

Influencia de los Parámetros de Operación en la Compactación y Propiedades Finales de la Pasta Catódica en el Revestimiento Catódico de Celdas de Producción de Aluminio.

Tosta, Rafael

CVG Alcasa, Puerto Ordaz, Venezuela, rafael.tosta@alcasa.com.ve

Inzunza, Evelyn

CVG Alcasa, Puerto Ordaz, Venezuela, evelyn.inzunza@alcasa.com.ve

RESUMEN

Para la producción de aluminio primario se utilizan celdas electrolíticas las cuales están compuestas de un componente anódico y otro catódico. El componente catódico esta constituido por bloques catódicos y pasta catódica a base de antracita y brea de petróleo. La pasta catódica es compactada dentro de unos parámetros de operación siendo esta actividad predominante en el buen funcionamiento de la celda en operación y del tiempo de vida útil que esta alcance En el presente trabajo se estudia la influencia de la temperatura y la presión de compactación sobre las propiedades físicas finales de la pasta catódica durante el revestimiento catódico. Se compactaron 9 tipos de mezclas a escala semindustrial a diferentes temperaturas y presiones de acuerdo a un diseño experimental factorial del tipo 3ⁿ. Las temperaturas utilizadas fueron de 140, 145 y 150 °C y las presiones fueron de 70, 80 y 90 psi, en un molde de acero fabricado para simular la compactación de la pasta. Estos dos parámetros se combinaron según el diseño experimental. Las propiedades fueron medidas sobre muestras cilíndricas tomadas de la compactación semindustrial en el molde y sometidas a cocción a una temperatura y tiempo determinado. De los resultados obtenidos se determino que las mejores propiedades se obtuvieron con una presión de 90 psi y una temperatura de 145°C.

Palabras claves: Compactación, celdas electrolíticas, antracita, brea de petróleo.

1. INTRODUCTION

El revestimiento de una celda es de considerable importancia en la economía del proceso de reducción de aluminio primario ya que el reacondicionamiento de una celda es extremadamente costoso en donde el reemplazo de un revestimiento catódico de aproximadamente el 5% del costo del metal producido para una celda en un periodo cercano a los 2000 días (Belitskus 1994). Este revestimiento forma parte del componente catódico o simplemente cátodo. En la Figura 1 se muestra el esquema de una celda electrolítica para producción de aluminio. Uno de los resultados determinantes de vida útil del cátodo es el grado de uso del mismo. Durante la cocción de la celda ocurren grandes cambios dimensionales en los materiales sellantes carbonosos (pasta catódica) en originar fallas prematuras en las celdas de reducción de aluminio, incrementando de esta manera los costos de producción del mismo (Franke et al 1984). De allí que es importante tener un buen entendimiento de las propiedades de los materiales carbonosos del revestimiento bajo el actual precalentamiento, arranque y condiciones de operación (Sorlie y Oye 2005). Apuntando a estos puntos particulares se pretende optimizar las características de la pasta catódica actualmente utilizada en una planta de producción de aluminio en ubicada en Venezuela, específicamente CVG Alcasa, desde un punto de vista de control de variables y parámetros.

Durante el desarrollo del proyecto se estableció un diseño experimental factorial 3^2 (Wendlaandt 1973), donde se tomaron como parámetros importantes la presión y la temperatura de compactación, teniéndose como variable de respuesta las propiedades físicas de la pasta luego de ser compactada y sometida a cocción. Tales propiedades son densidad aparente en verde y en cocido, conductividad térmica, permeabilidad al aire, resistividad eléctrica y resistencia a la compresión. Cabe destacar que la evaluación de la pasta se realizó a escala semindustrial, tomando como punto de referencia los parámetros de temperatura y presión de compactación utilizadas en planta, dicha compactación se hizo de forma horizontal e inclinada de tal forma de simular las direcciones de compactación normales durante operación. Con los resultados obtenidos se elaboraron superficies de respuesta para el análisis de los mismos.

