en áreas técnicas de perforación, terminación y reparación de pozos.

ANÁLISIS EN LABORATORIO	APLICACIONES DE RESULTADOS	
	PERFORACIÓN DE POZOS	TERMINACIÓN Y REPARACIÓN DE POZOS
<p>GEOLÓGICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> ☞ Litológicos ☞ Petrográficos ☞ Granulométricos ☞ Mineralógicos ☞ Radioactividad Natural <p>PETROFÍSICOS BÁSICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> ☞ Porosidad ☞ Permeabilidad Absoluta ☞ Velocidad Acústica ☞ Densidad ☞ Daño a la formación <p>GEOMECÁNICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> ☞ Abrasión ☞ Dureza ☞ Compresión ☞ Modulo de Young ☞ Relación de Poisson ☞ Fracturamiento <p>QUÍMICO</p> <ul style="list-style-type: none"> ☞ Acidificación 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ESTABLECIMIENTO DE PROGRAMAS GENERALES DE PERFORACIÓN DE POZOS (VERTICALES, DESVIADOS, LATERALES, HORIZONTALES). ✓ DEFINICIÓN DE TÉCNICAS DE PERFORACIÓN (SOBRE O BAJO BALANCE). ✓ PREPARACIÓN DE PROGRAMAS DE LODO DE PERFORACIÓN. ✓ PREPARACIÓN DE PROGRAMAS DE BARRENAS Y DE TUBERIAS DE REVESTIMIENTO. ✓ PREPARACIÓN DE PROGRAMAS DE NUCLEO Y DE REGISTROS GEOFÍSICOS DE POZO. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ INTERPRETACIÓN DE REGISTROS GEOFÍSICOS DE POZO. ✓ SELECCIÓN DE LOS INTERVALOS A TERMINAR O REPARAR. ✓ DISEÑO DE LA TERMINACIÓN DE LOS POZOS. ✓ DISEÑO DE LA REPARACIÓN DE LOS POZOS (CAMBIO DE INTERVALO PRODUCTOR). ✓ DISEÑO DE LAS ESTIMULACIONES A LAS FORMACIONES PRODUCTORAS (ACIDIFICACIÓN Y FRACTURAMIENTO)

Tabla 2.3. Análisis en laboratorio sobre muestras de rocas y aplicación de resultados en áreas técnicas de caracterización, comportamiento y simulación de yacimientos.

APLICACIONES DE RESULTADOS		
ANÁLISIS EN LABORATORIO	CARACTERIZACIÓN DE FORMACIONES Y DE YACIMIENTOS (ESTÁTICA Y DINÁMICA)	COMPORTAMIENTO Y SIMULACIÓN DE YACIMIENTOS
<p>GEOLÓGICOS BÁSICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> ☞ Litológicos ☞ Petrográficos ☞ Granulométricos ☞ Mineralógicos ☞ Radioactividad Natural ☞ Paleomagnetismo <p>PETROFÍSICOS BÁSICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> ☞ Porosidad ☞ Permeabilidad Absoluta ☞ Velocidad Acústica ☞ Densidad ☞ Saturación de Fluidos ☞ Propiedades Eléctricas ☞ Presión Capilar ☞ Mojabilidad <p>PETROFÍSICAS ESPECIALES</p> <ul style="list-style-type: none"> ☞ Desplazamiento de Fluidos ☞ Permeabilidad Efectiva ☞ Permeabilidad Relativa ☞ Flujo Fraccional de Fluidos ☞ Compresibilidad ☞ Compatibilidad Roca-Fluidos <p>QUÍMICO</p> <ul style="list-style-type: none"> ☞ Capacidad de Intercambio catiónico 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ PROGRAMACIÓN DE TOMA DE REGISTROS GEOFÍSICOS DE POZO. ✓ CALIBRACIÓN DE REGISTROS GEOFÍSICOS DE POZOS Y SU INTERPRETACIÓN. ✓ DISTRIBUCIONES VERTICALES DE POROSIDAD Y PERMEABILIDAD ABSOLUTA A NIVEL DE POZO. ✓ GRADO DE HETEROGENEIDAD DE PROPIEDADES PETROFÍSICAS A NIVEL DE YACIMIENTO. ✓ ZONIFICACIONES PETROFÍSICAS. ✓ DETERMINACIÓN DE UNIDADES DE FLUJO. ✓ DISTRIBUCIÓN ORIGINAL DE HIDROCARBUROS. ✓ DETERMINACIÓN DE CONTACTOS GAS /ACEITE E HIDROCARBUROS/AGUA Y DE ZONAS DE TRANSICIÓN. ✓ ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN ORIGINAL DE HIDROCARBUROS. ✓ DETERMINACIÓN DE SATURACIONES IRREDUCTIBLES Y RESIDUALES DE FLUIDOS. ✓ INTERPRETACIÓN DE MÚLTIPLES PRUEBAS DE VARIACIÓN DE PRESIÓN EN POZOS. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ DETERMINACIÓN DE EFICIENCIAS DE DESPLAZAMIENTO A DIVERSAS ESCALAS. ✓ DETERMINACIÓN DE FACTORES DE RECUPERACIÓN. ✓ ESTIMACIÓN DE VOLUMENES RESIDUALES DE HIDROCARBUROS. ✓ DIVERSOS ESTUDIOS DE COMPORTAMIENTO PRIMARIO A NIVEL PARCIAL O TOTAL DEL YACIMIENTO. ✓ DIVERSOS ESTUDIOS DE COMPORTAMIENTO SECUNDARIO A NIVEL PARCIAL O TOTAL DEL YACIMIENTO. ✓ DIVERSOS ESTUDIOS DE SIMULACIÓN A NIVEL PARCIAL O TOTAL DEL YACIMIENTO. ✓ ESTIMACIÓN DE RESERVAS.

Tabla 2.4. Análisis de laboratorio sobre muestras de roca y aplicación de resultados en áreas técnicas de producción.

