

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**EVALUACION DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES ALEATORIAS
PRESENTES EN EL EMPASTADO DE PLACAS POSITIVAS EN LA
CAPACIDAD 20 HORAS DE BATERIAS PLOMO ACIDO DE USO
AUTOMOTRIZ.**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Julia M. Rodríguez M.
Para optar al Título de
Ingeniero Químico

Caracas, 2011

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACION DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES ALEATORIAS PRESENTES EN EL EMPASTADO DE PLACAS POSITIVAS EN LA CAPACIDAD 20 HORAS DE BATERIAS PLOMO ACIDO DE USO AUTOMOTRIZ.

TUTOR ACADEMICO: Prof.: Francisco Yánez

TUTOR INDUSTRIAL: Ing.: Ysmel Sierra.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Julia M. Rodríguez M.
Para optar al Título de
Ingeniero Químico

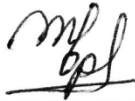
Caracas, 2011

Caracas, Mayo 2011

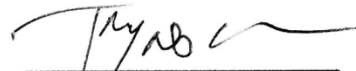
Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller Julia M. Rodríguez M., titulado:

**"EVALUACION DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES ALEATORIAS
PRESENTES EN EL EMPASTADO DE PLACAS POSITIVAS EN LA
CAPACIDAD 20 HORAS DE BATERIAS PLOMO ACIDO DE USO
AUTOMOTRIZ"**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Químico, y sin que ella signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.



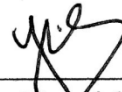
Prof(a). Carolina Pfaff
Jurado



Prof. Trino Romero
Jurado



Prof. Francisco Yáñez
Tutor Académico



Ing. Ysmel Sierra
Tutor Industrial

DEDICATORIA

A mis padres, quienes con mucho esfuerzo lograron darme a mi hermana y a mi todo lo que necesitamos y más, los amo.

A mi hermana Nore, por darme tanto cariño, apoyo y por siempre creer en mí.

A Daniel, por demostrarme todos los días que el cielo es el límite, que mientras se sienta confianza en sí mismo, sin importar que, todo puede alcanzarse.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Central de Venezuela, por abrirme sus puertas, permitiéndome formarme académicamente en sus aulas y por servir de medio para mi crecimiento profesional y personal.

A mis Padres, por darme la vida, amor y todo aquello que me hizo falta y lo que muchas veces no. A mi mamá tan bella y guapa, que ha sido capaz de levantarse hasta en los peores momentos por amor a sus hijas. Por darme amor todos los días. A ambos les debo mi persona y mi vida. Muchas gracias, los amo.

A mi tutor Industrial, el Ing. Ysmel Sierra, por darme la confianza de realizar este trabajo y ayudarme durante todo el proceso, con ese carisma que solo las excelentes personas poseen, siempre con una sonrisa y con positivismo, dándome la oportunidad de conocer más a fondo esta profesión bajo su tutela y por encontrar siempre soluciones y no problemas en los momentos en los que el trabajo se complicaba. Gracias por hacer mi primera experiencia laboral más amena.

Al Ing. Walter Welsh, por su inmensa colaboración, aclarándome con detalle cada duda que mi básico conocimiento de estadística pudo generar, por ser excelente persona, aconsejándome y contribuyendo siempre con ideas que facilitaron el trabajo. Gracias.

A mi tutor Académico, Francisco Yáñez, por darme sus conocimientos, gracias por su enseñanza y sus consejos para terminar de manera excelente este trabajo.

A toda mi familia, tías, tíos y primos, por siempre estar pendientes, dándome apoyo durante toda la carrera.

A Acumuladores TITAN, especialmente a las personas que laboran en el departamento de Aseguramiento de Calidad. A Jhon Montes, gracias por ser tan buen amigo y por aconsejarme siempre. A José Rivero por explicarme cada ensayo eléctrico, la razón por la cual cada cosa se realiza en el laboratorio, usted fue de gran ayuda. A Jhonny C, Eloy, Jonathan, Hugo Ramos, Ederdo Ramírez, Ronald Nelaury, ustedes hicieron de mi estadía en TITAN muy amena, gracias por ser excelentes compañeros de trabajo y amigos.

A mis amigos de la Universidad, juntos nos apoyamos, nos reímos, lloramos cuando las cosas no salían tan bien, ustedes forman parte de la mejor etapa de mi vida. Aura, eres una gran persona, tu sentido del humor tan único así como tu apoyo incondicional hacen que te tenga un gran cariño. Sé que tendrás mucho éxito en todo lo que te propongas, sigue siendo la espectacular persona que eres. José G, gracias por ser tan noble, bueno y por darme esa amistad tan desinteresada, gracias además por abrirme las puertas de tu casa y tu familia, para sentirme también parte de ustedes. Te quiero mucho amigo. Yaquelin, gracias por ser tan bella persona, compartimos muchos momentos juntas, las penas por las materias y también muchas glorias. Gracias por ayudarme a culminar este trabajo y darme tus consejos, eres

tremenda profesional, considero que aprendí mucho de tu humildad, gracias por darme tu confianza. Marines, amiga gracias por tu dulzura y positivismo siempre, por repetirme en cada momento que con una sonrisa, todo se logra. Angélica y Graciela, gracias por su amistad y por ayudarme siempre, por ser tan bellas personas, me llevo un recuerdo muy lindo de los últimos semestres en la escuela gracias a ustedes, las quiero. A mis amigos del básico: Sarita, Alberto Vegas, Alberto Espinasa, JT, Jose Alirio, Maru Arriaga, Maru Mendoza, Leonardo, Marquito, Fung. Son lo máximo. Aquellos que se encuentran fuera del país, los recuerdo con mucho cariño. Gracias por tantos momentos divertidos.

Al mis amigos del Lado Oscuro; Mariela, amiga, empecé a compartir contigo ya finalizando esta carrera, lamento no haberte conocido antes, eres tremenda persona, gracias por abrirme la puerta de tu casa en La Victoria, fue mi hogar en momentos de tesis, gracias por tu infinita confianza y apoyo, por ser como mi hermana, te adoro. Denis, gracias por tus consejos, por tu apoyo incondicional y por ser a veces compañero de tesis cuando más lo necesite. Gabriela, estuviste siempre al pendiente de los pormenores de este trabajo, muchas gracias por ayudarme, por tu amistad y por tus consejos. A Luis Alberto, Toto, Jose, Dani y Pedro, gracias por llenar de momentos tan graciosos mis días y reuniones de tesis. Los quiero a todos.

A la Familia Cela-Méndez, por hacerme sentir parte de la familia, siendo para ustedes una hija más y por brindarme las instalaciones de su casa para experimentar sana paz, estudiar y compartir con mis amigos.

Al Sr Pedro Olivier y a su Sra. Honoria, por alojarme en su casa durante la época en la que tuve que vivir en Cagua, en su casa recibí mucho cariño y paz y me sentí como una hija más para ustedes. Les guardo mucho cariño.

A mi Hermana Norelis, por darme tanto cariño y apoyarme siempre. Me enseñaste que teniendo amor por lo que se hace y dando todo de sí, se puede lograr lo que deseamos. Gracias por hacerme confiar en mí misma, enseñándome a diario que la razón principal para salir adelante es hacer todo lo que nos proponemos en función a nuestros propios anhelos sin importar las presiones que nos puedan ejercer los demás. Te amo.

Finalmente, quiero agradecerle a mi compañero de tesis, mi tutor de vida, mi amor. Eres la persona que me enseña todos los días a vivir cada uno como si fuese el ultimo, que el cielo es el límite, que no importa lo que pase, todo siempre tiende a estar bien. Has sido apoyo y empuje para lograr esta meta, queriéndome todos los días porque confías en mí. Infinitas gracias mi Cela.

Rodríguez M, Julia M.

EVALUACION DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES ALEATORIAS PRESENTES EN EL EMPASTADO DE PLACAS POSITIVAS EN LA CAPACIDAD 20 HORAS DE BATERIAS PLOMO ACIDO DE USO AUTOMOTRIZ.

Tutor Académico: Prof. Francisco Yánez. Tutor Industrial: Ing. Ysmel Sierra.
Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.
Año 2011, 107p.

Palabras claves: Baterías, Material Activo Positivo, Placa Positiva, Control de Proceso de Empastado, Variables Aleatorias, Ensayo Capacidad 20 horas, Ensayo C20.

