

Impacto del tiempo de almacenamiento del cemento petrolero sobre la calidad de sistemas cementantes usados para el aislamiento zonal de pozos petroleros

Wuilmén Jiménez y Aiskely Blanco -PDVSA INTEVEP- Los Teques, Venezuela
Temario: Gestión del cambio

RESUMEN

En el negocio de exploración y producción de pozos de petróleo y/o gas, el cemento utilizado para el aislamiento zonal juega un papel importante en el éxito de la construcción y el mantenimiento de los pozos. No obstante, hasta el presente no se ha establecido el efecto del tiempo de almacenamiento del cemento utilizado para la preparación de los sistemas cementantes sobre la calidad del proceso de cementación de pozos, de manera de evitar los costos involucrados en el rediseño de lechadas y en las fallas de las operaciones de cementación primaria, asociadas a la variabilidad de las propiedades físicas del diseño utilizado. En este trabajo se presentan los resultados del impacto del tiempo y las condiciones de almacenamiento sobre las propiedades fisicoquímicas del cemento puro y las propiedades físicas de lechadas netas, formuladas con cemento petrolero clase B-MSR; así como también, las de un sistema cementante diseñado para el aislamiento típico de pozos geotérmicos. Los resultados obtenidos permitieron determinar que el tiempo de máximo de almacenamiento de la clase de cemento estudiado oscila entre 120 a 180 días, a partir del cual las propiedades físicas del cemento son afectadas drásticamente por el tiempo de almacenamiento y las condiciones ambientales a las que éste haya sido expuesto.

INTRODUCCIÓN

La perforación es una de las operaciones más importantes que conforman el desarrollo de la construcción de un pozo, en la que se hace un hoyo hasta alcanzar la profundidad deseada, donde la sarta de perforación es removida para iniciar la bajada de revestimiento, acondicionamiento y su posterior aislamiento zonal [1].

Por ser el cemento el principal aditivo utilizado para la preparación de una lechada y con el cual se inicia el proceso de la calidad de la cementación de un pozo, es de gran importancia que dicho material sea el más óptimo, con el fin de garantizar el éxito del proceso de la construcción de los pozos. Tomando en cuenta lo antes expuesto, se planteó la necesidad de estudiar mediante pruebas de laboratorio el efecto físico que tiene el tiempo de almacenamiento del cemento, considerando las condiciones ambientales a la que se expone durante el almacenamiento en los tanques instalados en las plantas de las diferentes fabricas y compañías de servicio que residen en el país.

Sobre la base de lo comentado anteriormente, surge esta investigación, la cual consistió en estudiar los efectos del tiempo de almacenamiento en el cemento petrolero, sobre las propiedades físicas de una lechada formulada con cemento petrolero clase B-MSR (Moderate Sulfate Resistance, por sus siglas en inglés); así como también, las de un sistema cementante diseñado para el aislamiento típico de pozos sometidos a inyección alterna de vapor (IAV). Para llevar a cabo el estudio se levantó un protocolo de pruebas, basado en las normativas: ISO 10426-1, equivalente a SPEC API10 A; ISO 10426-2, equivalente a RP API10B [2, 3,4 y 5].

CONTROL DE CALIDAD DEL CEMENTO, ADITIVOS Y LECHADAS PARA POZOS DE PETRÓLEO Y/O GAS

El API en la Spec. 10A [3] la cual tiene correspondencias con la Norma FONDONORMA* 3866:2005 [6] e ISO 10426-1:2002 [5], ha dejado establecidos los procedimientos y parámetros de aceptabilidad de las pruebas para las diferentes clases de cemento petrolero, por tal razón los fabricantes de cemento deben de registrarse por éstas, de tal manera de satisfacer las propiedades físicas y químicas requeridas para los diseños usados en las operaciones de cementaciones primarias o secundarias.

(*) **FONDONORMA:** es una Asociación Civil, sin fines de lucro, con personalidad jurídica y patrimonio propio, creada en septiembre de 1973 para promover las actividades de Normalización y Certificación de la Calidad con la intención de estimular la competitividad del sector productivo venezolano.

En Venezuela, existen solo dos compañías suplidoras de cemento petrolero, ubicadas en el Occidente y Oriente del país, las cuales fabrican cementos petroleros por clase y grado, las cuales se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Cemento por clase y grado fabricados en Venezuela

Clase – Grado	Área del país
H – MSR	Occidente
B – MSR	
A - O	
H – HRS	Oriente
G – HRS	
B – MSR	

Es importante tener presente que el éxito de un buen aislamiento zonal, no radica solamente en la ejecución y cumplimiento de los requisitos establecidos en la Spec. 10A [3], sino también en lograr una buena sinergia física y química con los aditivos que son usados para preparar los diseños de lechadas que se usen en el aislamiento zonal del pozo. Por tal razón es importante que el personal que está involucrado en la construcción y mantenimiento de los pozos conozca y cumplan las especificaciones establecidas, con el objetivo de mantener un excelente control de calidad de cemento y aditivos usados en los pozos petroleros, para minimizar las cementaciones secundarias.