ANÁLISIS EN LABORATORIO		APLICACIONES DE RESULTADOS
		PRODUCCIÓN
<p><u>GEOLOGICOS BASICOS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ☞ Petrográficos ☞ Litológicos ☞ Granulométricos ☞ Mineralógicos <p><u>GEOLOGICOS ESPECIALES</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ☞ Sistemas de fracturas naturales <p><u>GEOMECAÑICOS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ☞ Dureza de la formación ☞ Compresión ☞ Módulo de Young ☞ Relación de Poisson 	<p><u>PETROFISICOS BASICOS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ☞ Porosidad ☞ Permeabilidad Absoluta <p><u>PETROFISICOS ESPECIALES</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ☞ Características de las fracturas. <p><u>QUÍMICOS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ☞ Solubilidad de la rocas <p><u>ESPECIALES DIVERSOS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ☞ Fracturamiento hidráulico ☞ Selección de sustentante o apuntalante ☞ Flujo de ácidos sobre núcleos ☞ Restauración de la permeabilidad ☞ Consolidación de la formación ☞ Interacción de fluidos y rocas 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ DISEÑO DE ESTRATEGIAS DE PRODUCCIÓN. ✓ DISEÑO DE ANÁLISIS NODAL. ✓ DISEÑO DE SARTAS DE PRODUCCIÓN. ✓ DISEÑO DE EQUIPO EN SUPERFICIE. ✓ DISEÑO DE ESTIMULACIÓN DE POZOS (ACIDIFICACIÓN O FRACTURAMIENTO). ✓ DISEÑO DE TÉCNICAS PARA RESTAURAR LA PRODUCTIVIDAD DE POZOS.

Diferentes pruebas programadas en diferentes formaciones para obtener resultados representativos dependerán del tipo de núcleo obtenido, su estado físico, la preservación, y tipo de litología cortada por el núcleo.



Figura 2.2. Mesa de trabajo para colocar, observar y seleccionar los núcleos en el laboratorio.

2.6 PLANEACIÓN DEL CORTE DE NÚCLEOS

La primera etapa de cualquier programa de muestreo que se desee resulte exitoso es su planificación. En la planificación o programación deben participar diversos grupos de trabajo: el involucrado con las acciones que puedan afectar la representatividad del núcleo, el interesado en recuperar el material para los distintos análisis y el que aplicará los resultados de los análisis en los diferentes estudios que se realizarán al yacimiento.

La planificación tiene un enfoque multi e interdisciplinario, ya que deben participar Ingenieros Petroleros de diferentes especialidades (Perforación, Yacimientos, Petrofísica, Estimulaciones, Producción), así como Ingenieros Geólogos (Exploración, Explotación) e Ingenieros Geofísicos, entre otros. Se requieren conocer las necesidades y las responsabilidades de todos para planificar un programa de muestreo que cumpla con diversos objetivos que conduzcan al final a la obtención de información de calidad.

La programación de corte de núcleo se fundamenta, inicialmente, en las características que se supone tiene el yacimiento, pero cualquier plan de toma, preservación y manejo de núcleos debe considerar un "rango de variación" de las condiciones que puede tener el yacimiento debido, por ejemplo, a los cambios de litología que se puedan encontrar en cualquier punto del yacimiento. Antes de perforar un pozo y cortar un núcleo, la planificación se basa en suposiciones derivadas con base en mediciones indirectas sobre el punto a muestrear o correlaciones con puntos cercanos.

Las condiciones reales que se tienen en el punto donde se requiere un núcleo a veces obligan cambios en los programas iniciales, aunque hayan sido bien establecidos, por lo que se debe tener la flexibilidad de cambiar tales programas para modificarlos y ajustarlos a las características y condiciones encontradas en la roca por nuclear. Es observación es especialmente dirigida a pozos exploratorios, donde existen mayores incertidumbres acerca de la formación en la que se desee tomar material, lo cual se conocerá hasta el momento de perforar el pozo.

Existen múltiples factores que influyen en la programación de la toma de núcleos y muestras de rocas; por ejemplo: los objetivos de la toma de éstos, las características de la roca y de los fluidos del yacimiento, las condiciones existentes al momento de cortar los núcleos y las pruebas por realizarles en el laboratorio.

En primera instancia, se debe considerar la necesidad de tomar núcleos según el tipo y ubicación del pozo, su importancia para obtener información de él y los datos ya existentes de la roca o intervalo de interés. Después de tomar la decisión de cortar núcleos, se tendrá que definir los tipos de núcleos que se pretenden obtener y la cantidad de ellos para lograr los objetivos deseados. Las oportunidades de extraer núcleos son pocas por lo que se deben aprovechar al máximo realizando todos los trabajos y análisis en forma apropiada para disponer finalmente de información del yacimiento lo más real posible.

De acuerdo a lo anterior, para cada pozo en donde se planea cortar al menos un núcleo y para cada evento de corte a llevar a cabo, se deberá preparar el programa correspondiente, que considerará principalmente, información de los siguientes aspectos:

- ④ Objetivos del corte de núcleos.
- ④ Características de la formación que se quiere nuclear.
- ④ Cantidad de núcleos a tomar.
- ④ Tipos de núcleos a obtener.
- ④ Diámetro de los núcleos a cortar.
- ④ Técnicas a utilizar de toma de núcleos.
- ④ Pruebas a realizar a las muestras en el pozo y en el laboratorio.
- ④ Técnicas de protección y preservación a los núcleos a boca de pozo.
- ④ Parámetros propios de la operación de corte de núcleos en un pozo.

A continuación se proporcionan algunos detalles de los aspectos mencionados.

Objetivos del corte de núcleos.

Es muy importante conocer las aplicaciones que tendrán los datos cualitativos y cuantitativos que se determinaran por diversas formas de las muestras de roca que se obtendrán del pozo, ya que será la base para diseñar el programa de corte de núcleo.

Características de la formación que se espera encontrar.

Básicamente se tomara en cuenta el tipo de roca: si el estrato es de arena o arenisca consolidada o si se trata de una arena deleznable, prácticamente sin material cementante, o bien, si es una roca carbonatada con porosidad primaria o que contiene fisuras, fracturas y/o cavernas.

Cantidad de núcleos a tomar.

Es importante considerar las distribuciones vertical y horizontal de los núcleos a cortar, es decir la cantidad de material rocoso a extraer en cada pozo seleccionado para ser nucleado en el yacimiento con el fin de cumplir con los objetivos establecidos.

Para lograr la caracterización óptima de un yacimiento se requiere utilizar información de diferentes fuentes, incluyendo sísmica, registros geofísicos de pozo y muestras de fluidos y roca recuperadas del yacimiento. Aunque no es práctico en algunos casos cortar núcleos de todo el espesor potencialmente productivo en un pozo, se debe cortar suficiente material para calibrar con efectividad las mediciones indirectas que se realicen a la formación (sísmica y registros). La cantidad de material dependerá de la heterogeneidad de la formación y de las muestras que se requieran para cubrir todos los objetivos establecidos. No hay una regla o norma concreta a seguir. Con su experiencia, el ingeniero a cargo de desarrollar o ejecutar el programa de nucleo tendrá el mejor criterio para determinar la cantidad necesaria de material rocoso.

Tipos de núcleos a tomar.