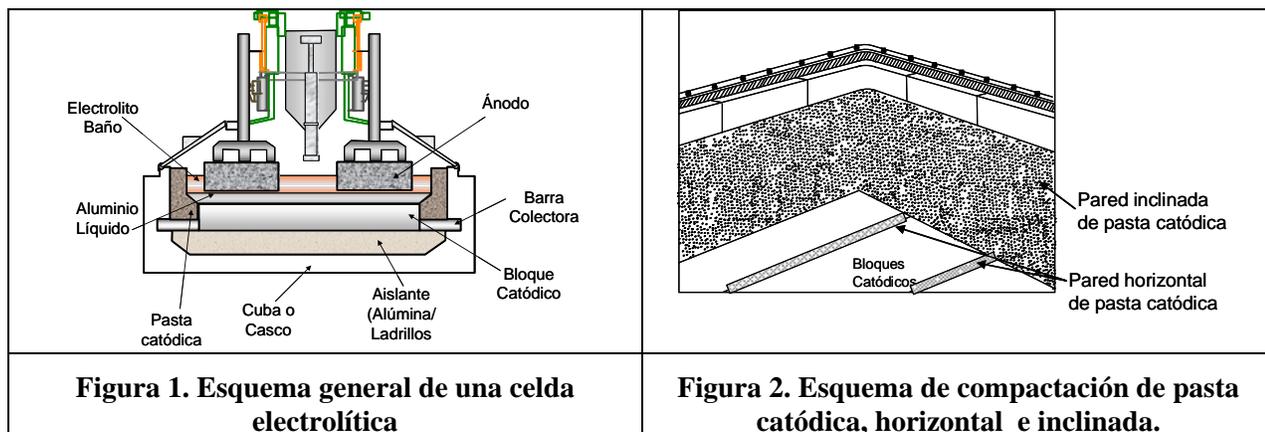


Figura 1. Esquema general de una celda electrolítica

Figura 2. Esquema de compactación de pasta catódica, horizontal e inclinada.

2. METODOLOGÍA

2.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

En la presente investigación el diseño factorial es de tipo 3^2 en donde se evaluaron dos factores en tres niveles, el cual da un total de 9 posibles combinaciones. La figura 3 muestra las diferentes combinaciones.

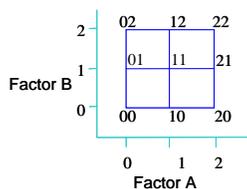


Figura 3. Combinaciones de tratamientos en un diseño 3^2 .

El orden de posición establece el factor, en este caso la primera posición esta determinada por el factor presión de compactación y la segunda posición por la temperatura de compactación. El número establece el nivel del factor en donde:

- 0: Nivel menor
- 1: Nivel medio
- 2: Nivel mayor

En la tabla 1 se muestran las combinaciones obtenidas para esta investigación.

Tabla 1. Combinaciones determinadas por el diseño experimental

Muestras	Comb.	Presión (psi)	Temp. (°C)
1	00	70	140
2	01	70	145
3	02	70	150
4	10	80	140
5	11	80	145
6	12	80	150
7	20	90	140
8	21	90	145
9	22	90	150

2.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

De cada combinación se extrajeron 9 probetas para someterlas a 9 ensayos por partida triple para obtener un grado de seguridad mayor, en los resultados obtenidos. Esto dio como resultado que a cada combinación se le hizo 27 ensayos por lo tanto el total de ensayos fue de 243. Esto puede visualizarse mejor en la tabla 2.

Tabla 2. Número de ensayos a realizar

Nº	Comb.	Ensayos	Repeticiones	Total
1	00	9	3	27
2	01	9	3	27
3	02	9	3	27
4	10	9	3	27
5	11	9	3	27
6	12	9	3	27
7	20	9	3	27
8	21	9	3	27
9	22	9	3	27
Total de ensayos				243

2.3 COMPACTACIÓN

Para la compactación de la pasta catódica se fabricó una caja con característica desmontable como se muestra en la figura 4, la cual simula la pared lateral (inclinada) y las ranuras entre bloques catódicos (superficie horizontal) de la celda, ver figura 2. Esta fue hecha de acero de 1/8 de espesor. Todas las paredes de la caja son unidas por medio de tuercas y tornillos para poder desmontarla luego de que se compacte obteniendo de esta forma un cuerpo compacto de mezcla catódica.

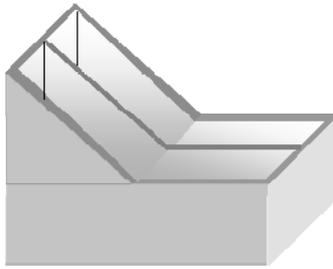


Figura 4. Caja desmontable de acero.

Se compactaron 9 mezclas, a diferentes condiciones de presión y temperatura.

Esta compactación se realizó a escala semindustrial (ver figura 5), en el mismo instante en que se compactaba, en el área, las celdas de reducción tanto, la pared inclinada como las ranuras. La presión se reguló a través de un manómetro de glicerina, el cual se colocó entre el manifold de distribución de presión y el equipo de compactación (bailarina o martillo neumático). La dirección de compactación del equipo fue horizontal con respecto a la superficie de las ranuras y de la pared inclinada (véase figura 5).