ADITIVOS PARA CEMENTACIÓN DE POZOS DE PETRÓLEO Y/O GAS

Los aditivos normalmente usados en los diseños de lechadas, juegan un papel fundamental en el éxito de las operaciones de aislamiento zonal de los pozos de petróleo y/o gas. Existen aditivos básicos que se usan en el diseño de lechadas convencionales, como son: aceleradores, retardadores, dispersantes, densificadores, entre otros, pero de acuerdo a las nuevas exigencias que se han identificado en los pozos, se ha presentado la necesidad de desarrollar otros aditivos, que puedan dar solución a los retos en la construcción de pozos. Entre estos aditivos, podemos mencionar: mejoradores de propiedades mecánicas, inhibidores de gases agrios (CO₂ y H₂S), expansores, multifuncionales, antimigratorios, entre otros. [1]. Indudablemente que todos estos aditivos deben tener excelente sinergia física y química con el cemento petrolero con el que se combina, por lo cual es necesario monitorear su respuesta física en los laboratorios de cementación por cada lote de cemento. Las compañías de servicios que reciben y

comercializan estos aditivos deben, de alguna manera garantizar la respuesta física y química de los mismos en el diseño de lechadas.

LECHADAS CONVENCIONALES Y ESPECIALES PARA EL AISLAMIENTO ZONAL DE POZOS DE PETRÓLEO Y/O GAS

Dependiendo del problema en un pozo, las lechadas pueden ser caracterizadas como convencionales o especiales, como también de acuerdo a la colocación en la sección anular del pozo, pueden clasificarse como: barrido o llenado (lechada de menor densidad que la principal); principal, anclaje o cola (usada para darle integridad a la zapata en la zona de interés) y finalmente otra que es opcional, usada para recementar, cuando el nivel de cemento del tope del revestidor ha disminuido [1]. Cada una de estas lechadas se diseña con diferentes aditivos, que pueden llegar a ser especiales dependiendo de las propiedades o características del pozo. La frecuencia de uso de lechada en una determinada área, conlleva a su estandarización y de acuerdo al tipo de lechada usada en las diferentes secciones del pozo, se debe realizar mayor número de pruebas, teniendo siempre como base el control de calidad del cemento y aditivos que caracterizan al diseño.

METODOLOGIA:

Para determinar el tiempo de almacenamiento o caducidad del cemento petrolero, se desarrollaron diferentes etapas y protocolos de pruebas a escala de laboratorio, los cuales llevaron a caracterizar la metodología utilizada que permitió establecer el lapso de envejecimiento del cemento petrolero B-MSR.

Etapas del estudio

- a) Establecer los parámetros para la evaluación de la clase y grado de cemento petrolero seleccionado.
- b) Establecer el procedimiento de almacenamiento de la muestra de cemento seleccionado.
- c) Delimitar el almacenamiento del cemento.
- d) Consideraciones para el desarrollo del estudio.
- e) Establecer un cronograma de toma de muestra y ejecución de pruebas de acuerdo al tiempo de almacenamiento.
- f) Determinar las propiedades físicas del cemento seleccionado para cada ciclo de almacenamiento, siguiendo las especificaciones y recomendaciones técnicas del API Spec. 10A y RP10B, tomando la medida de temperatura de la muestra y siguiendo un procedimiento operacional de la toma de muestra.

- g) Seleccionar una lechada típica para aislamiento zonal en un pozo para Inyección con Vapor (IAV) y evaluar sus propiedades siguiendo las recomendaciones prácticas de la Norma ISO-10426-2:2005 (API RP10B).

Protocolo de pruebas

Para llevar a cabo el estudio se realizó un cronograma de pruebas, las cuales estuvieron basadas en las normas ISO/API anteriormente mencionadas.

Parámetros para el estudio

- a) Clase y grado de cemento a evaluar: B-MSR.
- b) Variable a utilizar para la evaluación: tiempo de almacenamiento del cemento a ciertas condiciones ambientales (temperatura ambiente)
- c) Equipos: tanque de la planta de mezcla
- d) Especificaciones de referencias API Spec. 10 A y RP10B
- e) Procedimiento Operacional: toma de la muestra con válvula instalada en la línea del tanque.

Procedimiento de almacenamiento de la muestra

- a) La muestra de cemento deberá ser almacenada en un tanque de la planta de cemento con una capacidad mínima de 300 sacos de 94 libras (42,5 kg), hermético e identificado con la fecha, hora, número de tanque del equipo operacional, nombre del operador que tomó la muestra y supervisor(es) presente(s) en la toma.
- b) La muestra debe tener registro de la fecha y cantidad de la misma cada vez que se realizan las pruebas, de acuerdo con la Tabla 1 (final de cada período), siguiendo las especificaciones y recomendaciones prácticas API Spec 10A y RP10B, así como también el protocolo de pruebas establecidos en el Anexo A.
- c) La muestra de cemento se almacenó por un tiempo total de 1 año continuo y se le realizaron las pruebas físicas, siguiendo el protocolo señalado en la metodología planteada.
- d) Los períodos de pruebas se realizarán como se establece el siguiente punto.

Tiempo de almacenamiento de muestra y cronograma de pruebas

En la Tabla 2, se detallan los tiempos de almacenamiento de la muestra, al igual que las pruebas que deben ser realizadas a la misma.