Resumen. Acumuladores TITAN, C.A. Es una empresa venezolana dedicada a la elaboración de Acumuladores plomo-ácido, principalmente de uso automotriz. Una de las etapas más relevantes del proceso de manufactura de este tipo de acumuladores es la de empastado de placas positivas. Durante el período 2008-2009, la respuesta del ensayo eléctrico, capacidad 20 horas, realizado a baterías modelo 22MR800, mostró alta variabilidad y para el momento no se conocía la razón de dicho fenómeno. Este ensayo se encuentra influenciado directamente por la cantidad de material activo positivo que contiene el acumulador. Para encontrar una respuesta a dicha variabilidad, se realizó el control estadístico de peso de placa positiva, identificando las causas comunes y asignables que estaban llevando fuera de control al proceso de empastado, mediante la metodología de control estadístico de procesos, la cual permitió llevar al proceso a su máxima capacidad mediante el estudio continuo básico por variable del peso, alcanzando valores de capacidad, $Cpk \geq 1.33$ y valores de peso de placa positiva dentro de límites de especificación reducidos, mientras que se tomaban datos de las variables aleatorias que forman parte del proceso de empastado de placas positivas, con la finalidad de relacionar estadísticamente dichas variables aleatorias con la respuesta del ensayo eléctrico de capacidad 20 horas, a ser realizado a un grupo muestral de baterías ensambladas con placas positivas cuya única condición fuese el control de peso de material activo. Este estudio permitió establecer tres relaciones lineales; la primera relación encontrada, es la existente entre el porcentaje de humedad de la pasta de la placa y la capacidad 20 horas con una correlación; $R^2= 0.70$, demostrando que a medida que aumenta la humedad en el material activo positivo, se favorece la capacidad 20 horas de la batería ya que se encuentra mayor porosidad en la placa y por ende, mejor interacción entre el electrolito y material activo. La segunda relación encontrada entre el peso cúbico y la capacidad 20 horas y por último, la relación hallada entre la plasticidad la cual resultado ser inversamente proporcional a la respuesta del ensayo C20.

INDICE

CAPITULO I.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
Figura 1. Registros actuales de los ensayos de capacidad 20 horas realizados a baterías automotrices modelo 22MR-800 durante años 2008-2009.....	2
1.2 ANTECEDENTES.....	3
1.3 OBJETIVOS.....	5
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	5
CAPITULO II.....	6
2.1 LA ELECTROQUIMICA.....	6
2.2 LAS CELDAS GALVANICAS.....	7
Figura 2. Funcionamiento de una pila voltaica. (Berndt, D. 1993).....	8
2.3 ACUMULADOR PLOMO ACIDO, DESCRIPCION Y FUNCIONAMIENTO.....	8
Figura 3. Elementos de un acumulador Plomo-Acido de tipo automotriz, similar al modelo 22MR-800. (Morais, S. 2008).....	10
2.4 MANUFACTURA DE LA BATERIA PLOMO ACIDO DE USO AUTOMOTRIZ.....	11
Figura 4. Diagrama de bloques del proceso de fabricación de acumuladores Plomo-Acido. (Acumuladores TITAN, C.A. 2010).....	15
2.4.1 TRANSFORMACION DEL MATERIAL ACTIVO.....	16
2.4.2 OXIDO DE PLOMO.....	16
Figura 5. Sistema de Producción de Óxido de Plomo tipo Barton Pot. (Welsh, W. 1999).....	18
2.4.3 FABRICACION DE PLACAS.....	18
2.4.3.1 MEZCLADO.....	19
2.4.3.2 EMPASTADO.....	22
2.4.3.3 CURADO.....	23
2.4.4 FORMACION INICIAL.....	26
2.4.5 EVALUACION DEL MATERIAL ACTIVO.....	28
2.4.6 ENSAYOS ELECTRICO DE CAPACIDAD NOMINAL BAJO EL REGIMEN DE 20 HORAS.....	29

2.5	METODOLOGIA ESTADISTICA	31
2.5.1	LA ESTADISTICA Y ESTRATEGIA DE EXPERIMENTACION	31
2.5.2	DISEÑO ESTADISTICO DE EXPERIMENTOS	31
2.5.3	CONTROL ESTADISTICO DE PROCESO	32
	Figura 6. Ejemplo de grafico o carta de control estadístico de proceso.	34
	Figura 7. Diagrama Causa-Efecto creado por Kaoru Ishikawa en el año 1943. (Utts, J. 2005).....	36
	Figura 8. Diagrama de Dispersión X-Y. (Allen, K. 1966).....	37
2.5.4	RELACION DE VARIABLES ALEATORIAS	38
CAPITULO III		39
3.1	METODOLOGIA	39
	Figura 9. Diagrama de Bloques de Metodología Experimental.	41
3.2	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	42
	Figura 10. Cargador/Descargador de baterías especiales	45
CAPITULO IV		46
4.1	ESTUDIO ESTADISTICO DE CAPACIDAD DEL PROCESO DE EMPASTADO DE PLACAS POSITIVAS EXPANDIDAS EN VARIABLE PESO	46
	Tabla 1. Límites de control encontrados a partir del estudio estadístico preliminar de la etapa de Empastado de placas positivas.	47
	Figura 11. Resultado de control preliminar de peso de placa positiva, de lado derecho.	48
	Figura 12. Resultado del estudio preliminar del control de peso de placa positiva de lado izquierdo.	49
	Tabla 2. Resultado preliminar de estudios de capacidad del proceso de empastado de placas.	50
4.2	IDENTIFICACION DE VARIABLES ALEATORIAS	51
4.3	RESULTADOS DE CONTROL ESTADISTICO Y DE CAPACIDAD CONTINUO DE PESO DE PLACA POSITIVA	52
	Tabla 3. Resultados de estudio de capacidad para cada bloque de placas fabricado ...	53
	Figura 13. Carta de control de peso de placa para el ciclo #8 derecho de la maquina empastadora de placas.	54
	Figura 14. Carta de control de peso de placa para ciclo 8 Izquierdo.	55

4.4	RELACION ENTRE LA VARIACION DE PESO EMPLEADA Y LOS RESULTADOS DE LA PRUEBA DE CAPACIDAD 20 HORAS	55
	Tabla 4. Comparación entre los antecedentes de resultados de C20 con los resultados de este trabajo especial de Grado	56
	Figura 15. Variabilidad de la prueba C20, para 14 grupos de baterías 22MR800 ensayadas en el periodo 2008-2009.....	57
	Figura 16. Variabilidad de resultados de C20 para baterías ensayadas en 2010.....	58
4.5	RELACION ENTRE LAS VARIABLES ALEATORIAS Y LA RESPUESTA DEL ENSAYO DE CAPACIDAD 20 HORAS	58
	Figura 17. Relación entre C20 y porcentaje de Humedad de la Pasta.	59
	Figura 18. Relación entre Capacidad 20 horas y Plasticidad de la Pasta.	60
	Figura 19. Relación entre la capacidad 20 horas y el Peso cubico de la pasta.	61
	CONCLUSIONES	63
	RECOMENDACIONES	65
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	66
	APENDICES	68

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. REGISTROS ACTUALES DE LOS ENSAYOS DE CAPACIDAD 20 HORAS REALIZADOS A BATERÍAS AUTOMOTRICES MODELO 22MR-800 DURANTE AÑOS 2008-2009.	2
FIGURA 2. FUNCIONAMIENTO DE UNA PILA VOLTAICA. (BERNDT, D. 1993)	8
FIGURA 3. ELEMENTOS DE UN ACUMULADOR PLOMO-ACIDO DE TIPO AUTOMOTRIZ, SIMILAR AL MODELO 22MR-800. (MORAIS, S. 2008).....	10
FIGURA 4. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE ACUMULADORES PLOMO-ACIDO. (ACUMULADORES TITAN, C.A. 2010). 15	
FIGURA 5. SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE ÓXIDO DE PLOMO TIPO BARTON POT. (WELSH, W. 1999).....	18
FIGURA 6. EJEMPLO DE GRAFICO O CARTA DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESO.	34
FIGURA 7. DIAGRAMA CAUSA-EFECTO CREADO POR KAORU ISHIKAWA EN EL AÑO 1943. (UTTS, J. 2005).....	36
FIGURA 8. DIAGRAMA DE DISPERSIÓN X-Y. (ALLEN, K. 1966).....	37
FIGURA 9. DIAGRAMA DE BLOQUES DE METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.	41
FIGURA 10. CARGADOR/DESCARGADOR DE BATERÍAS ESPECIALES	45
FIGURA 11. RESULTADO DE CONTROL PRELIMINAR DE PESO DE PLACA POSITIVA, DE LADO DERECHO.	48
FIGURA 12. RESULTADO DEL ESTUDIO PRELIMINAR DEL CONTROL DE PESO DE PLACA POSITIVA DE LADO IZQUIERDO.	49

FIGURA 13. CARTA DE CONTROL DE PESO DE PLACA PARA EL CICLO #8 DERECHO DE LA MAQUINA EMPASTADORA DE PLACAS.	54
FIGURA 14. CARTA DE CONTROL DE PESO DE PLACA PARA CICLO 8 IZQUIERDO.	55
FIGURA 15. VARIABILIDAD DE LA PRUEBA C20, PARA 14 GRUPOS DE BATERÍAS 22MR800 ENSAYADAS EN EL PERIODO 2008-2009.....	57
FIGURA 16. VARIABILIDAD DE RESULTADOS DE C20 PARA BATERÍAS ENSAYADAS EN 2010.	58
FIGURA 17. RELACIÓN ENTRE C20 Y PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LA PASTA.	59
FIGURA 18. RELACIÓN ENTRE CAPACIDAD 20 HORAS Y PLASTICIDAD DE LA PASTA.	60
FIGURA 19. RELACIÓN ENTRE LA CAPACIDAD 20 HORAS Y EL PESO CUBICO DE LA PASTA.	61