Durante la planificación de la toma de los núcleos así como de la preservación y análisis que se harán a los mismos, se deben considerar los tipos de núcleos que se requieren, según los propósitos del estudio. Los tipos de núcleos que se tomen deben ser balanceados con el tipo de litología y su distribución en el yacimiento, los costos de operación de corte, y los objetivos del estudio en el que se utilizarán los núcleos; por ejemplo, en un pozo, se pueden encontrar numerosos lentes de areniscas, todas ellas potencialmente productoras, distribuidas dentro de un intervalo de 300 a 400 metros. Si la formación es consolidada, no presenta fracturas y solo se requiere la información básica para ajustar registros y hacer una caracterización petrográfica de la roca, el mejor núcleo por tomar sería el de pared obtenida con herramienta rotativa pequeña. En otro caso, si en el pozo que se espera nuclear, la formación es caliza con fracturas, distribuida en 200 metros de espesor,

con espesores netos de 30 a 40 metros, el mejor tipo de núcleo será el obtenido con procedimiento convencional, con el mayor diámetro posible y orientado.

Se puede programar la toma de pocos núcleos convencionales en los intervalos productores si la formación es relativamente homogénea y existe buena correlación entre pozos. Por otro lado, si la formación es heterogénea o si hay pobre control sobre la aparición de los intervalos considerados netos productores, se programaría una toma de núcleos más extenso, tal vez sobre todo el espesor del yacimiento en los pozos seleccionados para ser nucleados. Hay muchos factores a considerar en cuanto a la programación del tipo de núcleo requerido. Algunas reglas de dedo pueden ser las siguientes:

📖 En carbonatos, casi siempre es más conveniente tomar núcleos convencionales debido a su anisotropía direccional y presencia de tipos de porosidad a escalas grandes (cavernas o cavidades de disolución, fracturas etc.).

📖 En formaciones fracturadas (calizas o areniscas), la toma de núcleos convencionales es preferible.

📖 En formaciones de areniscas delgadas distribuidas en intervalo más o menos profundo, será más efectivo por costos y sin sacrificar mucha información, la toma de núcleos de pared. La decisión de realizar la toma de las muestras por percusión o por herramienta rotativa pequeña depende de la información que se requiere obtener de las muestras y la consolidación de la formación.

📖 Para estudios geomecánicos, es preferible tomar núcleos convencionales.

📖 Para estudios en lutitas (menos estudio geomecánico) es preferible tomar muestras de pared. Estos estudios requieren muestras para análisis mineralógico, geoquímica, bioestratigrafía, entre otros.

📖 Para las rocas de alta permeabilidad es preferible tomar núcleos convencionales, especialmente si el estrato es relativamente somero, en comparación a la profundidad total del pozo.

📖 Para rocas de pobre consolidación o deleznales, es preferible tomar núcleos convencionales, aunque en algunos casos, en especial si se sabe que las areniscas tienen algo de cementación, se puede pensar en tomar muestras de pared, con equipo de percusión o con herramienta rotativa pequeña.

📖 Cuando el objetivo de los núcleos es obtener información mediante desplazamientos (daños de formación, permeabilidad relativa, etc.), es preferible la toma de núcleos convencionales.

📖 En algunos casos, por ejemplo, en un pozo perforado en secuencia de areniscas con múltiples intervalos de interés, se puede pensar en cortar varios tipos de núcleos: convencionales en los intervalos principales y muestras de pared en los intervalos secundarios.

Diámetro de los núcleos a cortar.

El diámetro del núcleo convencional a cortar está definido en gran parte, por la geometría del pozo, es decir, el tamaño del agujero en el momento de tomar el núcleo. Aún bajo las restricciones del pozo a perforar, se pueden explorar las alternativas para obtener un núcleo del diámetro apropiado según la litología que se pretende nuclear.

Es conveniente tomar núcleos de mayor diámetro en litologías conglomeráticas y en ciertas calizas con texturas brechoides o con fracturas. En el caso de los conglomerados, los clastos pueden ser de tal tamaño que representan, en un núcleo de poco diámetro, barreras al flujo vertical. Las permeabilidades verticales que se miden, aún en análisis de diámetro completo, no serán representativas si el clasto se aproxima al diámetro del núcleo. Lo mismo pasa con las brechas. Otra característica que tienen las brechas son las cavidades grandes de disolución, las cuales no pueden ser obtenidas, es decir se pierden en núcleos de pequeños diámetros.

La recuperación de un núcleo en brechas fracturadas es mayor cuando se programa el corte de un núcleo de mayor diámetro, debido al tamaño de las fracturas y cavidades de disolución o cavernas. Mientras mayor área de barrena se mantiene en contacto con la formación, existen mayores posibilidades de evitar el molido del núcleo y la torsión sobre la barrena.

Los núcleos de diámetros menores son más apropiados para calizas no fracturadas y con porosidad de matriz; también para areniscas no conglomeradas. La única desventaja de tales núcleos respecto a algunas areniscas de alta permeabilidad, es que tienden a sufrir mayor invasión de filtrado de lodo, dificultando la obtención de tapones de la parte no invadida del núcleo.

Técnicas a utilizar de toma de núcleos.

La mayoría de las técnicas en la toma de núcleos requieren que el punto de muestreo sea predeterminado de tal modo que la herramienta muestreadora conectada en la sarta de perforación pueda ser colocada en el fondo del pozo a la profundidad deseada.

Al decidir muestrear la roca de un yacimiento, los objetivos de la toma del núcleo se deberán definir claramente y establecerlos anticipadamente. Debido a que hay diferencias en el costo, dificultad de operación y resultados de los análisis con los diferentes tipos de muestreo se debe seleccionar el correcto, que propiamente cumpla con los requisitos para conocer aspectos geológicos y petrofísicos de la formación. Algunos tipos disponibles de muestreo, sus ventajas y limitaciones se muestran en la siguiente Tabla 2.5.

Tabla 2.5. Ventajas y limitaciones de los diferentes tipos de muestreo.