Tabla 2. Período de almacenamiento y ejecución de pruebas de laboratorio para cemento puro y diseño de lechada para pozo

No. de muestra	Tiempo de almacenamiento (días)	Pruebas iniciales para el cemento puro	Pruebas iniciales para la lechada de pozo
1	0	Densidad, Tiempo espesamiento, Fluido libre, Reología, Resistencia a la compresión destructiva	Densidad, Filtrado, Tiempo espesamiento, Fluido libre, Reología, Resistencia a la compresión y Sedimentación,
2	7 (1 semana)		
3	15 (2 semanas)		
4	30 (1 mes)		
5	45 (1.5 meses)		
6	60 (2 meses)		
7	90 (3 meses)		
8	120 (4 meses)		
9	180 (6 meses)		
10	270 (9 meses)		
11	365 (12 meses)		

RESULTADOS

Para llevar a cabo el estudio se planificaron y ejecutaron un conjunto de ensayos a escala de laboratorio, los cuales apalancaron el estudio que conllevó a la determinación el lapso de almacenamiento o caducidad del cemento petrolero clase B-MSR.

Protocolo de pruebas de laboratorio

En la Tabla 3 se describen las pruebas realizadas para la lechada con cemento puro y diseño de campo.

Tabla 3. Protocolo de pruebas a realizar a la lechada de cemento puro y diseño de campo

CEMENTO PURO	DISEÑO DE CAMPO
Pruebas API – SPEC. 10A	Todas las señaladas para Cemento Puro
Tiempo de Bombeabilidad	Pérdida por Filtrado
Resistencia a la Compresión (Destructiva)	Sedimentación – Estabilidad de Lechada
Fluido Libre	
Reología	
Densidad	

Condiciones para realizar las pruebas

En las Tablas 4 y 5, se muestran las condiciones de prueba de laboratorio utilizadas para caracterizar el cemento puro y diseño de campo por cada ciclo de tiempo de almacenamiento.

Tabla 4. Condiciones utilizadas para la caracterización de la lechada cemento puro

PRUEBA FÍSICA	CONDICIÓN	REQ. API SPEC. 10A
Tiempo de Espesamiento	113 °F 3.890 psi en 20 minutos	Mínimo: 90 minutos
Resistencia a la Compresión (Destructiva)	100 °F – 8 y 24 horas	Mínimo 8 horas: 250 psi Mínimo 24 horas: 1.500 psi
Fluido Libre	80 °F, en reposo por 2 hrs.	No requerida
Reología	80 y 113 °F	No requerida
Densidad	80 °F.	15,6 lbs/gal

Tabla 5. Condiciones utilizadas para la caracterización de la lechada de campo

CAMPO:	MORICHAL – ANZOÁTEGUI
Profundidad Vertical (TVD):	3.890 pies
Temperatura Circulante y Estática:	119 y 140 °F
Presión Inicial:	200 psi
Presión Final:	1.900 psi
Tiempo en Alcanzar Cond. Finales:	35 minutos
Densidad del Lodo	9,0 lbs/gal

Requerimientos físicos de las pruebas para lechada de campo

En la Tabla 6, se detallan los rangos de resultados esperados para cada prueba con la lechada de campo, aplicado en el aislamiento del hoyo productor de un pozo para IAV. Estos requerimientos fueron establecidos sobre la base de los resultados promedio de las lechadas que normalmente son utilizadas en el área operacional seleccionada para el estudio.

Tabla 6. Requerimiento de pruebas para el diseño de lechada de campo

PRUEBA API RP10B	RANGO DE ACEPTACIÓN
Tiempo de Espesamiento	3:30 – 4:00 Hrs.:Min.
Resistencia a la Compresión (Destructiva)	> 1.500 psi
Densidad	15,6 lbs/gal
Fluido Libre	0%
Viscosidad Plástica	Entre 60 y 120 cps
Punto Cedente	Entre 2 y 5 lbsf/100pie ²
Pérdida por Filtrado	< 150 cc/30 minutos
Sedimentación (Estabilidad)	15,6 ± 0,5 lbs/gal

Diseño de lechada de campo

En la Tabla 7, se describe el diseño con cada uno de los aditivos en forma genérica utilizadas para llevar a cabo el estudio planteado.

Tabla 7. Diseño de lechada de campo

Componente	No. Lote	Concentración	Función Básica
Cemento	0504	100%	Cemento
Harina de Sílice	050210-04	43%	Retrogresión a la Compresión
Polímero Sulfonato Orgánico	EVCE5279-0303	0.4%	Control de Filtrado AT
Lignosulfonato de Sodio	MM-07P-13	0.4%	Retardador Baja Temp.
Metasilicato de Sodio Anhidro	03211MOC-1	0.1%	Extendedor
Silicona + Alcohol	TDU-421	0.01 GPS	Antiespumante

Nota: El lote especificado en la tabla anterior fue utilizado para cada ciclo de prueba.

Toma de muestra de cemento

Este proceso se llevó a cabo presurizando el tanque con 150 sacos de cemento por espacio de 20 minutos, haciendo pasar posterior una corriente de cemento a través de la líneas acopladas al tanque, para luego tomar un saco de cemento y dejando finalmente la muestra de cemento en reposo hasta alcanzar la condición de temperatura establecida en la Spec API 10A antes de comenzar el proceso de ejecución de cada uno de los ensayos que constituyen la batería de pruebas establecidas para la caracterización de lechada de cemento puro y el sistema cementante señalado.