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. LÍMITES DE CONTROL ENCONTRADOS A PARTIR DEL ESTUDIO ESTADÍSTICO PRELIMINAR DE LA ETAPA DE EMPASTADO DE PLACAS POSITIVAS.	47
TABLA 2. RESULTADO PRELIMINAR DE ESTUDIOS DE CAPACIDAD DEL PROCESO DE EMPASTADO DE PLACAS	50
TABLA 3. RESULTADOS DE ESTUDIO DE CAPACIDAD PARA CADA BLOQUE DE PLACAS FABRICADO	53
TABLA 4. COMPARACIÓN ENTRE LOS ANTECEDENTES DE RESULTADOS DE C20 CON LOS RESULTADOS DE ESTE TRABAJO ESPECIAL DE GRADO	56

CAPITULO I

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACION

En este capítulo se muestran las bases que fundamentan esta investigación, las cuales constan del planteamiento del problema, antecedentes a este trabajo, el objetivo general y lo objetivos específicos que se desean lograr al llevar a cabo este estudio.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Acumuladores TITAN, C.A, ubicada en la zona industrial de Las Vegas, Cagua, Estado Aragua, es una empresa que se dedica a la producción de acumuladores eléctricos de plomo-ácido para diferentes aplicaciones. Dichos acumuladores, no solamente alimentan la instalación eléctrica de los automóviles, sino que también suministran energía para sistemas de emergencia, redes de telecomunicaciones, sistemas de computación, entre otros.

La Gerencia de Calidad de Acumuladores TITAN, C.A, es responsable de monitorear mediante diversos ensayos eléctricos la calidad de los diferentes tipos de acumuladores plomo-ácido. Uno de estos ensayos es el de capacidad nominal bajo el régimen de 20 horas, que consiste en someter a los acumuladores a una intensidad de descarga constante y numéricamente igual a la capacidad nominal del acumulador, dividido entre 20 horas hasta un voltaje mínimo equivalente a 1,75 voltios (volts) por celda (Acumuladores TITAN, C.A, 2001). El resultado obtenido es una medición de la eficiencia de la masa activa del producto, donde el resultado se expresa en Amper-horas.

Los resultados de ensayos realizados por el departamento de Aseguramiento de Calidad de Acumuladores TITAN, C.A durante los años 2008 y 2009 reflejan que las pruebas de capacidad nominal bajo el régimen de 20 horas a acumuladores automotrices, específicamente al modelo 22MR-800, presentan una variación considerable en los resultados de las prueba antes mencionada; solo 6 baterías ensayadas alcanzan un tiempo de descarga igual a 20 horas, como puede apreciarse en la Figura 1, donde se muestran los resultados del ensayo de capacidad 20 horas, aplicado a 40 baterías, de valor nominal igual a 55 Amp.

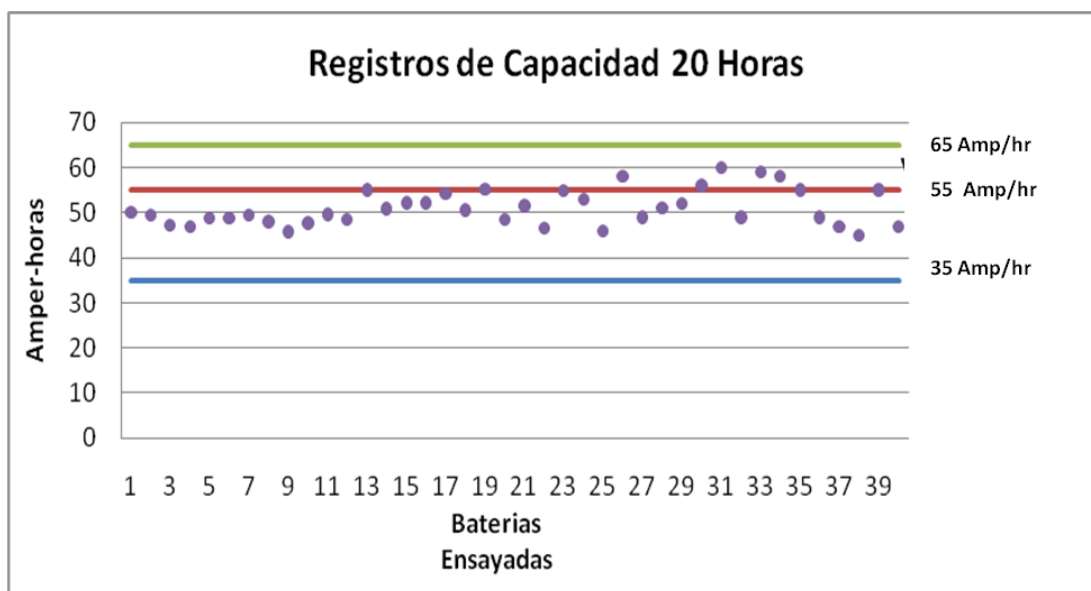


Figura 1. Registros actuales de los ensayos de capacidad 20 horas realizados a baterías automotrices modelo 22MR-800 durante años 2008-2009.

El análisis realizado a los registros, permitió descubrir que el 85% de baterías probadas no cumplen con los requerimientos y comportamientos mínimos establecidos por la Norma Venezolana COVENIN 833-2001 y por los estándares internos de la empresa, y los estudios realizados hasta ahora (Quintero, G. 2009) no han permitido reflejar el origen de este problema, por lo que se desea aplicar la herramienta de control estadístico de procesos (CEP) y de relación de variables aleatorias mediante diagramas de dispersión, para encontrar la posible dependencia de la prueba de capacidad 20 horas con las diferentes variables que se encuentran

involucradas en el proceso de empastado de placas positivas, que a su vez forma parte del proceso de manufactura de las baterías automotrices modelo 22MR-800.

1.2 ANTECEDENTES

En la presente sección se muestran los trabajos e investigaciones previas a este estudio, que sirvieron de punto de partida para comprender más a fondo la problemática planteada, así como de aportar la base teórica necesaria para visualizar de manera adecuada los resultados que lleguen a obtenerse con este trabajo.

En 1999, Walter Welsh, en su trabajo especial de grado en Ingeniería Química de la Universidad Central de Venezuela, titulado “Estudio de la influencia del óxido de plomo en los parámetros de rendimiento de las baterías de plomo-ácido de uso automotriz” concluye que el óxido de plomo no afecta en forma significativa el rendimiento en baterías automotrices de plomo-ácido cuando se les hace los ensayos de calidad, específicamente, el ensayo de rendimiento en el arranque, el de capacidad de reserva y el de vibración, sin embargo, la influencia del óxido de plomo en el ensayo de capacidad nominal bajo el régimen de 20 horas fue importante; de acuerdo a estos resultados, el punto de operación óptimo del reactor de óxido de plomo fue fijado en una carga de 57,5 Amp, con una temperatura del crisol de 445°C y un contenido de plomo libre de 24%, ya que con el óxido producido bajo estas condiciones se obtuvo el mejor resultado en la prueba de capacidad 20 horas, y además es el punto de operación donde el reactor tuvo la mayor producción de óxido.

En el año 2009, Giglia Quintero en su Trabajo Especial de Grado en Ingeniería Industrial de la Universidad de Carabobo titulado “Determinación de los Factores que Influyen en el Rendimiento de Acumuladores Eléctricos Automotrices de Plomo Acido” realiza un análisis de los registros actuales de los acumuladores sometidos a ensayos de capacidad nominal bajo el régimen de 20 horas, determinando que no existía información precisa que reflejara la trazabilidad de cada una de las pruebas archivadas, lo cual imposibilitaba a la empresa tomar acciones correctivas adecuadas; por ello plantea determinar los factores que influyen en el rendimiento de acumuladores automotrices de plomo-acido para los modelos 22M-800 y 22 IM-800

utilizando elementos del enfoque de Dorian Shainin, concluyendo que la principal causa para tal variación es el tiempo de espera por el acumulador para ser cargado, recomendando que el tiempo de espera de cada acumulador para su carga sea menor a 10 minutos para incrementar el rendimiento del acumulador.