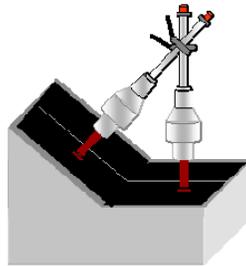


Figura 5. Esquema de dirección de compactación.

La temperatura se controló con un registrador de temperatura y una termocupla, una vez la pasta o mezcla llega al sitio de reacondicionamiento.

La extracción de las probetas se realizó con una máquina probeteadora, en sentido perpendicular al plano de las superficies inclinadas y horizontales como se muestra en las figuras 6 y 7.

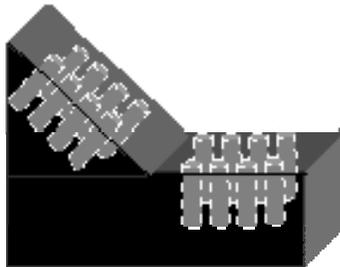


Figura 6. Extracción de probetas



Figura 7. Máquina probeteadora

Luego de extraer las probetas y sometidas a cocción a una temperatura de 950°C durante 24 horas, se le realizaron a las mismas ensayos físicos. La densidad en verde se realiza antes de que las probetas entraran a cocción.

2.4 ENSAYOS

2.4.1 DENSIDAD EN VERDE Y COCIDO:

Para determinar la densidad en verde y en cocido se utiliza las dimensiones y peso de las probetas antes y después de cocción (Sorlie y Oye 1989).

2.4.2 PERMEABILIDAD:

La permeabilidad al aire es determinada por la medición del tiempo con que cierto volumen de aire pasa a través de una muestra de diámetro 50 mm y longitud 20 mm. Resultados se expresan en nPm (Sorlie y Oye 1989).

2.4.3 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA:

La conductividad térmica es usada para determinados procesos comparativos. Esta propiedad se determina a la probeta una vez cocida y es medida en W/m²K. Para ello se utilizó el equipo de conductividad térmica. Las probetas fueron cortadas con dimensiones de 50X20 mm, la muestra se colocó entre dos cabezales. Uno calienta a 60°C representando una fuente de calor y el otro enfría con un sistema de agua a 20°C, representado como calor débil. Las termocupla localizadas en el cabezal frío leen el incremento de la temperatura debido al incremento de calor resultante. Esta temperatura es comparada con la obtenida con el estandar, ello permite calcular la conductividad térmica en muestras de carbón (Sorlie y Oye 1989).

2.4.4 RESISTIVIDAD ELÉCTRICA:

Este procedimiento es sugerido para determinar la resistividad del material de que esta compuesto la pasta catódica, propiedad intrínseca que esta relacionada a la resistencia que opone la pasta al paso de la corriente.

Antes de realizar esta prueba la probeta debe ser secada a 110°C durante una hora. Las dimensiones de la probeta es de 50X50 mm (Sorlie y Oye 1989).

2.4.5 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN:

Mínimo esfuerzo compresivo necesario para romper una muestra de forma cilíndrica, en condiciones normalizadas. En este método la resistencia a la compresión se toma como la máxima carga alcanzada por unidad de área durante el ensayo, o la carga por unidad de área cuando se alcanza el 15% de deformación axial, lo que ocurra primero durante la ejecución de un ensayo. Se reporta en MPa (Sorlie y Oye 1989).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos fueron presentados a través de superficies de respuesta de cada una de las propiedades a diferentes valores de presión y temperatura, para las dos direcciones de compactación.

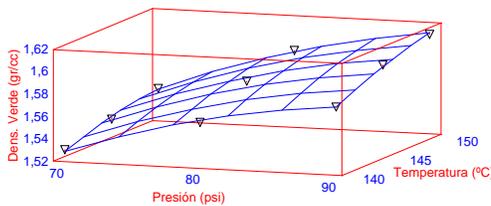


Figura 8. Superficie de respuesta estimada para la Densidad en Verde (compactación pared inclinada)

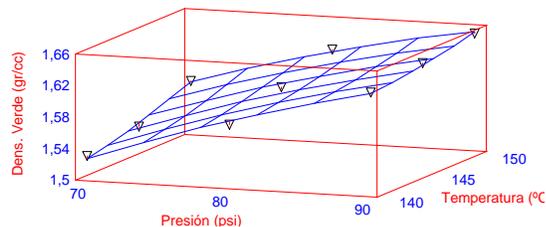


Figura 9. Superficie de respuesta estimada para la Densidad en Verde (compactación horizontal)

Las figuras 8 y 9 muestran el comportamiento de la densidad en verde con la presión y temperatura tanto para la pared inclinada como la horizontal. En las mismas se puede observar que a medida que se aumenta la presión y la temperatura de compactación, la densidad de la pasta se incrementa, de igual forma tanto para altas y bajas temperaturas de compactación y bajas presiones de compactación se obtienen bajos valores de densidad.