EVALUACIÓN DE CADUCIDAD EN LECHADA CON CEMENTO PURO

En las tablas que se muestran a continuación se presentan los resultados que impactaron la calidad del cemento puro en cuanto a sus propiedades físicas.

En la Tabla 8 se muestran las propiedades físicas del cemento petrolero B-MSR reportadas por el fabricante.

Tabla 8 Propiedades físicas del cemento petrolero B-MSR, lote 05-04 emitido por el fabricante

Propiedad Física	Valor Obtenido	Requerimiento API Spec. 10A
Tiempo de Espesamiento, minutos	115	> 90
Consistencia – 15 minutos, Bc	13	< 30
Consistencia – 30 minutos, Bc	15	< 30
Resistencia a la Comp. - 8 horas – 100 °F., en psi	1.075	> 200
Resistencia a la Comp. - 24 horas – 100 °F. en psi	3.025	> 1.500
Fluido Libre, %	0,36	No Requerido
Viscosidad Plástica, cps	56	Igual
Puntos Cedente, lbsf/100 pie2	0	Igual

Tiempo de espesamiento

En la Figura 4 se muestran los resultados obtenidos por cada ciclo de prueba del tiempo de espesamiento de cada lechada de cemento puro para cada tiempo de almacenamiento o envejecimiento de la muestra de cemento en estudio.

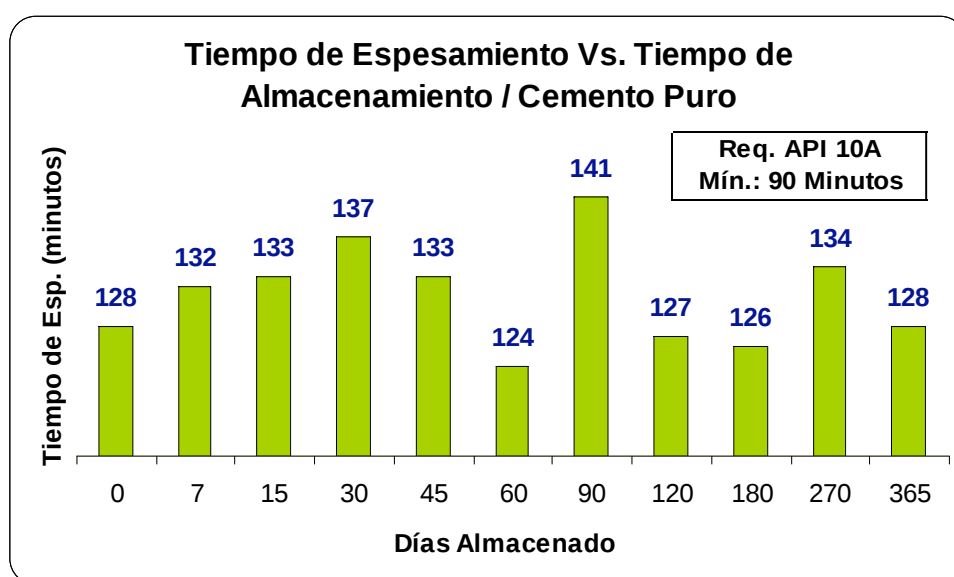


Fig.4. Tiempo de espesamiento en función del ciclo de prueba para las lechadas de cemento puro

Comentario: Se observa que los mayores valores de tiempo de espesamiento se obtuvieron a los 30,90 y 270 días de almacenamiento

Consistencia

En la Figura 5 se presentan los resultados obtenidos de la consistencia de la lechada con cemento puro, en el mismo se puede notar el incremento de esta propiedad física a partir de un tiempo de almacenamiento de 120 días.

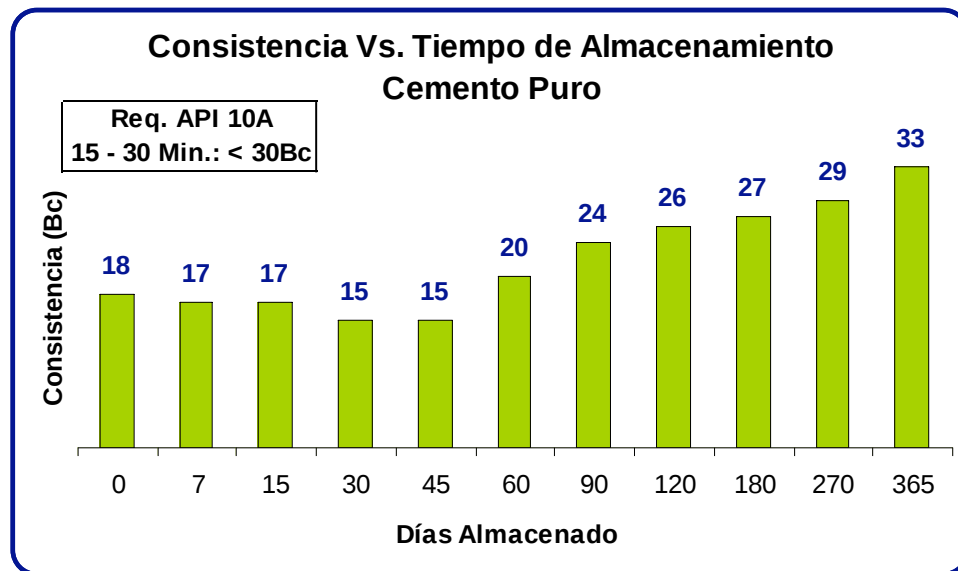


Fig.5. Consistencia de la lechada en función del tiempo de almacenamiento

Fluido libre

En la Figura 6 se presentan los resultados obtenidos del fluido libre de cada muestra, por cada ciclo de prueba. En la misma se puede observar que el tiempo de almacenamiento empieza a tener un impacto en dicha propiedad a partir de los 180 días de almacenamiento.