COMPARACIÓN DE VARIOS TIPOS DE MUESTREO												
TIPO DE MUESTREO	COSTO RELATIVO		DIFICULTAD DE OPERACIÓN		CALIDAD DE LA MUESTRA		ALGUNAS PROPIEDADES					
	ALTO	BAJO	DIFÍCIL	FÁCIL	ALTA	BAJA	PERMEABILIDAD	POROSIDAD	SATURACIÓN			
									OIL	AGUA	GAS	
CONVENCIONAL		✓		✓		✓	✓					
MANGA DE HULE	✓		✓			✓	✓	✓				
LINEA DE ACERO		✓		✓		✓	✓	✓				
A PRESIÓN	✓		✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
BARRIL CON ESPONJA	✓		✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
PARED DE POZO		✓		✓		✓	✓	✓				

Es de gran importancia planear todas las fases del corte y la recuperación del núcleo, considerando tanto los costos correspondientes a la recuperación y al análisis del mismo, como el papel tan importante que tienen los resultados de las diversas pruebas realizadas a los núcleos en diferentes etapas de explotación de hidrocarburos. La información obtenida de los núcleos puede impactar en decisiones tomadas que involucren miles de millones de pesos. La inversión de la toma del núcleo debe cubrir todos los objetivos del estudio del mismo, aprovechando al máximo el poco material físico que se recupera del yacimiento.

Pruebas a realizar a las muestras en el pozo y en el laboratorio.

La determinación del tipo de muestra que mejor representa el yacimiento y los análisis que se requieren del laboratorio son críticos y deben tomarse seriamente en cuenta durante la planificación integral del núcleo. El resultado dado por el laboratorio será tan útil dependiendo de que tan representativa sea la muestra del yacimiento.

Los análisis químicos y físicos de la roca y su contenido de fluidos proporcionan una valiosa contribución en los datos geológicos y de ingeniería y mejoran el conocimiento acerca del pozo o yacimiento para tener rápidas respuestas a dificultades que se puedan presentar. Los datos medidos directamente cuantifican las características de la formación de interés, ayudan a definir aspectos geológicos y petrofísicos de los sedimentos (Figura 2.3) y reducen incertidumbres en la interpretación, deducción y predicción del comportamiento del pozo y del yacimiento.

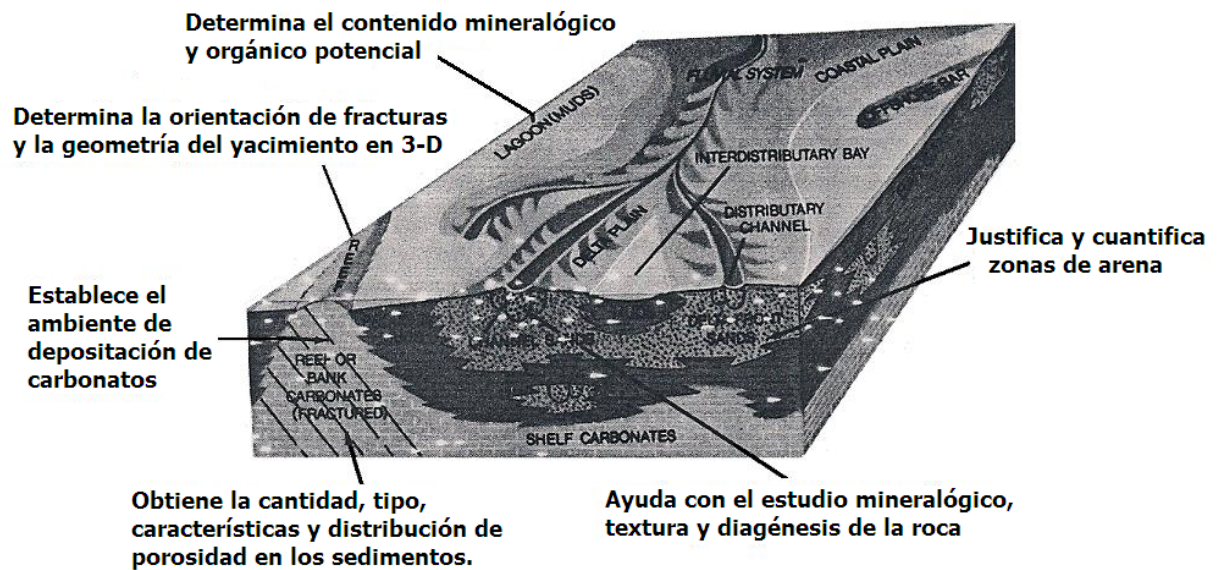


Figura 2.3. Aspectos geológicos y petrofísicos de los sedimentos.

Técnicas de protección y preservación a los núcleos a boca del pozo.

Existen una variedad amplia de técnicas de preservación de núcleos, según las necesidades de los estudios del laboratorio, el tipo de roca que conforma al núcleo y los fluidos contenidos en el espacio poroso. En todos los casos en que se aplica una preservación al núcleo en el pozo, ésta debe ser efectuada por personal apropiadamente adiestrado y con un nivel de experiencia suficiente para asegurar un trabajo eficaz.

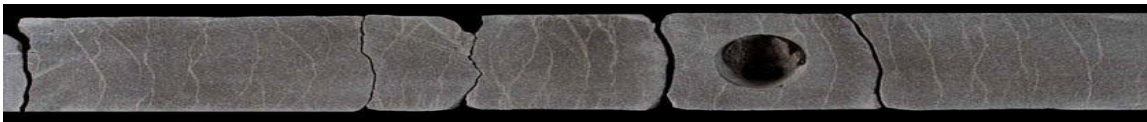
Para seleccionar la técnica apropiada de preservación se debe considerar su efectividad y el tiempo que transcurrirá entre el momento de la preservación del núcleo en el pozo y el comienzo de los análisis en el laboratorio. Mientras mayor sea tal tiempo, mejores técnicas deben ser utilizadas. En ciertas ocasiones, es posible que la combinación de dos o más técnicas sea lo más efectivo.

Parámetros propios de la operación de corte de núcleos en un pozo.

Los parámetros de operación por utilizar durante el corte del núcleo deben ser planificados y considerados en el programa de núcleo. La presión de la bomba, peso sobre la barrena y revoluciones de la barrena serán establecidos en rangos, de acuerdo con la barrena seleccionada para cortar el núcleo. Si la barrena está bien seleccionada, se puede trabajar dentro de los rangos establecidos, variando los parámetros según la litología a cortar.

De algunas formaciones es relativamente fácil obtener buenos núcleos convencionales y de pared, pero de otras es muy difícil. Se tiene que planear con mucha precaución la toma de núcleos en brechas y en formaciones deleznales. Para las brechas, es conveniente tener disponibles barrenas de diferentes tipos. Las barrenas deben ser relativamente nuevas. Adicionalmente, el Ingeniero a cargo del corte del núcleo y el perforador en turno, deben ser muy experimentados en la toma de los núcleos en brechas. Es necesario variar los parámetros de la toma de núcleos, el peso, la rotación, el bombeo según lo que se “siente” agarrado el freno y monitorear continuamente la torsión sobre la barrena. Cada vez que la barrena pasa por una cavidad grande, alguna fractura no horizontal, o se encuentra por un lado un clasto grande, la barrena tiene que volver a cortar un “patrón” en la roca, o seguirá “moliendo” la formación en vez de cortar. Una vez que se establece un corte “moliendo” la formación, la recuperación del núcleo será inferior a lo esperado, y en la mayoría de los casos, se pierde la mejor calidad del yacimiento.