Por su parte, Sergio Morais, en su trabajo especial de grado en el área de Ingeniería Química denominado “ Evaluación de la variabilidad de la prueba funcional de alta descarga (HRD) en Baterías Especiales”, el cual se llevó cabo en el año 2008, realizó un estudio de los factores que influyen en la prueba de alta descarga (HRD) para baterías especiales, modelo R-645, en donde, luego de seleccionar los factores más importantes que podrían incurrir en los resultados de la prueba, realizó un diseño de experimento multifactorial con la ayuda del software Minitab V.13, fabricando 486 baterías del mencionado modelo, las cuales fueron divididas en 3 bloques de 162 tratamientos por bloques. Luego se recolectaron los resultados del voltaje final de descarga en las pruebas HRD y descarga de banco y tiempo (Tc20), en la prueba de capacidad bajo el régimen 20 horas (C20), para luego realizarles la prueba no paramétrica de H de Kruskal-Wallis; prueba que le permitió determinar y analizar los factores que influían estadísticamente en los resultados finales; concluyendo que tanto el porcentaje de compresión como el volumen del electrolito, afectan en todas las variables de respuesta, mientras que la densidad del electrolito afectaba solamente a la prueba de Capacidad 20 horas y el tipo de cargador en la prueba HRD. Además encontró que el tiempo de espera entre la recarga y la prueba HRD no influye estadísticamente en el voltaje final de descarga de la prueba.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar fuentes de variación en los resultados en la prueba de capacidad 20 horas en las baterías de plomo ácido destinadas a uso automotriz.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Estudiar estadísticamente la capacidad del proceso de empastado de placas expandidas en la variable peso.
- Determinar la influencia de la variación de peso en los resultados en la prueba de capacidad 20 horas.
- Estudiar las diferentes variables aleatorias que intervienen en el proceso de empastado de placas expandidas.
- Evaluar los resultados de la prueba de capacidad 20 horas de diferentes lotes de baterías producidas y relacionarlos estadísticamente con las variables aleatorias de entrada.
- Determinar las relaciones existentes entre la capacidad 20 horas y las diferentes variables aleatorias de entrada.
- Generar recomendaciones para reducir la variabilidad de los resultados de la capacidad 20 horas mediante la reducción o control de las variables aleatorias que muestren la influencia más significativa en los resultados.

CAPITULO II

FUNDAMENTOS TEORICOS

En este capítulo se presenta la reseña teórica que explica el funcionamiento de los acumuladores automotrices, la cual es de gran importancia para lograr un mayor entendimiento de aspectos involucrados en el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado.

2.1 LA ELECTROQUIMICA

La electroquímica se ocupa del estudio de sistemas químicos en los cuales intervienen partículas cargadas eléctricamente. En ella se analizan los efectos químicos producidos por el paso de una corriente eléctrica a través de zonas de interfase (como el límite entre un electrodo y una disolución), y viceversa: los efectos eléctricos producidos por el desplazamiento o transporte de iones a través de zonas limítrofes entre gases, líquidos o sólidos. La medida de la conductividad eléctrica de los líquidos proporciona información sobre el equilibrio de ionización y las propiedades de los iones. En los sólidos, estas medidas indican los estados de los electrones en las redes cristalinas y en los aislantes, semiconductores y conductores metálicos. La medida del voltaje (diferencia de potencial eléctrico) proporciona información sobre las concentraciones de las especies iónicas y sobre las fuerzas impulsoras de las reacciones que implican la ganancia o pérdida de electrones (Daniels, F. 1975).

Se puede definir entonces la electroquímica como el estudio de los equilibrios y procesos que ocurren en disoluciones de partículas cargadas y en las fronteras entre dichas disoluciones y otras fases. Ésta trata la relación entre las corrientes eléctricas y

las reacciones químicas, y de la conversión de la energía química en eléctrica y viceversa (Welsh, W. 1999).

2.2 LAS CELDAS GALVANICAS

Una celda galvánica es una combinación de dos electrodos y un electrólito que permite la producción de trabajo eléctrico utilizable. La corriente de una celda electroquímica es el resultado de una reacción química en la cual los electrones son recibidos en uno de los electrodos y liberados en el otro. La fuerza electromotriz de la celda, o la diferencia de potencial eléctrico entre los dos electrodos, depende de la constante de equilibrio de la reacción química que tiene lugar en la celda, y de los coeficientes de actividad de los reactivos y de los productos (Daniels, F. 1975).

El electrodo donde se realiza la oxidación es el ánodo y el electrodo en el que se verifica la reducción es el cátodo. De este modo, cuando una celda electroquímica se descarga espontáneamente, los electrones fluyen a través del circuito externo desde el ánodo hasta el cátodo. (Berndt, D. 1993).

La reacción puede invertirse aplicando un voltaje superior a la fuerza electromotriz reversible de la celda. Invirtiéndose entonces los procesos químicos de los electrodos. Siempre que una celda está funcionando como una batería de descarga, o como una celda electrolítica, “el ánodo” es el electrodo en el cual se produce la oxidación y los electrones son cedidos a ese electrodo, y el “cátodo” es el electrodo en el cual se produce la reducción y capta los electrones de uno de los reactivos en la solución (Daniels, F 1975).

La fuerza electromotriz de una celda reversible puede ser modificada en condiciones tales, que un cambio infinitesimal del voltaje aplicado, pueda cambiar el funcionamiento de la celda de batería de descarga a celda electrolítica. Para obtener esta fuerza electromotriz reversible, todos los pasos intermedios de la reacción de la celda deberán estar en equilibrio. No todas las celdas son reversibles. En algunas, ocurren procesos irreversibles de modo que no es posible invertir la reacción química mediante un cambio infinitesimal en el voltaje aplicado (Daniels, F 1975).

Una pila voltaica como se muestra en la Figura 2, aprovecha la electricidad de una reacción química espontánea para encender una bombilla (foco). Las tiras de cinc y cobre, dentro de disoluciones de ácido sulfúrico diluido y sulfato de cobre respectivamente, actúan como electrodos. El puente salino (en este caso cloruro de potasio) permite a los electrones fluir entre las cubetas sin que se mezclen las disoluciones. Cuando el circuito entre los dos sistemas se completa (como se muestra a la derecha), la reacción genera una corriente eléctrica. Obsérvese que el metal de la tira de cinc se consume (oxidación) y la tira desaparece. La tira de cobre crece al reaccionar los electrones con la disolución de sulfato de cobre para producir metal adicional (reducción). Si se sustituye la bombilla por una batería la reacción se invertirá, creando una celda electrolítica. (Daniels, F. 1975)

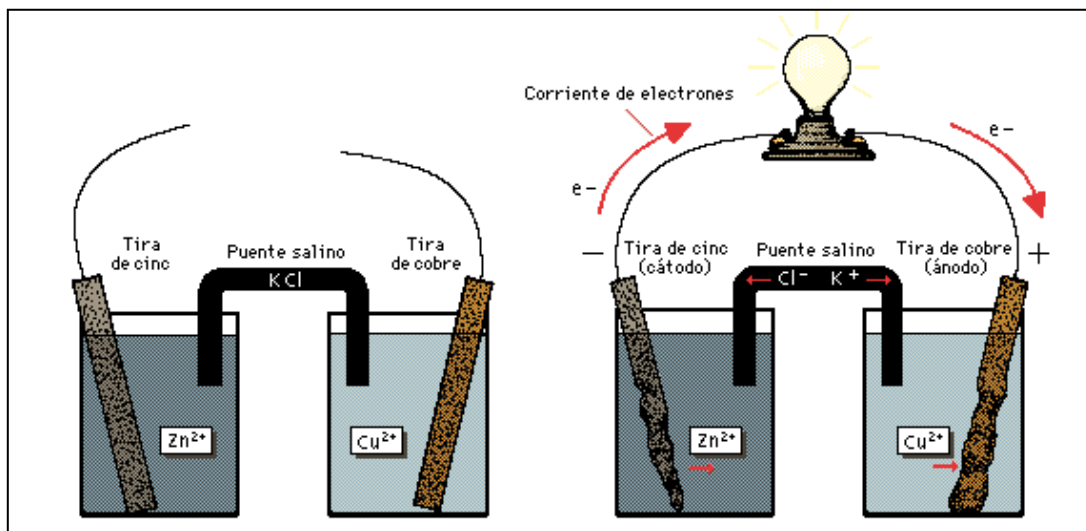


Figura 2. Funcionamiento de una pila voltaica. (Berndt, D. 1993)

2.3 ACUMULADOR PLOMO ACIDO, DESCRIPCION Y FUNCIONAMIENTO.

El tipo de acumulador que se utiliza normalmente para alimentar la instalación eléctrica de un automóvil es la llamada batería de plomo ácido. Esta se compone de dos o más placas, una positiva y otra negativa, sumergidas en una solución electrolítica de ácido sulfúrico (H_2SO_4) en agua destilada. El material activo de la placa positiva está compuesto por dióxido de plomo (PbO_2), y el de la placa negativa

exclusivamente por plomo puro esponjoso (Pb). A causa de la acción química que la solución electrolítica desarrolla en los contactos del material activo, se genera una corriente eléctrica. De esta manera, cuando se acciona la llave de la puesta en marcha de un automóvil, no se hace otra cosa que cerrar el circuito eléctrico que conecta el borne positivo y el borne negativo de la batería, obteniéndose un paso de corriente que acciona un motor de arranque eléctrico, el cual se pone en rotación haciendo girar igualmente el cigüeñal conectado a los émbolos del motor de combustión; en consecuencia, el vehículo se pone en marcha.