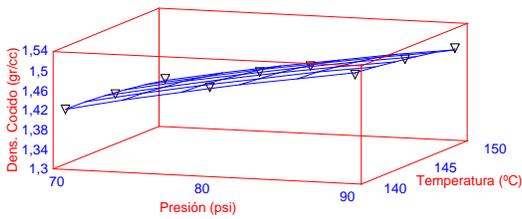


Figura 10. Superficie de respuesta estimada para la Densidad en cocido (compactación pared inclinada)

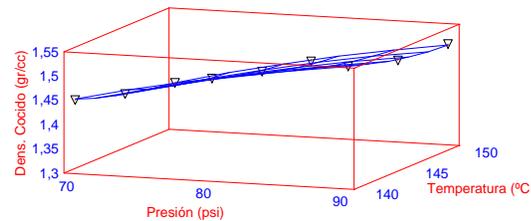


Figura 11. Superficie de respuesta estimada para la Densidad en Cocido (compactación horizontal)

Las figuras 10 y 11 muestran el comportamiento de la densidad en cocido con la presión y la temperatura de compactación para la pared inclinada y horizontal. Se puede notar que el mayor valor de densidad en cocido se obtuvo para la pasta que se compactó a baja temperatura y alta presión. La tendencia de la densidad en cocido difiere para altas y bajas temperaturas, por lo que se infiere que la temperatura de compactación tiene una gran relevancia sobre las propiedades de la pasta.

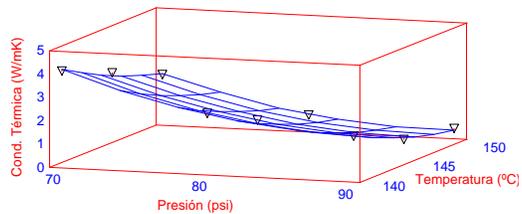


Figura 12. Superficie de respuesta estimada para la Conductividad Térmica (compactación de pared inclinada)

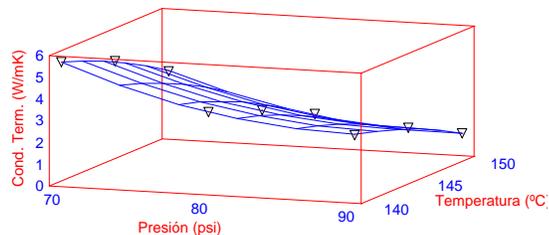


Figura 13. Superficie de respuesta estimada para la Conductividad Térmica (compactación horizontal)

Las figuras 12 y 13 muestran los resultados de la conductividad térmica de la pasta compactada a diferentes valores de presión y temperatura en las dos paredes. En cuanto a las propiedades térmicas (conductividad) se puede notar que el mejor valor se obtiene a bajas presiones y temperaturas, esto puede deberse a que la pasta estaba muy húmeda al momento de realizar la compactación, formando menos grietas y fracturas durante la cocción de la misma.

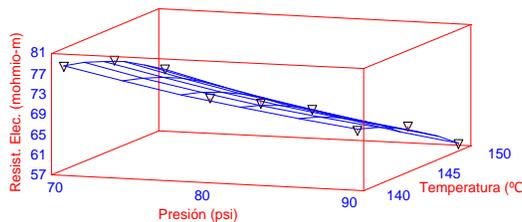


Figura 14. Superficie de respuesta estimada para la Resistividad Eléctrica (compactación de

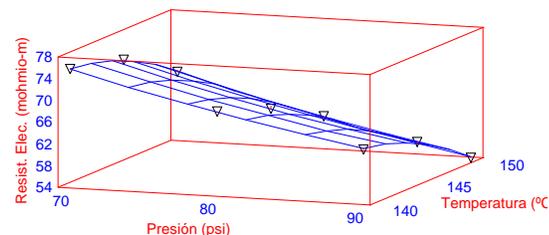


Figura 15. Superficie de respuesta estimada para la Resistividad Eléctrica (compactación

pared inclinada)

horizontal)

Las figuras 14 y 15 muestran los resultados de resistividad eléctrica para la pared compactada de forma inclinada y horizontal. La tendencia de la resistividad coincide con el comportamiento de la conductividad térmica ya que el cuerpo a ensayar se asemeja más a un elemento continuo.