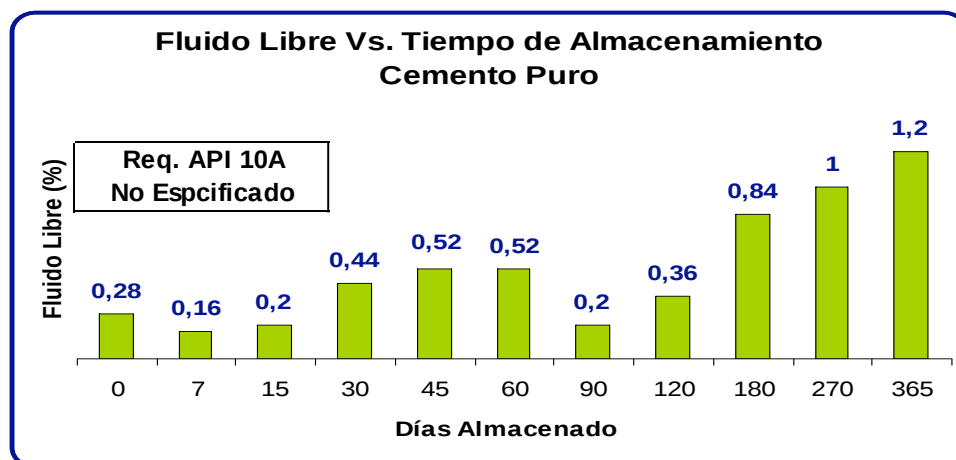


Fig.6. Fluido libre de la lechada de cemento puro en función del tiempo de almacenamiento de la muestra

Resistencia a la compresión

En la Figura 7 se pueden detallar como varía la resistencia a la compresión de la lechada neta con respecto al tiempo de almacenamiento de la muestra, notando el impacto a partir de los 180 días de almacenada la muestra de cemento puro.

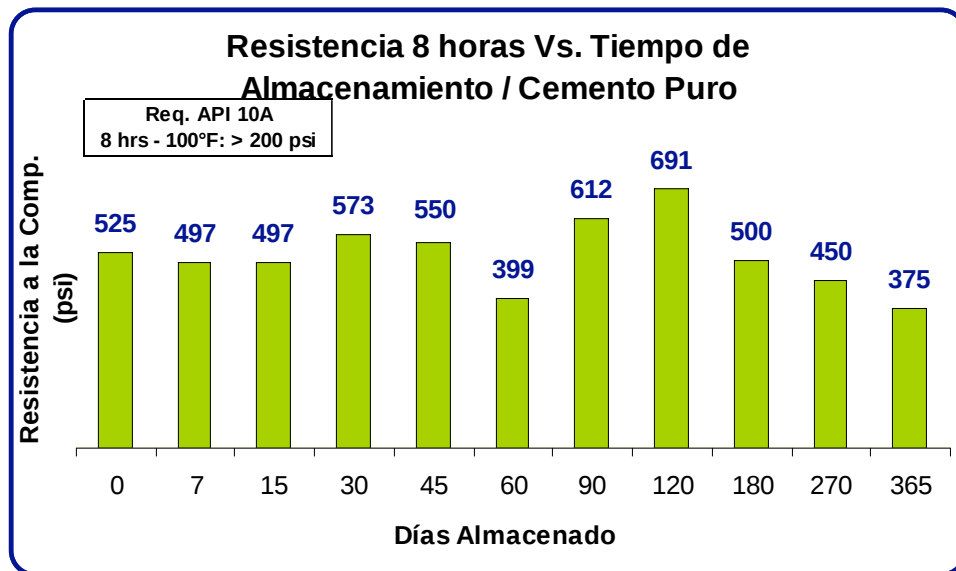


Fig.7. Resistencia a la compresión de las lechadas de cemento puro con respecto al tiempo de almacenamiento

EVALUACIÓN DE CADUCIDAD EN LECHADA PARA CAMPO

Viscosidad plástica y punto cedente

En las Figuras 10 y 11 se puede detallar la variación de la viscosidad plástica y punto cedente de la lechada típica de campo para el aislamiento zonal en el área seleccionada. En las mismas se puede notar que estas propiedades físicas son afectadas por el tiempo de almacenamiento a partir de los 120 días.