Por otro lado, hay que tener paciencia con el corte de núcleos en formaciones compactas. El núcleo de la fotografía, tomado en caliza compacta, fue sujeto a un esfuerzo vertical demasiado grande a causa del peso sobre la barrena, evidenciado por las fracturas inducidas y “discos” del núcleo.



Para asegurar la recuperación de núcleos en sedimentos deleznales, lo importante es no lavar los sedimentos con una presión de bomba demasiado alta, utilizando boquillas en la barrena o con demasiada velocidad de rotación. Con el ajuste de los parámetros para optimizar la recuperación en sedimentos no consolidados, se debe tener precaución con los atrapamientos y asegurar la limpieza del espacio anular del pozo antes de comenzar el viaje del núcleo hacia la superficie.

Por lo general, se desea un núcleo de diámetro máximo; sin embargo este objetivo debe limitarse por otros requerimientos:

- ♣ La superficie máxima posible de chumaceras en los cortadores de las barrenas.
- ♣ Espacio libre suficiente entre el agujero que se está perforando y el exterior del barril muestrero para evitar que se pegue el atrapánúcleo.
- ♣ Suficiente espacio libre entre el barril exterior y el interior para permitir libre circulación del lodo de perforación.
- ♣ Espacio libre entre el barril interior y el núcleo para permitir la entrada libre de este en el barril.

Es muy conveniente que las operaciones de muestreo sean lo menos rudo posible para no provocar la ruptura del núcleo con consiguiente recuperación baja o deficiente. Al aumentar el número de superficies cortantes se aumentará la suavidad de la perforación, pero en ciertos tipos de formación pegajosa, como los esquistos (lutitas), el espaciamiento cerrado puede evitar la limpieza correcta de las superficies cortantes y reducir así materialmente la velocidad de penetración.

Otro parámetro o aspecto muy importante, propio de la operación de corte de núcleo, es el lodo de perforación y sus características. La condición y las características del lodo de perforación son sumamente importantes durante el corte del núcleo. Hay una variedad de lodos disponibles para la perforación del pozo, la mayoría de los lodos pueden ser acondicionados para cumplir con las condiciones idóneas en el momento de cortar un núcleo convencional.

El uso común de los lodos base aceite permite la oportunidad de cuantificar o estimar la saturación de agua irreductible del yacimiento o formación bajo estudio, en pozos de gas y aceite con mojabilidad al agua. Para cuantificar la saturación del aceite natural de la formación, se tienen que utilizar trazadores en los lodos base aceite para distinguir entre el aceite de la formación y el filtrado de lodo.

Para evitar la invasión excesiva del filtrado de lodo, se debe mantener la presión hidrostática del lodo igual o ligeramente por encima de la presión de la formación cuando se corta el núcleo. Esto es aún más difícil cuando se toman núcleos en yacimientos depresionados. En estos casos se debe programar el revestimiento del pozo hasta el tope del yacimiento productor para luego bajar el peso del lodo, una vez que comienza la perforación del yacimiento y el corte del núcleo.

En formaciones de baja permeabilidad, la invasión del filtrado de lodo es un aspecto de poca importancia, aunque exista mucha diferencia entre la presión hidrostática del lodo y la presión de la formación. Sin embargo, con una presión alta de bombeo puede causar excesiva filtración y desplazamiento de fluidos de la formación frente a la barrena durante el corte del núcleo.

La conservación de la mojabilidad de la formación cuando ésta tiene la tendencia de ser mojada por el aceite de la formación depende en parte de las características del lodo y en parte de las características de la porosidad de la formación. Es dudoso que un lodo pueda cambiar la mojabilidad de la roca cuando ésta tiene permeabilidad relativamente baja, debido a la presencia de pequeñas

gargantas de poro. Este tipo de roca por lo general tiene alta saturación irreductible del fluido que sea (agua, aceite, o una mezcla de los dos) y por ende será difícil que el lodo cambie la mojabilidad de la roca. Este efecto es más importante en el tipo de roca que cuenta con baja saturación irreductible, debido a poros y gargantas de poro de mayor tamaño; roca que se encuentre a una gran altura por encima del nivel de agua libre, donde las fuerzas capilares sobre la fase irreductible es baja y la película formada alrededor de los cristales o granos es delgada.

Las características físico –químicas del lodo, la presión hidrostática del mismo, el tipo de lodo utilizado (base agua, base aceite, espumas, alta salinidad, inhibidos, entre otros) y las formaciones (objetivos del núcleo) tendrán que ser estudiadas y adaptadas para obtener muestras poco dañadas del núcleo. El lodo juega un papel fundamental en la planeación del corte de un núcleo. Se han visto casos en que el sistema de lodo es completamente cambiado antes de llegar al punto de la toma del núcleo con el objetivo de obtener un núcleo en buenas condiciones para su estudio en el laboratorio. En los últimos años, es práctica de la industria que en ciertos casos la información obtenida mediante el estudio del núcleo es crítica para tomar una decisión referente al manejo del yacimiento o a la cuantificación de las reservas.

Un caso frecuente es la decisión de preferir núcleos convencionales sobre los núcleos de pared, debido al daño realizado por el lodo y la imposibilidad de cambiar las propiedades del lodo para acomodar el corte de las muestras de pared. En un campo de yacimientos gasíferos en areniscas de alta permeabilidad, se tuvo la oportunidad de comparar los resultados del laboratorio, obtenidos en muestras de pared y en tapones del núcleo convencional.

Al realizar la programación del corte de núcleos y los intervalos en los cuales se tomarán, se deberá tener en cuenta el perfil de presión de lodo que llevará el pozo durante la perforación. Durante el corte de un núcleo convencional, el lodo por lo general ejerce una presión hidrostática similar a la presión de formación, pero no siempre es el caso para el corte de los núcleos de pared. Para pozos con un tramo largo abierto, donde el gradiente de presión ha incrementado con la profundidad, la presión hidrostática del lodo al final del pozo puede estar muy por encima de la presión de formación, exponiendo la formación a mayores cantidades de filtrado de lodo, causando daños más severos a mayores profundidades dentro de la formación. Mientras mayor sea la permeabilidad de la

formación, el daño tiende a aumentar. Este efecto puede ser insignificante en algunas areniscas, pero al contrario, se han provocado daños severos a los núcleos de pared tomados en areniscas de alta permeabilidad, afectando la permeabilidad, la fuerza retentiva de agua, las propiedades eléctricas, entre otras características importantes de la roca.