Las placas eléctricas de un acumulador de plomo están constituidas por rejillas de una aleación de Plomo, Calcio y Estaño, sobre las cuales se deposita el material activo del acumulador. Entre cada pareja de placas se interpone un separador de polipropileno, el cual es inalterable por el ácido, que impide el contacto entre las placas, y todo el sistema se sumerge, en el electrólito, solución de ácido sulfúrico en agua destilada. Los elementos (celdas) están conectados en serie mediante un conector de plomo para formar la batería. Una batería automotriz está formada generalmente por seis celdas y el voltaje para una celda ha sido estandarizado en 2V/celda. Todo el conjunto está montado en un recipiente o caja de un material plástico, la cual no puede ser de metal pues puede corroerse con la solución electrolítica de ácido sulfúrico y agua. En la Figura 3 se muestran todos los elementos que constituyen un acumulador automotriz.

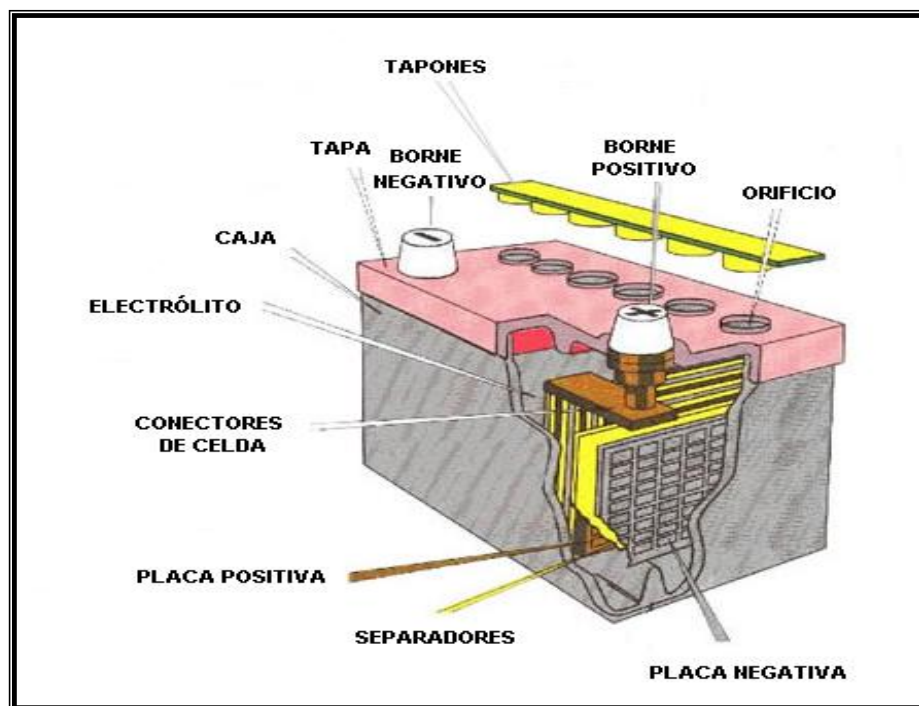
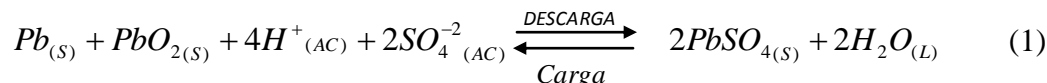


Figura 3. Elementos de un acumulador Plomo-Ácido de tipo automotriz, similar al modelo 22MR-800. (Morais, S. 2008).

Las baterías de plomo ácido, funcionan de acuerdo a la teoría de doble sulfato, la cual explica el comportamiento químico del interior del acumulador cuando se encuentra en fase de descarga y descarga. Cuando la batería está en descarga, es decir, cuando el motor del automóvil se pone en marcha, una parte de los átomos de plomo del electrodo negativo se combinan con los iones SO_4^- formando una oxisulfato de plomo (PbSO_4), perdiendo además dos electrones que quedan a disposición del electrodo. Al mismo tiempo en el electrodo positivo, el dióxido de plomo (PbO_2), reacciona con los iones H^+ y SO_4^- formando también sulfato de plomo y agua, restando al mismo tiempo dos electrones al electrodo. En la práctica, del electrodo positivo (+) se están separando continuamente electrones que se restituyen con los electrones liberados por el electrodo negativo (-). Obteniéndose así una circulación de corriente eléctrica en el circuito externo que conecta los dos bornes de la batería. Simultáneamente, los materiales que componen los electrodos se consumen transformándose ambos en sulfato de plomo, mientras disminuye paralelamente la concentración de ácido sulfúrico.

La teoría de doble sulfato se encuentra soportada por la ecuación química que se muestran a conti



Cuando el motor del automóvil está en marcha, empieza a funcionar el generador de corriente o alternador, que, además de suministrar la energía eléctrica necesaria al sistema de encendido (distribuidor y bujías), tiene la misión de recargar la batería. Es decir, que proporciona la energía eléctrica necesaria para que las reacciones que se desarrollaron en la fase de descarga tengan ahora lugar en sentido contrario. Para tal fin, en la batería se hace circular una corriente eléctrica en sentido opuesto a la que se generó en la fase de descarga. De esta forma, en el electrodo negativo, el plomo combinado en el PbSO₄ recupera dos electrones volviendo a convertirse en plomo metálico, mientras que, en el electrodo positivo, el plomo combinado en el PbSO₄ cede los dos electrones que antes adquirió, volviéndose a combinar con el oxígeno del agua para formar otra vez PbO₂.

2.4 MANUFACTURA DE LA BATERIA PLOMO ACIDO DE USO AUTOMOTRIZ.

El proceso de manufactura de acumuladores Plomo-Acido que actualmente se lleva a cabo en la empresa Acumuladores TITAN C.A, se encuentra dividido en las siguientes etapas: fundición, envejecimiento, producción de óxido, mezclado, empastado, curado, armado de grupos, soldadura de grupos, línea de ensamblaje, llenado, carga, acabado final y despacho.

A continuación se realiza una breve descripción de cada etapa del proceso de elaboración de acumuladores eléctricos Plomo-Acido, de tipo automotriz, empleado en la empresa Acumuladores TITAN, C.A. en la actualidad.

El proceso comienza con la etapa de fundición de metal, en donde el Plomo es fundido y combinado con Calcio y Estaño para formar luego la rejilla que soportara el material activo del acumulador.

La siguiente etapa consiste en la producción del óxido de plomo; en esta etapa el plomo puro se funde y se alimenta al reactor de mezcla completa, donde reacciona con el oxígeno del aire que se introduce en el sistema, provocando la reacción exotérmica de oxidación del plomo, el polvo de óxido es arrastrado por el aire fuera del reactor hacia un sistema de separación, donde se separa el polvo de óxido del aire, el óxido es conducido a un tanque de almacenamiento o silo y el aire limpio es expulsado a la atmósfera.

Luego viene la etapa conocida como mezclado y elaboración de la pasta. Durante este proceso, el óxido de plomo es mezclado con ácido sulfúrico y agua desmineralizada, por un tiempo no mayor a 45 minutos. Cuando se está terminando la mezcla, se le agrega el expander para que la pasta pueda distribuirse adecuadamente en la rejilla que la soportara. Este proceso permite obtener dos tipos de pastas, una positiva, formada principalmente por dióxido de plomo y la otra negativa, formada por plomo puro esponjoso.

Las rejillas a utilizar durante la formación de placas pueden ser fabricadas mediante el desarrollo de dos procesos individuales denominados laminación y fundición. El primero consiste en fundir lingotes de plomo aleados con calcio y estaño de manera adecuada, dependiendo si la rejilla será positiva o negativa, para luego ser compactado y llevado a un tren de laminación en donde se le dará forma de bovina que, luego de envejecida, será transformada en rejilla expandida. El segundo proceso que permite obtener rejillas es por medio de fundición de los materiales constitutivos de la rejilla (Plomo, Calcio y Estaño), para luego llevar la aleación a moldes que, luego de enfriamiento, le darán forma a la rejilla.

Al obtener la pasta, esta se ingresa a una tolva cónica para luego ser vertida sobre dos canales simétricos, por los cuales transitan las rejillas. Dependiendo del tipo de placa que se desea producir, se hacen ajustes continuos sobre la cantidad de pasta que

llega a las rejillas (volumen), permitiendo controlar las características de peso y espesor adecuada a cada placa. Inmediatamente después, estos canales pasan por rodillos con papel especial que permite la adherencia entre el material activo y la rejilla. Seguidamente son cortadas, aplanadas y llevadas a un horno de secado para disminuir la humedad a la placa a un valor aceptable de acuerdo a los requerimientos de calidad (a lo sumo 10% de humedad). Luego son apiladas en bloques y dispuestas a la etapa de curado.

En la etapa de curado de placas, se busca la “hidrofijación” del material activo mediante un flujo de vapor de agua y luego se dejan secar. Este proceso de curado tiene una duración total no mayor a 22 horas.