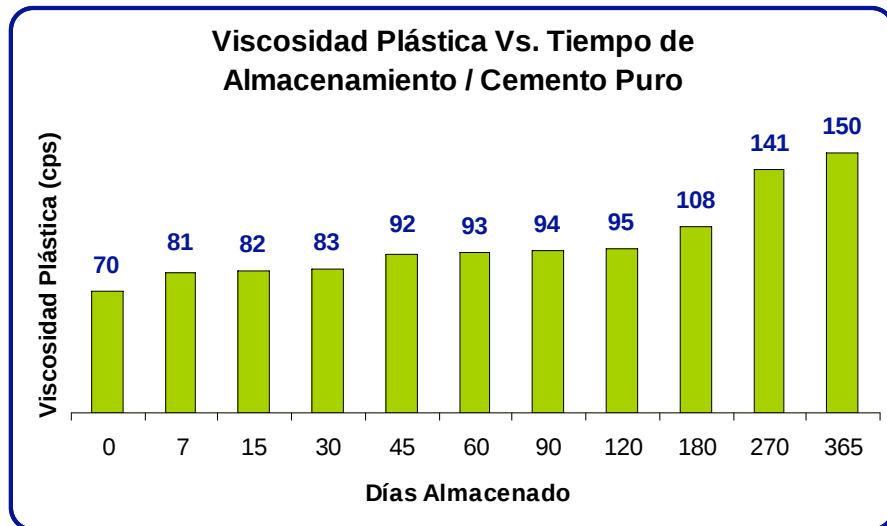


Fig.10. Viscosidad plástica de la lechada de cemento de campo en función del tiempo de almacenamiento a temperatura de 115 °F

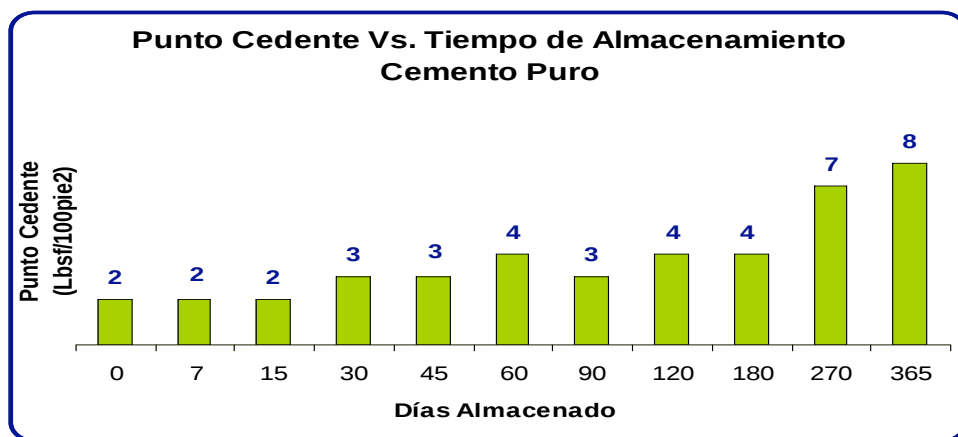


Fig.11. Punto cedente de la lechada de cemento de campo en función del tiempo de almacenamiento a temperatura de 115 °F

Pérdida por filtrado

En la Figura 12 se reportan los resultados de los valores de filtrado obtenidos en la lechada de campo con respecto al tiempo de almacenamiento de la muestra de cemento petrolero B-MSR. En el mismo se puede notar que el valor de filtrado se mantiene dentro de lo requerido (< 150 ml/30 min.) para realizar el aislamiento zonal en el área seleccionada.

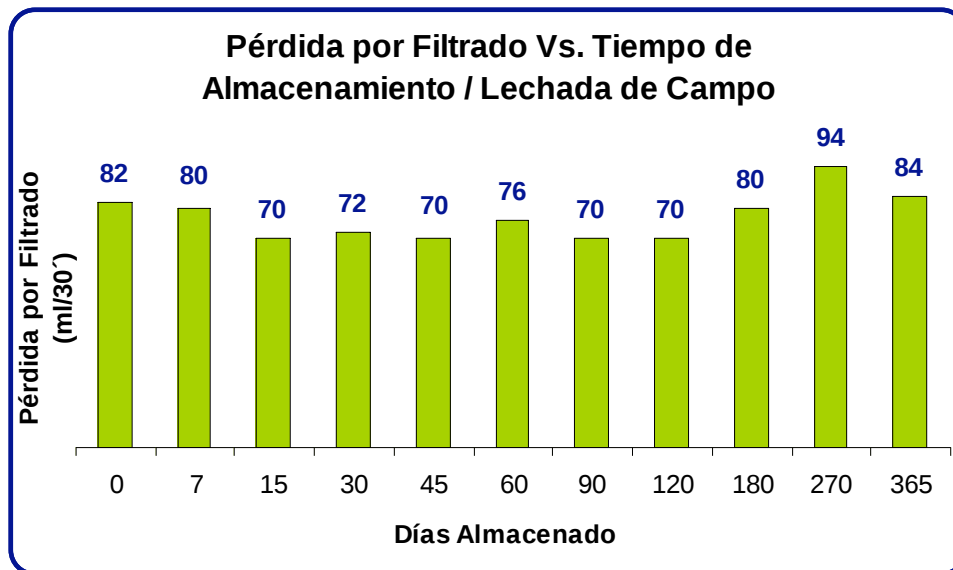


Fig.12. Pérdida por filtrado de las lechadas de cemento de campo en función del tiempo de almacenamiento de la muestra de cemento puro

Fluido libre

En la Figura 13 se presentan los resultados obtenidos con la prueba de fluido libre realizado a la lechada típica de campo en función del tiempo de almacenamiento de la muestra de cemento puro B-MSR. Los resultados obtenidos demuestran que esta propiedad no es afectada por dicho tiempo.