Por lo tanto, es muy importante tener bien diseñado y en buenas condiciones el fluido de perforación para alcanzar las mejores prácticas de perforación y en la extracción del núcleo. Antes de introducir el barril muestrero, se debe tener un lodo limpio, para evitar que recortes (escombros) sean introducidos en el barril interior, causando un viaje perdido. Si la circulación no limpia tales sólidos se alojarán en el barril interior. Aun así se recomienda como práctica común, circular lo suficiente para limpiar el pozo antes de introducir el barril muestrero. También los sólidos en exceso y / o partículas de carbonato de calcio en el lodo pueden potencialmente provocar un atascamiento prematuro por empacamiento de sólidos en el espacio anular entre el núcleo y el tubo interior.

El programa final incorporará todos los detalles requeridos para cumplir los objetivos de la toma de núcleos, con especial énfasis sobre los parámetros necesarios para asegurar que los núcleos que lleguen al laboratorio sean representativos de la formación y cumplan con las condiciones exigidas para obtener resultados en laboratorio que sean, también, representativos de ella.

Una vez preparado el programa final de la toma, preservación, manejo y análisis de los núcleos por cortar en el pozo debe ser documentado por escrito y comunicado a todos los grupos técnicos de trabajo que tendrán a su cargo la perforación del pozo, así como el corte y el análisis de los núcleos. Las sugerencias de todos los involucrados pueden estar incorporadas en el documento final. El programa debe ser comunicado a las partes involucradas con el ánimo de enriquecer el programa y puntualizar todos los detalles de la operación en sí de la toma (corte), preservación, manejo, análisis y almacenamiento final del núcleo. Información suplementaria para llevar a la junta será el programa de la perforación del pozo, las litologías de las formaciones del pozo y las características de la roca en la cual se tomará el núcleo.

Se reitera que durante la perforación de un pozo, existe una singular oportunidad de obtener núcleos, información del yacimiento que se debe de aprovechar al máximo, por lo que se requiere que tales muestras de rocas sean representativas.

Es de gran importancia planear todas las fases del corte y la recuperación del núcleo, considerando los costos involucrados en la recuperación y análisis del mismo, además del rol tan importante que tienen los resultados de las pruebas realizadas a los núcleos. La información obtenida del núcleo puede impactar en decisiones tomadas por miles de millones de pesos. La inversión de la toma del núcleo debe cubrir todos los objetivos del estudio del mismo, aprovechando al máximo el poco material físico que se recupera del yacimiento.

Planeación de operaciones posteriores al corte de núcleos

Al momento en que el núcleo recuperado es llevado a la superficie, sus fluidos pueden ser alterados por los cambios de temperatura y presión que encuentran a lo largo de su camino hacia la superficie. El núcleo también puede contaminarse por el fluido de perforación. A pesar de que las prácticas adecuadas de muestreo deben reducir estos problemas, las características de los fluidos del núcleo pueden no ser representativas de los fluidos de la formación, incluso antes de que el núcleo sea removido del barril.

Extracción del núcleo del barril

Antes de que el núcleo sea removido del barril, los recipientes, cajas o contenedores del núcleo son marcados y colocados en el orden en que deben de ser usados. Los contenedores están diseñados para colocar núcleos de 3 pies o más. Los núcleos de 3 pies (un metro aproximadamente) son los más prácticos para trabajar. Luego de ser llevados a la superficie, los núcleos son removidos tan pronto como sea posible para que las saturaciones de fluidos no se alteren. Cualquier retraso al remover el núcleo del barril debe ser anotado en el registro que es enviado al laboratorio junto con el núcleo.

Cuando la parte superior del barril nucleador pasa a través de la mesa rotaria, las cuñas se colocan bajo el estabilizador y el sujetador de lastrabarrenas se coloca justo debajo de los canales de los estabilizadores. Luego se separa la sarta de tubería de perforación del barril nucleador. Si se emplea algún tipo de enjarre éste debe de ser removido del barril. La bola de acero es recuperada por dentro del barril y en la parte superior de éste. Para proteger al núcleo no se circula agua en la parte interna del barril hasta que el núcleo ha sido removido y recostado. El barril nucleador es sacado completamente del agujero. La barrena nucleadora es quitada y reemplazada por un protector del barril nucleador y el barril nucleador es regresado al agujero. Se colocan las cuñas y el sujetador de

lastrabarrenas. El barril interno es extraído completamente del barril externo y es suspendido de forma vertical para la extracción del núcleo. El barril interno es lavado y las juntas son inspeccionadas para asegurar que se encuentran ajustadas. Luego el barril interno se coloca a una pulgada del piso de perforación. Se instala una tenaza en la parte inferior del barril interno y se asegura al piso. Luego el barril interno es levantado 2 o 3 pulgadas por encima del piso. El núcleo está entonces en condiciones de ser removido del barril. Es importante señalar que como norma de seguridad el personal tiene prohibido poner las manos o los pies bajo el núcleo que está en etapa de remoción.

Los núcleos bloqueados o atascados son aflojados golpeando suavemente el barril con un martillo. El golpeo enérgico con el martillo es evitado por la posibilidad de fracturar o aplastar el núcleo. Si el núcleo aún así se resiste a salir entonces el núcleo es impulsado hacia fuera con un fluido y una bomba tipo pistón. Si el contacto entre el fluido de perforación y el núcleo es inevitable entonces se debe utilizar el mismo tipo de fluido que se empleó al momento de cortar el núcleo. Expulsar el núcleo con fluido a alta presión también debe evitarse porque el núcleo se puede romper. Cualquier tipo de irregularidad o dificultad que se presente al momento de remover el núcleo debe ser anotado en el registro.

Debido a que el núcleo generalmente se desliza fuera del barril con facilidad, la cuadrilla encargada de la operación debe estar alerta y reaccionar con rapidez. Usando guantes deben guiar al núcleo hacia fuera del barril con las palmas de las manos y golpearlo con un martillo para romperlo y obtener de este modo tramos de 18 pulgadas (50 cm. aproximadamente) o de la longitud que se desee.