Después del proceso de curado, el material activo de la placa deberá contener un máximo de 1% de humedad. Garantizando placas duras, porosas y con una buena adherencia entre el material activo y la rejilla, de manera que puedan ser manipuladas y procesadas con una mínima pérdida de material activo, asegurando a la vez una larga vida al acumulador.

La siguiente etapa es el armado de grupos; donde las placas negativas y positivas se intercalan y se separan con un material aislante o separador en forma sobre, hecho de polietileno microporoso, para formar grupos que se depositaran en las celdas de las baterías. La cantidad de placas que conforman los grupos viene determinada según el modelo de la batería.

En la soldadura de grupos, las placas curadas, ya armadas son soldadas por sus orejas, formando las bandas, conectores y postes. La finalidad principal es soldar a una banda común; las placas positivas en un extremo y las placas negativas en otro extremo, de manera que al finalizar los grupos tengan dos polos: uno positivo y otro negativo. Al final de esta etapa, los grupos armados ya soldados se introducen en sus respectivas cajas.

Cada una de las cajas con grupos soldados pasa hacia la línea de ensamblaje, donde se realizan las siguientes operaciones:

- ✓ Prueba de continuidad: esta prueba se realiza con el fin de detectar cualquier corto circuito en alguno de los grupos que conforman las distintas celdas de la batería.
- ✓ Soldadura TTP (Through The Partition): se efectúa para realizar la soldadura de los conectores a través de los tabiques de las cajas, y así formar una serie dentro de la batería.
- ✓ Prueba de soldadura: antes de continuar se le realiza una prueba de cizallamiento sobre la soldadura para la verificación de las conexiones efectuadas dentro de las baterías.
- ✓ Colocación y sellado de tapas: al finalizar la prueba de cizallamiento, se efectúa el sellado de la batería, colocándole la tapa y aplicándole calor (agente sellante) tanto a la tapa como a la caja, evitando así cualquier tipo de fugas.
- ✓ Soldadura de bornes: la caja ya sellada se dirige a una máquina automática que posee dos sopletes que funden los postes y los bujes formando así los bornes de la batería (positivo y negativo).
- ✓ Prueba de fuga: se realiza con el fin de comprobar que no existe ningún tipo de fuga ni escape dentro de la batería.
- ✓ Los acumuladores antes de pasar al proceso de carga deben estar llenos con ácido. Una vez llenadas con el electrolito, son llevadas a unos rieles de carga y conectadas en serie para comenzar el ciclo de carga inicial.
- ✓ El tiempo de carga y los regímenes de amperaje necesarios para formar las placas de los diferentes tipos de acumuladores, depende básicamente de la cantidad de material activo que contengan. (Manual de fabricación de Baterías Automotrices, Acumuladores TITAN, C.A. 2001)

El último paso en la elaboración de los acumuladores es el acabado final, donde se ajusta el nivel de electrolito, se colocan los tapones, se lavan con agua, se secan con aire a presión y efectúan la prueba de descarga (HRD), donde se revisa el funcionamiento del acumulador sometiéndolo a una descarga violenta de alto amperaje durante un lapso corto de tiempo. Finalmente, se colocan las etiquetas, las garantías y se agrupan para ser enviadas al almacén de Productos Terminados, listas

para su distribución. En la Figura 4, se muestra el diagrama de bloques del proceso descrito.

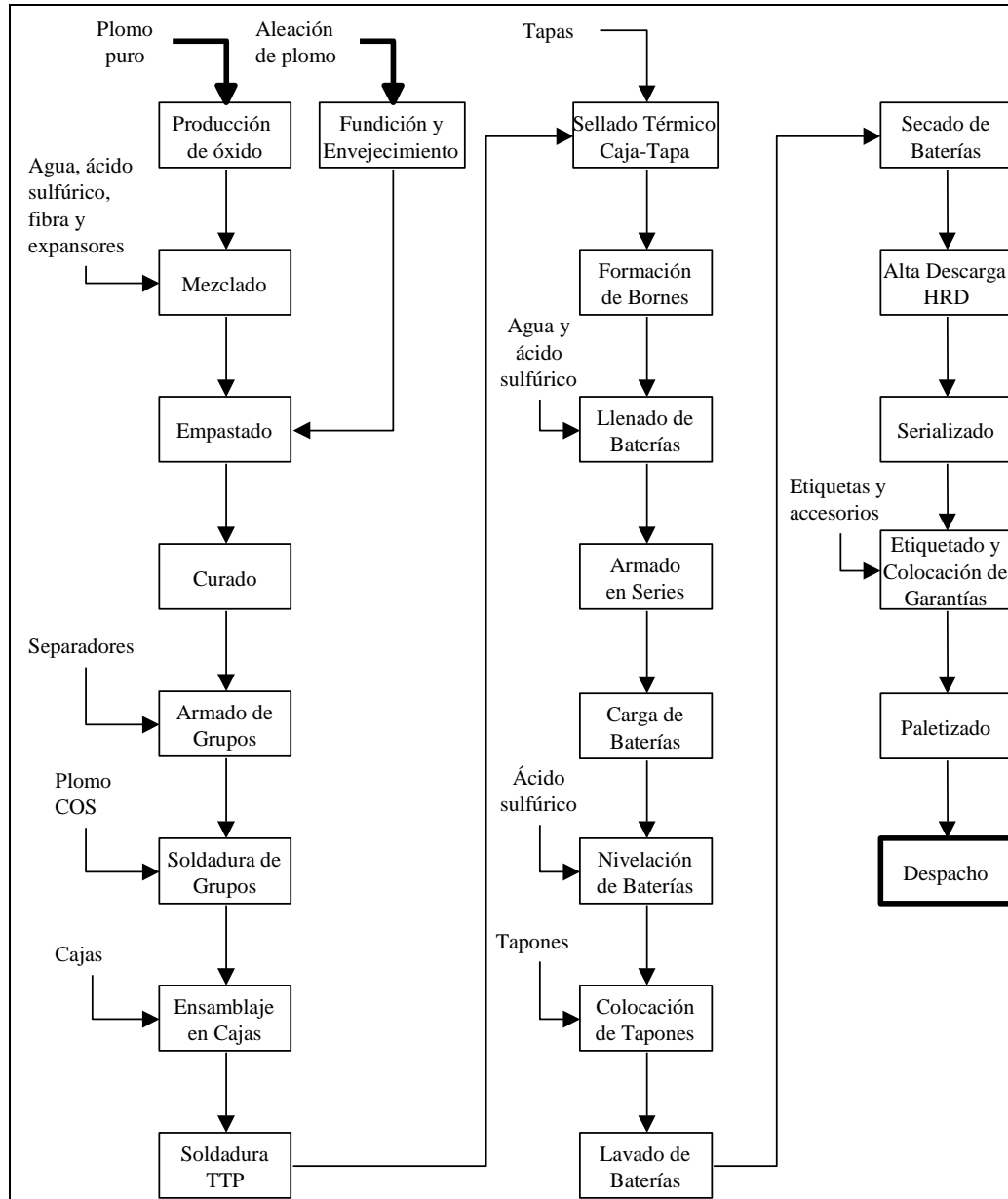


Figura 4. Diagrama de bloques del proceso de fabricación de acumuladores Plomo-Acido. (Acumuladores TITAN, C.A. 2010)

El modelo de Baterías a fabricar y finalmente estudiar en este trabajo especial de Grado (22MR800), se encuentra regido por el procedimiento de elaboración descrito previamente.

2.4.1 TRANSFORMACION DEL MATERIAL ACTIVO

El proceso inicia cuando se funde el plomo puro en lingotes y se hace reaccionar con oxígeno, lo cual permite obtener el óxido de plomo; luego, el óxido de plomo es mezclado con ácido sulfúrico y agua para formar la pasta, la cual estará formada por sulfato de plomo, óxido de plomo y plomo libre metálico. Seguidamente, se terminara la oxidación del plomo metálico por la acción electrolítica para luego formarse electrolíticamente el material activo, en donde se produce la formación del dióxido de plomo en la placa positiva y el plomo puro esponjoso en la placa negativa, por la acción de la electricidad en la carga inicial

2.4.2 OXIDO DE PLOMO

El óxido de plomo es el resultado de la oxidación del plomo puro refinado suministrado en lingotes. Esta oxidación se realiza utilizando el lingote de plomo fundido en un crisol debido a que, a baja temperatura, la reacción es muy lenta.

Existen varios tipos de óxidos de plomo que se pueden obtener mediante la reacción directa entre el plomo y el oxígeno, el litargirio (αPbO , óxido rojo de estructura cristalina tetragonal), el Masicot (βPbO , óxido amarillo de estructura cristalina ortorrómbica) y el minio o plomo rojo (Pb_3O_4). Este último requiere de un proceso de oxidación especial, y por su alto grado de oxidación es usado en el llenado de placas tubulares. Por otra parte como el plomo no se oxida completamente en estos procesos, siempre queda un remanente llamado comúnmente “plomo libre” (Daniels, F.1975). El óxido de plomo que se obtiene en la práctica es una mezcla de estas formas puras con el plomo libre, la proporción de una u otra especie va a determinar el color final del óxido que puede variar desde un color marrón verdoso al verde oscuro y a veces amarillento o rojizo, además de influir en otras propiedades del producto. (Welsh, W. 1999).