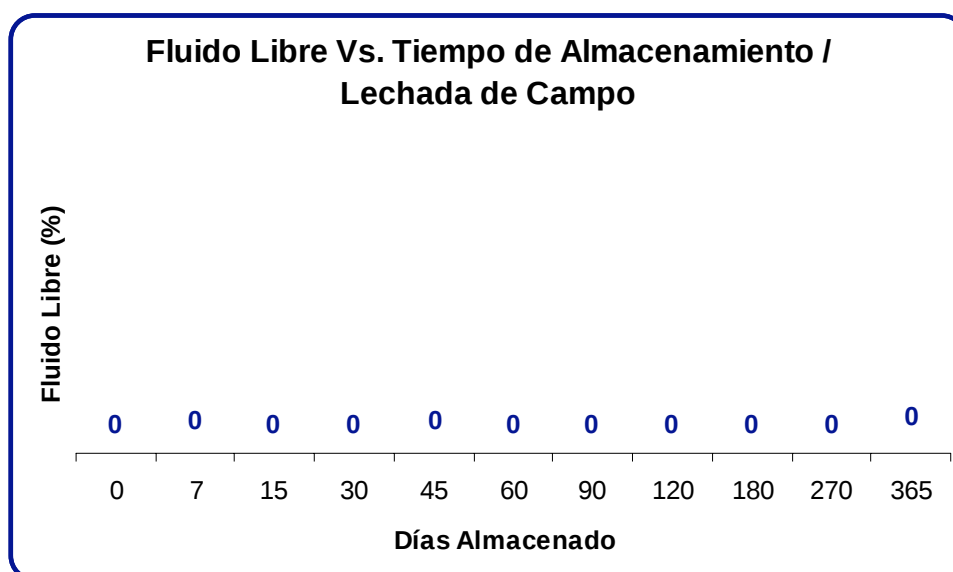


Fig.13. Fluido libre de las lechadas de cemento para la condición de pozo seleccionado

Resistencia a la compresión

En las Figuras 14 y 15 se presentan los resultados de la resistencia a la compresión en forma destructiva a 8 y 24 horas de curado para lechada típica de campo en función del tiempo de almacenamiento de la muestra de cemento puro. Los resultados demuestran que esta propiedad queda afectada con el tiempo de almacenamiento después de los 120 días continuos.

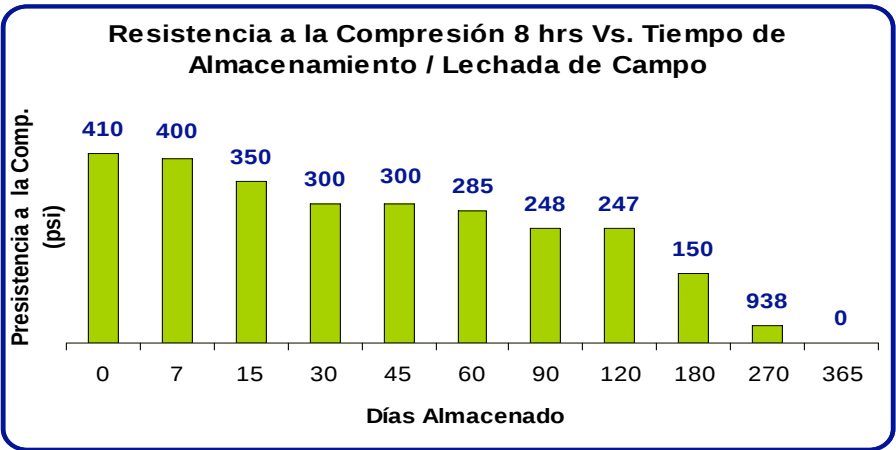


Fig.14. Resistencia a la compresión en forma destructiva para 8 horas de curado de la lechada de campo en función del tiempo de almacenamiento de la muestra de cemento puro

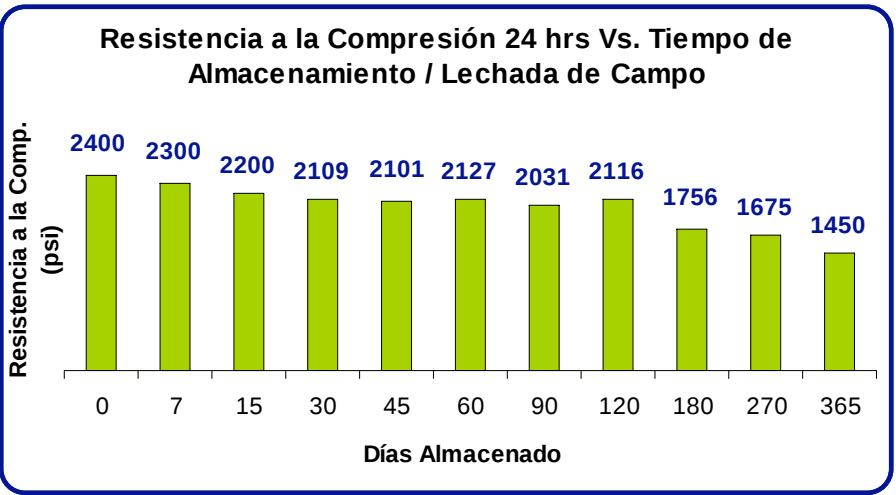


Fig.15. Resistencia a la compresión en forma destructiva para 24 horas de curado de la lechada de campo en función del tiempo de almacenamiento de la muestra de cemento puro

Tiempo de espesamiento

En la Figura 16 se puede observar como varía el tiempo de espesamiento de la lechada de cemento típica de campo con respecto al tiempo de almacenamiento de la muestra de cemento puro B-MSR. En la misma se puede notar que esta propiedad no es afectada drásticamente por dicho tiempo.