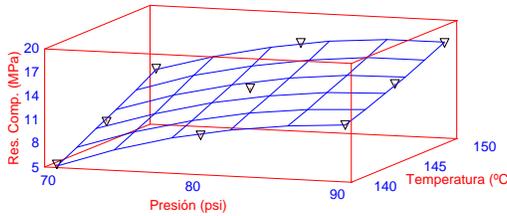


Figura 16. Superficie de respuesta estimada para la Resistencia a la Compresión (compactación pared inclinada)

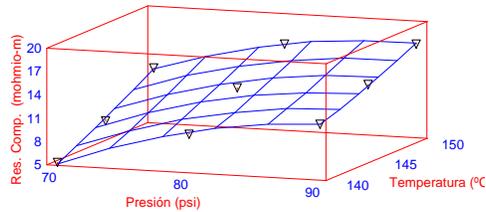


Figura 17 Superficie de respuesta estimada para la Resistencia a la Compresión (compactación horizontal)

En las figuras 16 y 17 se pueden observar los resultados del ensayo de resistencia a la compresión con la presión y la temperatura de la pared inclinada y horizontal. Se puede observar una clara tendencia del aumento de la resistencia a la compresión con el incremento de la presión y la temperatura de compactación, como era de esperarse.

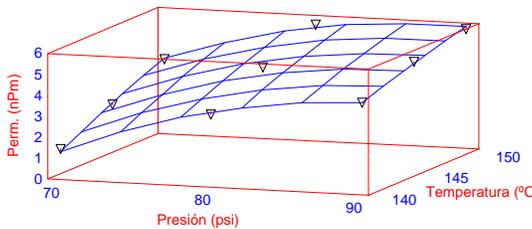


Figura 18. Superficie de respuesta estimada para la Permeabilidad (compactación pared inclinada)

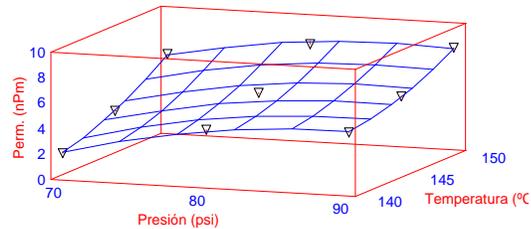


Figura 19. Superficie de respuesta estimada para la Permeabilidad (compactación horizontal)

Las figuras 18 y 19 muestran el comportamiento de la permeabilidad con la variación de la presión y la temperatura de compactación de ambas paredes. El incremento de la permeabilidad con el aumento de la temperatura y presión de compactación es un comportamiento no esperado. Esto pudo ser ocasionado por una sobre compactación y que al momento de la cocción la salida violenta de los volátiles haya generado vías de escape haciendo a las probetas más permeables.

CONCLUSIONES

La técnica de superficie de respuesta nos permite correlacionar tres variables de forma amigable.

Por los resultados obtenidos la pasta a compactar tuvo exceso de breá.

La temperatura de compactación es la variable con mayor peso que la presión de compactación en la mayoría de las propiedades analizadas.

Un control de los parámetros de presión y temperatura de compactación durante el revestimiento podría garantizar un mejor resultado al momento de incorporar la celda en operación.

Se determinó que las mejores propiedades se obtuvieron con una presión de 90 psi y una temperatura de 145°C.

BIBLIOGRAFÍA

- Belitskus, D. (1994). "Effects of Formulation and Baking Rate on Aluminum Reduction Cell Seam Material", Light Metals..
- Franke, A.J., Forster, L., Sturm, A. (1984). "Operational Experience with Cold Ramming Paste", Light Metals.
- Sorlie, M., Oye, H. (2005). "*Cathodes in Aluminium Electrolysis*", 2nd edition, Aluminium-Verlag, Trondheim, Norway
- Sorlie, M., Oye, H. (1989). "Laboratory Testing Of Carbon cathode Materials at Operational Temperatures", Light Metals.
- Wendlaandt, W. (1973). "*Thermal Methods of Analysis*", John Wiley & Sons.

Autorización y Renuncia

Los autores autorizan a LACCEI para publicar el escrito en los procedimientos de la conferencia. LACCEI o los editors no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que esta expresado en el escrito