Las principales propiedades del óxido de plomo para acumuladores, que determinan su calidad es la existencia de plomo libre y de absorción de ácido.

El contenido de plomo libre determina como el material activo se va a comportar en los cambios de volumen que trae consigo el proceso de curación y es determinante en el secado de las placas ya que su oxidación genera en la placa su temperatura elevada. Su determinación se lleva a cabo disolviendo diez (10) gramos de polvo de óxido de plomo en 30 mL ácido acético diluido y 20 mL de agua destilada. El plomo no se disuelve y retirado, secado y pesado en una balanza digital, para determinar su peso final.

Por su parte, la Absorción de Acido indica la reactividad del óxido cuando se mezcla con ácido sulfúrico, mediante la absorción de las partículas de plomo en el acido. Los resultados se expresan en miligramos de ácido por gramo de óxido de plomo. Un valor mayor de absorción indica que las partículas son más pequeñas y reactivas. (Manual de Producción de Baterías Automotrices. Acumuladores TITAN, C.A.).

La reactividad del óxido es particularmente importante en la fabricación de placas, una variación en la reactividad necesitará una modificación en la formulación de la pasta y esto podría causar variaciones en las propiedades de la placa. Naturalmente estos problemas se transmiten a la etapa de curado.

El contenido de plomo libre es la propiedad más relevante, ya que, sin suficiente plomo libre la reacción durante la etapa de “hidrofijación” en el proceso de curado, puede no llevarse a cabo o ser incompleta y esto daría como resultado un pobre ciclo de vida del acumulador. Un valor uniforme de absorción de ácido indica el cuidado que se ha tomado en la producción del óxido. Lo más importante es producir un óxido de una alta calidad, mientras se mantienen dentro de especificación los parámetros antes mencionados.

Para su producción en la planta Acumuladores TITAN, C.A, se utiliza una tecnología constituida por dos reactores tipo Barton Pot, dispuestos en paralelo que alimentan un tornillo sin fin que lleva el óxido a un elevador de cubos, y de aquí se

alimenta a cuatro tanques de almacenamiento (silos) en paralelo. Cada uno de estos reactores posee un crisol para plomo, un recipiente de reacción con un agitador o paleta, un clasificador, un ciclón, una caja de filtros, un ventilador de succión, ductos de conexión y un tablero de control (Ver Figura 5).

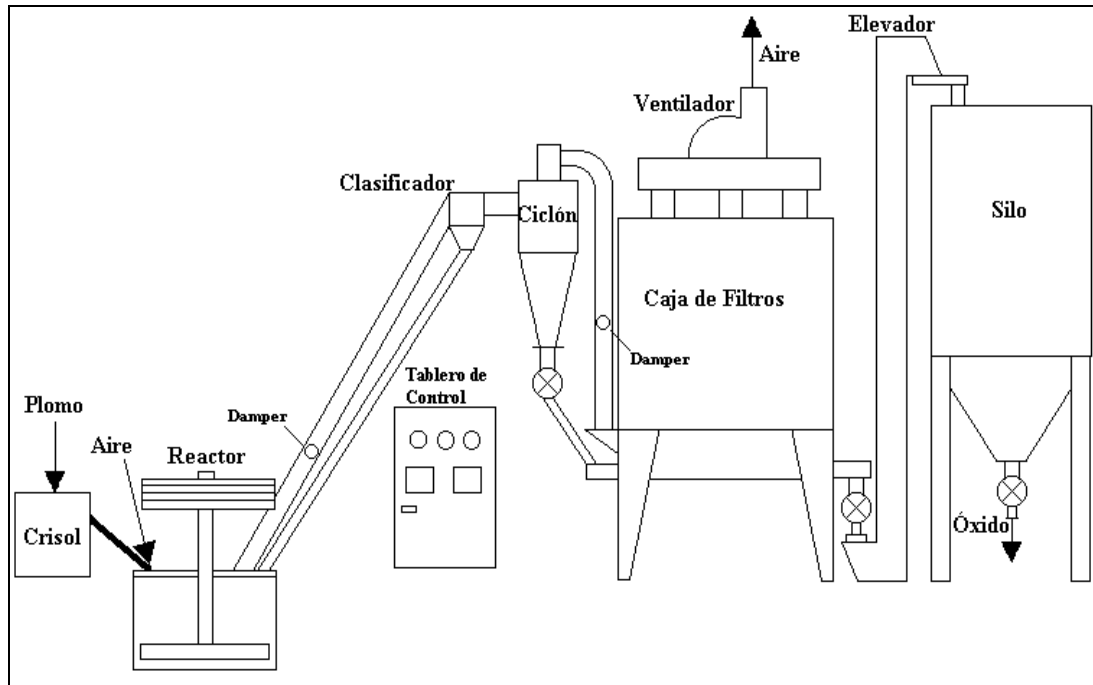


Figura 5. Sistema de Producción de Óxido de Plomo tipo Barton Pot. (Welsh, W. 1999)

2.4.3 FABRICACION DE PLACAS

La habilidad de las baterías de producir energía eléctrica depende directamente de la calidad de las placas creadas en el proceso de empastado.

El proceso de fabricación de placas consiste en tres etapas:

- Preparación de la pasta (mezclado)
- Aplicación de la pasta en las rejillas (empastado)
- Curado de la pasta

Aun cuando son tres etapas distintas, el proceso total es visto como un proceso continuo que puede ser completado directamente sin ninguna interrupción. (Daniels, F. y Alberty R, 1975).

2.4.3.1 MEZCLADO

La reacción química comienza cuando el ácido sulfúrico, el agua y el óxido son combinados en un mezclador especialmente diseñado para producir la pasta.

La pasta es un material arenoso y crujiente, el cual va a ser aplicado a las rejillas. La pasta es altamente reactiva y por consiguiente cada esfuerzo es hecho para que este proceso sea lo más rápido y con la menor interrupción posible.

Típicamente se toman 2000 lb de óxido y se inyectan en el mezclador, este usualmente está montado en una plataforma elevada. Es de vital importancia conocer los valores de plomo libre, densidad aparente y absorción de ácido debido a que estos valores pueden tener profundos efectos en la formulación de la pasta.

En este punto, son añadidos componentes adicionales al polvo. Estos componentes son:

Fibra: Material sintético fibroso (Dynel es el más común) en forma de pelusa recta, de color blanco perlado, fino y cortado de una longitud uniforme. El propósito de este material es proveer una adherencia mecánica entre la pasta y la rejilla mientras la pasta está húmeda y sin curar.

Expansor: Aditivo de color negro agregado a la pasta negativa. Su formulación generalmente está compuesta por varios aditivos, los principales componentes son: sulfato de bario, negro de humo y lignosulfato de sodio (un derivado orgánico de la madera). Su finalidad es mantener la estructura porosa de la placa negativa, dándole su color grisáceo característico.

Todas las baterías hechas con la cantidad apropiada de expansor en las placas negativas muestran un mejor servicio de vida y una mayor rata de descarga a cualquier temperatura. (Kiessling, R. 1992).

Agua inicial: Una adición inicial de agua de alta pureza es hecha rápidamente en la mezcla. Un periodo de mezclado húmedo de 3-4 minutos es usualmente suficiente para asegurar uniformidad. (Daniels, F y Alberty, R. 1975).

Ácido sulfúrico: Ácido sulfúrico en un rango de gravedad específica entre 1325-1400 (dependiendo del tipo de óxido usado) y a una temperatura de unos $80\pm 5^{\circ}\text{F}$ (25°C) es añadido a continuación. El ácido es dispensado en el mezclador a una velocidad controlada por alrededor de 10 minutos. Cuando el ácido es añadido la temperatura se incrementa rápidamente, cuando la temperatura alcanza los 135°F (57°C), esta acción debe ser llevada a cabo más lentamente. (Kiessling, R. 1992).

Existen muchas maneras para controlar la temperatura. Estas pueden ser por inyección de aire en el mezclador, por una chaqueta de agua, o por evaporación asistida al vacío.

El objetivo de esta etapa es alcanzar una temperatura máxima de 150°F (65°C) unos dos minutos después de que todo el ácido sulfúrico ha sido añadido a la mezcla. Una sólida cumbre de temperatura es la clave para alcanzar la beneficiosa sensación crujiente y otras propiedades de la mezcla de material activo.

El mezclador es detenido dos minutos después que la adición de ácido es completada, y una bola de pasta es removida como una muestra para prueba. Se reinicia el mezclado, y la densidad, la plasticidad y la temperatura son medidas y registradas. Ajustes con agua o con ácido pueden ser hechos en este momento para ajustar la densidad o la plasticidad, pero no se debe añadir óxido como medio correctivo. Los volúmenes requeridos para hacer la corrección pueden ser anotados y la adición inicial puede ser corregida en los siguientes batches.