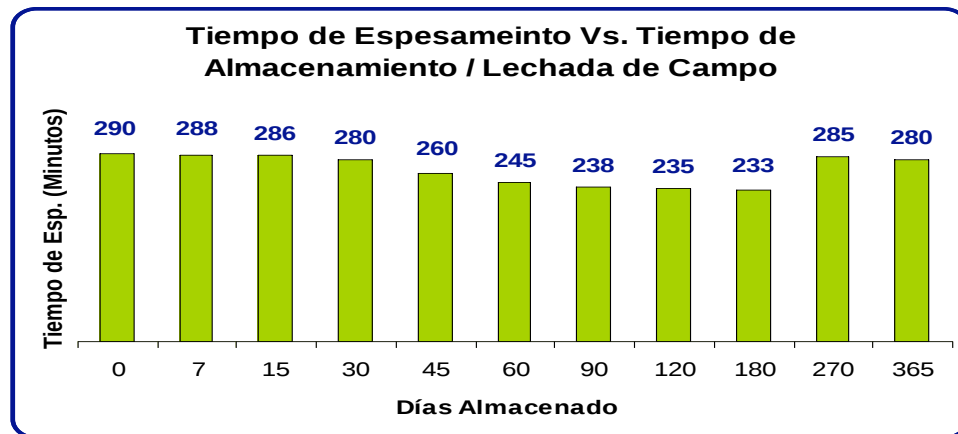


Fig.16. Tiempo de espesamiento de la lechada de campo con respecto al tiempo de almacenamiento de la muestra de cemento puro

Sedimentación o estabilidad

En la Figura 17 se presentan los resultados obtenidos de la prueba de estabilidad de la lechada típica de campo con respecto al tiempo de almacenamiento de la muestra de cemento puro. En el gráfico se puede notar que esta propiedad es afectada por dicho tiempo a partir de los 180 días.

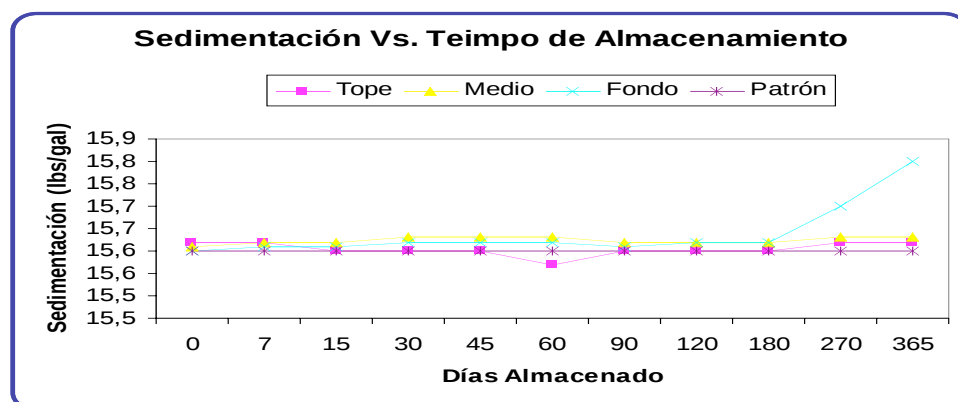


Fig.17. Sedimentación o estabilidad de la lechada de campo con respecto al tiempo de almacenamiento de la muestra de cemento puro

CONCLUSIONES

Los ensayos realizados conllevaron a definir el lapso del tiempo de almacenamiento o caducidad del cemento petrolero clase B-MSR, además de visualizar el impacto que el mismo tiene sobre algunas propiedades tanto del cemento puro como del sistema cementante establecido y la calidad efectiva que debe tener todo cemento petrolero utilizado en las diferentes operaciones de cementaciones primarias y secundarias que se llevan a cabo en los pozos de petróleo y/o gas, además de la inherencia de pérdidas económicas que éste puede ocasionar en el proceso de la construcción de los pozos petroleros.

Basado en los resultados obtenidos tanto con la caracterización de lechadas con cemento puro como en la aditivada, se pueden decir que el tiempo de almacenamiento afecta la calidad del cemento y por ende el éxito de las operaciones que se llevan a cabo para el aislamiento zonal. Se pudo determinar que el tiempo máximo de almacenamiento de la clase de cemento estudiado oscila entre 120 a 180 días.

REFERENCIAS

1. Nelson, E. Well Cementing. Schlumberger Dowell. Sugar Land, Texas. 1990.
2. American Petroleum Institute. Norma API Specification 10A. 2002.
3. American Petroleum Institute. Norma API Recommendations Practices 10B. 2005
4. ISO 10426-1: Specification Cement and Material for Well Cements - 2004.
5. ISO 10426-2: Cement and Material for Well Cementing: Part 2 Testing of well cements - 2005
6. FONDONORMA 3866:2005. Requisitos para los Cementos y Materiales para Pozos de Petróleo y/o gas.2005.