Cada tramo del núcleo es colocado en un contenedor marcado. Cuando los contenedores o cajas tienen un núcleo adentro deben ser marcados de acuerdo con las especificaciones de cada compañía y el número de núcleo. El número de núcleo corresponde al número del contenedor o recipiente. La primera pieza que sale del barril es marcada generalmente con el número uno. La orientación superior e inferior del núcleo es marcada. También se puede marcar la profundidad desde la superficie hasta la parte superior e inferior del núcleo. La profundidad desde la superficie hasta la ubicación del núcleo en el subsuelo es un dato muy importante. Si el personal olvida que la primera pieza del núcleo que es extraída corresponde a la parte inferior del núcleo en su totalidad,

entonces se puede cometer el error de marcarlos al revés. Los analistas del laboratorio no tienen forma de inferir, en principio, si un núcleo ha sido marcado correctamente o no y entonces se comienzan a obtener resultados confusos. Esto se puede corregir hasta que se tengan resultados de análisis geológicos y petrofísicos y con ayuda de los registros geofísicos tomados en el intervalo nucleado. Cuando el núcleo ha sido removido en su totalidad cae al suelo la marca del núcleo, algunas veces llamada “el conejo”, el cual indica que el barril está vacío.

Cuando el núcleo ha sido removido, el barril interno se coloca de nuevo dentro del barril externo. De ser posible se circula agua limpia a través de los barriles. Luego, la parte superior del barril externo con el barril interno es desconectada y las secciones inferiores son sacadas del agujero.

Registro del núcleo

La información acerca del núcleo debe ser anotada en la hoja de registro, la cual acompañará al núcleo hasta el laboratorio. Esta hoja es un medio de comunicación importante entre el personal de perforación y el responsable del análisis de núcleos en el laboratorio. A los analistas del laboratorio se les debe informar acerca de cualquier irregularidad que se haya presentado durante el proceso de la extracción del núcleo. Las condiciones del lodo, gravedad del aceite, características de la zona, las pruebas que se requieren, evaluación del pozo, datos de perforación y núcleo, dificultades en la remoción del núcleo, y exposición a los elementos de la intemperie, son algunos de los datos que se anotan en esta hoja. Las anotaciones se hacen para la longitud total del núcleo y para las secciones perdidas, si es que existen. Los detalles litológicos de cada pie de núcleo pueden ser anotados por un geólogo en el pozo o en el laboratorio. Los analistas de laboratorio deben enterarse de esta información al momento de recibir los núcleos para programar con detalle desde cómo sacarlos de los recipientes hasta cómo hacer las pruebas a los núcleos.

La hoja de registro de datos debe incluir el nombre, la dirección, y compañía de la persona a quien el reporte del análisis debe ser enviado; el campo, pozo y zona; el nombre de la compañía que prestó el servicio de nucleamiento y del representante que supervisó las operaciones. Los geólogos del pozo indican qué tipos de análisis son necesarios así como el tipo de resultados que pueden no ser confiables debido a las condiciones a las que se llevaron a cabo las operaciones.

En la Tabla 2.6, se presenta una hoja de registro que podría ser considerada como ejemplo.

Tabla 2.6. Hoja de registro con información importante que debe enviarse al laboratorio junto con los núcleos.

INFORMACIÓN QUE DEBE ENVIARSE AL LABORATORIO JUNTO CON LOS NÚCLEOS	
DATOS DEL POZO	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre y número. • Nombre del campo y/o Yacimiento al que pertenece. • Elevación de la mesa rotaria. • Plano de localización del pozo. • Copia de los registros geofísicos tomados en el intervalo muestreado.
DATOS DE LOS NÚCLEOS	<ul style="list-style-type: none"> • Fecha de núcleo. • Tipo de núcleo. • Número del núcleo. • Intervalo nucleado. • Recuperación. • Formación nucleada. • Yacimiento al que pertenece el núcleo. • Descripción litológica. • Tipo de protección y preservación que tiene el núcleo. • Número de cajas que contienen el núcleo, convenientemente marcadas.
DATOS DE LOS FLUIDOS RELACIONADOS A LOS NÚCLEOS	<ul style="list-style-type: none"> • Características y propiedades del fluido de perforación utilizado en la operación de corte del núcleo. • Características y propiedades de los hidrocarburos saturantes. • Características y propiedades del agua de formación. • Características y propiedades del agua de inyección o del fluido desplazante, en caso de que el núcleo esté considerado en un proyecto de recuperación secundaria o mejorada.
DATOS DEL PERSONAL RELACIONADO	<p>Nombre, dirección y teléfono de las siguientes personas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Supervisor de corte, de la protección y preservación de los núcleos, así como de su envío al laboratorio. • Profesional que solicitó el corte de núcleos y que utilizará los resultados de los análisis de núcleos en laboratorio.
DATOS DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO	<ul style="list-style-type: none"> • Relación detallada de los análisis de laboratorio que se requieren y la aplicación que tendrán los resultados.

Limpieza del núcleo

Los residuos del lodo pueden formar un enjarre en la parte externa del núcleo al momento de ser cortado. El enjarre debe ser retirado con cuidado al momento de extraer el núcleo del barril. Se puede usar con mucho cuidado un cuchillo para raspar las capas de enjarre que pudieran endurecerse en el núcleo. El núcleo nunca debe de ser lavado porque se puede dañar. El núcleo debe limpiarse de una forma rápida para reducir la exposición a los elementos o aspectos externos a él (intemperie). Esta exposición, incluso por algunos minutos, puede representar una pérdida significativa de los fluidos que contiene. El análisis se verá entonces afectado de un modo adverso por esta pérdida de fluido. Si ocurre una exposición excesiva, debe ser anotada en la hoja de registro.

Preservación del núcleo

El núcleo es preservado (protegido) en el pozo en un intento de conservar las propiedades de la roca con los fluidos saturantes tal y como existían dentro del barril nucleador. Si este proceso no se lleva a cabo cuidadosamente, el núcleo pierde las características que son representativas de las condiciones de la formación y que son importantes para los análisis.

El tipo de procedimiento de protección depende del tipo de roca, de las propiedades que deben ser conservadas, de la distancia a la que debe de ser enviado el núcleo, de los análisis que se le van a realizar y del tipo de herramientas nucleadoras que fueron empleadas.

La preservación minimiza la posibilidad de rompimiento del núcleo durante su transportación al laboratorio. Los contenedores o recipientes que se emplean para su envío son casi del mismo diámetro que el núcleo, así éste tiene poco espacio para moverse y golpearse contra las paredes y romperse. Esta práctica común rellenar el espacio entre el núcleo y el recipiente con algún material suave no absorbente. Cuando el núcleo debe ser enviado a grandes distancias, se emplean contenedores de metal o plástico rígido, que son más apropiados para este propósito.

Algunas veces, en el pozo sólo se aplican los métodos preliminares de preservación de los núcleos. Cuando el núcleo llega al laboratorio es sometido a preservación adicional, si es que las pruebas no se realizan inmediatamente. Al preservar el núcleo se toman ciertas precauciones:

- 1) Después de que el núcleo es removido del barril, limpiado y colocado en el contenedor, éste debe ser sellado lo más rápido posible.
- 2) Los contenedores son mantenidos a temperatura constante para evitar la condensación
- 3) Se evita el uso de cualquier material que pudiera absorber aceite como lo son: tela y papel.
- 4) No se sumerge el núcleo en cera
- 5) Se toman cuidados especiales a los núcleos no consolidados y frágiles
- 6) No se lava el núcleo con alguna sustancia
- 7) Se marcan los contenedores con el nombre del campo, del pozo y la profundidad a la que se tomó el núcleo
- 8) Se revisan los contenedores al momento de destaparlos para buscar aceite o agua
- 9) Los núcleos son almacenados en sus contenedores sellados hasta el momento de ser analizados.

Métodos de preservación del núcleo

Varios métodos son empleados para proteger los núcleos durante su traslado y almacenamiento.

Los procedimientos de preservación más comunes son:

- ④ **Confinar los núcleos en recipientes herméticos.** Es un método rápido y eficiente de empaquetar un núcleo. Especialmente bueno con los núcleos a los que se les realizará la prueba de saturación de fluidos porque minimiza la pérdida de fluidos y evita la variación de temperatura. El núcleo generalmente llena el espacio interior del recipiente, así que la posibilidad de ruptura es mínima. Antes de ser puesto en el contenedor, el núcleo debe envolverse con una lámina delgada de aluminio o con hoja de plástico, nunca debe utilizarse algún tipo de material que pueda absorber los fluidos. En el contenedor no debe haber humedad así como ningún material extraño.



Figura 2.4. Tubo sellado herméticamente.

- ④ **Los núcleos se pueden almacenar en tubos sellados herméticamente.** Un tubo hermético se construye con acero, plástico o aluminio, ver Figura 2.4. El núcleo puede ser envuelto con lámina delgada de aluminio o de plástico y es sellado en el tubo usando un cople de tapa. Las mismas precauciones se toman para los contenedores herméticos en cuanto a cuidados de humedad, temperatura y compatibilidad de diámetros.

- ④ **Colocación en bolsas de plástico.** Cuando se usan bolsas de plástico, Figura 2.5, el personal que manipule el núcleo debe tratar de eliminar el aire que quede entre el núcleo y la bolsa. La eliminación del aire se puede realizar usando succión o doblando el exceso de plástico de la bolsa para permitir la salida del aire. Debido a que la forma del núcleo puede romper la bolsa, generalmente se usan varias bolsas y éstas generalmente son colocadas en otro tipo de contenedor, como lo son: cajas, tubos o latas.



Figura 2.5. Bolsas plásticas con sello hermético.

- ④ **Congelamiento.** Para evitar el daño, el núcleo se congela rápidamente con hielo seco. Un proceso de congelamiento lento puede causar que el núcleo se rompa y que los fluidos migren, lo cual cambiará las propiedades del núcleo. El descongelamiento del núcleo también se hace rápido para evitar la condensación o la alteración de los fluidos. El congelamiento con hielo seco es un método eficiente y sencillo para preservar los núcleos, si es que el laboratorio se encuentra cerca del pozo. Los envíos alejados requieren sistemas de refrigeración o congelamiento continuo con hielo seco.



Caja utilizada para el transporte del núcleo hasta el laboratorio, con aislamiento térmico para conservar el hielo seco



Cajas utilizadas para el congelamiento de los núcleos.

Figura 2.6. Cajas de congelamiento.

- ④ **Envoltura en láminas de metal y plástico.** Es el método más recomendado para preservar núcleos no consolidados y con él es posible enviar el núcleo hasta el laboratorio sin que se rompan a condición de que sean analizados inmediatamente a su llegada. Los núcleos son envueltos en láminas, los extremos de la lámina son enrollados en el núcleo y luego las tapas son presionadas. El envoltimiento con dos o tres láminas asegura que no exista goteo. Las muestras envueltas son generalmente colocadas dentro de recipientes más robustos para su envío.

- ④ **Recubrimiento con plástico.** Cuando un núcleo tiene que ser enviado a grandes distancias o almacenado por mucho tiempo antes de ser analizado, el mejor método es el recubrimiento con plástico. Un recipiente con plástico derretido es mantenido en el pozo a una temperatura apenas superior a su temperatura de derretimiento. El recipiente puede ser controlado termostáticamente. Usando tenazas para manipular el núcleo, se sostiene un extremo del núcleo y se sumerge dos tercios de su longitud dentro del plástico. Luego de dejar que se enfríe el plástico durante algunos, hasta que se pone duro, se sostiene por el otro extremo y nuevamente se sumerge dos terceras partes del núcleo para traslapar el plástico. Se pueden usar cables delgados en lugar de tenazas para sumergir el núcleo. Posteriormente el núcleo se cuelga hasta que el plástico endurezca completamente. El núcleo se sumerge nuevamente en el plástico hasta que el recubrimiento alcance un espesor de un dieciseisavo de pulgada (0.16 cm) de plástico. El plástico no debe penetrar en el núcleo más allá de la profundidad de un grano. Los núcleos pobremente consolidados pueden ser envueltos en lámina delgada de aluminio o plástico antes de ser sumergidos en el plástico líquido.

El plástico usado en este proceso de recubrimiento debe ser adecuado al clima en el que se está nucleando. Además, este material no debe reaccionar con el agua o el aceite, debe ser impermeable a partir del momento en que se coloca y se debe endurecer entre 5 y 15 segundos.

Algunos núcleos requieren preservación especial. Los núcleos con sección transversal triangular, por ejemplo, son transportados en contenedores o recipientes triangulares en su sección transversal. Los núcleos de pared generalmente son envueltos en lámina delgada de aluminio o plástico y colocados en contenedores especiales. Estos núcleos también pueden ser preservados en plástico.

Algunos barriles nucleadores proveen la preservación del núcleo desde el momento en que se corta la muestra. Los barriles nucleadores van envolviendo al núcleo en un tubo de caucho o neopreno que se sella en las tapas. El núcleo puede ser transportado completo, congelado en cajas de madera o cortado en partes más pequeñas para su transportación. Estos barriles nucleadores especiales se recomiendan, por ejemplo, para formaciones suaves, no consolidadas o deleznales.



Figura 2.7. Estas cajas pueden ser utilizadas para transporte terrestre o puestas dentro de un armazón de hierro para transporte marítimo.