La pasta puede ser eyectada del mezclador cuando la temperatura ha bajado hasta 110°F (43°C). El proceso entero puede durar alrededor de 20 o 30 minutos por batch. (Kiessling, R. 1992).

Agua final: Esta puede ser añadida para mejorar la plasticidad de la pasta. Algunos consideran que la adición final de agua ayuda al control de la plasticidad y aumenta el contenido de humedad de una manera ventajosa.

Las principales propiedades de la pasta que tienen una influencia importante en las etapas siguientes en la fabricación de baterías, son las siguientes:

Densidad: Esta es la más importante de todas, la densidad (también conocida como peso cúbico) está definida como peso por unidad de volumen de pasta, esta generalmente es expresada en gramos por centímetros cúbicos. La densidad es medida por el peso de una muestra de pasta en una "copa cúbica". La especificación de la densidad depende del tipo de batería que está siendo fabricada y la temperatura en la cual va a ser usada la batería en servicio.

Temperatura: La temperatura en el momento de descargar la pasta es de especial interés, esta puede estar alrededor de 110°F (43°C), aunque una alta temperatura de 120°F (48°C) puede seguramente ser usada si la máquina de empastado esta en una marcha fluida. El objetivo debe ser siempre usar la pasta fresca inmediatamente, es importante recordar que la reacción química se está llevando a cabo y que es mejor que ésta ocurra en la placa y no en el mezclador. (Blair, T. 1995).

Humedad: Este factor es muy importante. Una humedad en un rango entre 10,5-13% es lo ideal. Si está demasiado seca, la humedad final también será baja y las condiciones de la placa se verán perjudicadas. (Kiessling, R. 1992).

La reacción química que toma lugar en el proceso de curado depende de la composición de la materia prima inicial y de las reacciones que ocurren durante la primera etapa de mezclado de la pasta. Durante esta etapa, significantes cantidades de α y β PbO son convertidos en sulfatos básicos de plomo, de los cuales hay tres posibles variantes:

- Sulfato monobásico de plomo (PbO.PbSO_4).
- Sulfato tribásico de plomo ($3\text{PbO.PbSO}_4.\text{H}_2\text{O}$).
- Sulfato tetrabásico de plomo (4PbO.PbSO_4).

En general estos tres componentes sirven para consolidar las interconexiones en la estructura cristalina de la pasta. (Rusin, A. 1992).

2.4.3.2 EMPASTADO

En la etapa de empastado donde se le aplica la pasta a la rejilla, se debe tener especial cuidado del peso y el espesor de las placas, para que estas cumplan con las especificaciones de diseño de la batería; si las placas son demasiado pesadas, significa un costo económico por la pérdida de material; si por el contrario son demasiado livianas, las placas están fuera de especificación y se corre el riesgo de no obtenerse un buen desempeño en la batería; si el espesor es excesivo, el grupo de placas probablemente no entrará en la caja que da forma al acumulador; si las placas son demasiado delgadas, quedarán flojas dentro del molde y se podrían desprender ante cualquier movimiento brusco de la batería. La humedad final de la placa es un parámetro crítico para controlar, una baja humedad se puede relacionar directamente con el agrietamiento de la misma, un pobre curado y adherencia del material activo. La placa negativa es especialmente susceptible a problemas causados por baja humedad. Un alto contenido de humedad puede causar que las placas se peguen entre ellas, especialmente si estas son apiladas para el proceso de curado. Por esto generalmente se utiliza un horno de secado superficial a la salida de la empastadora.

La humedad ideal en las placas después del secado superficial es: para las positivas entre 8,5-10%, y para las negativas entre 7,5-9,5%. (Kiessling, R. 1992).

La velocidad de la placa a través del horno de secado y el grado de calentamiento debe ser balanceado para proveer una remoción uniforme de la humedad, si esto no ocurre, la pasta puede desarrollar cuarteaduras que reducen la estabilidad de la placa y el rendimiento eléctrico durante las siguientes etapas de manufactura. En adición al

obvio efecto de bajar la integridad mecánica de la placa e incrementar la resistencia eléctrica, el cuarteamiento puede resultar en la descarga preferencial de la rejilla por sí misma y el desarrollo simultáneo de nocivas capas de αPbO . Aparte del incorrecto secado, otros efectos pueden incrementar la formación de cuarteaduras, como la capacidad del óxido de absorber agua, el grado de sulfatación y el calor diferencial entre la rejilla y la placa. (Rand, D y Lam, L. 1992) proponen un sistema para reducir marcadamente la incidencia de las cuarteaduras, este sistema consiste en someter las placas, a la salida de la empastadora, a un fino spray de ácido sulfúrico diluido. Una fina costra de sulfato de plomo (y posiblemente, carbonatos básicos de plomo) se produce en la superficie de la placa. Esta capa mejora la velocidad de secado y permite un óptimo nivel de humedad interna durante el recorrido a lo largo del horno de secado superficial. Este método ha sido utilizado para incrementar significativamente el rendimiento de las baterías automotrices.

2.4.3.3 CURADO

Es en esta etapa del proceso en donde se consiguen los niveles satisfactorios de adhesión y cohesión del material activo y se busca además mantener estas características durante la formación de la placa.

La cohesión está determinada por el grado de interconexión entre los cristales o partículas de la pasta. La adhesión depende de la fortaleza del vínculo formado entre la pasta y la rejilla. Estas dos propiedades mejoran cuando el proceso de curado se lleva a cabo en la siguiente secuencia:

- I. Un periodo de curado al vapor (también llamado "hidrofijación") para equilibrar la humedad entre las placas y alentar el desarrollo de los sulfatos básicos.
- II. Un tratamiento a baja humedad que trae como efecto la oxidación del plomo libre.
- III. Un proceso de secado para reducir el contenido de agua a un bajo nivel, el cual es esencial para estabilizar el material activo.

Una de las cuatro siguientes reacciones pueden ocurrir, separada o simultáneamente, durante el proceso de curado:

- El progresivo crecimiento de los cristales de sulfatos básicos de plomo;
- El desarrollo de carbonatos básicos de plomo, esto es, hidrocerusita, $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$, Especialmente en la superficie del material en la placa;
- La conversión de las partículas metálicas de plomo en αPbO con liberación de calor; y
- El ataque corrosivo de la rejilla metálica.

Todas estas reacciones causan que el material activo se endurezca y fortalezca, y se adhiera bien a la rejilla. El desarrollo y crecimiento de los sulfatos básicos de plomo promueve la consolidación del material, mientras que la corrosión de la rejilla establece un firme contacto entre los átomos de la superficie de la rejilla y el óxido de plomo o los sulfatos básicos de plomo en la pasta. Esto es particularmente cierto para material curado rico en tetrabásico y esto explica la ventaja que en el ciclo de vida tienen las placas preparadas por esta ruta. (Rusin, A. 1992).

La oxidación del plomo libre es el principal proceso que toma lugar durante la segunda etapa del curado. Para catalizar la reacción de oxidación, la cual es de naturaleza electroquímica, el material activo debe ser mantenido en estado de humedad. Una vez encerrada en una envoltura de agua, la partícula de plomo puede desarrollar lugares anódicos y catódicos. La superficie del plomo se corroe en el ánodo y el oxígeno es reducido en el cátodo. El plomo es convertido en hidróxido de plomo, el cual, probablemente pierde algo de agua y se convierte en monóxido hidratado de plomo.

Para mezclas convencionales de óxido, se requiere un contenido de agua de aproximadamente 8% para que la oxidación proceda a una máxima rata. Una humedad demasiado pequeña, de alrededor de 1%, es insuficiente para sostener la película de agua alrededor de todas las partículas de plomo, mientras que demasiada humedad, por encima del 10%, reduce la velocidad de difusión del oxígeno para el cátodo.

La oxidación del plomo también produce calor y esto tiende a secar el exterior de la placa. Esto es esencial para controlar el contenido de agua en la placa por una regulación cuidadosa de las condiciones de humedad del ambiente. En la práctica, fragmentos de plomo pueden quedar al final del curado. Nunca el plomo libre residual debe exceder el 5% en peso. Una cantidad excesiva de plomo libre residual puede resultar en un crecimiento y deformación de la placa, caída extensiva del material activo, cortos circuitos, etc., durante la subsecuente etapa de formación y durante la operación de la batería.

El agua atrapada en la placa se considera que se encuentra distribuida de tres formas:

- I. Agua intersticial, la cual es atrapada por fuerzas de capilaridad en los poros del sistema.
- II. Agua acuñada, la cual esta acumulada en los puntos de contacto entre las partículas.
- III. Agua adsorbida, la cual cubre la superficie expuesta de los componentes de la pasta.

El agua debe ser removida durante el secado en el siguiente orden:

Intersticial → Acuñada → Adsorbida

Durante la evaporación del agua acuñada, las especies de plomo disueltas precipitan en los puntos de contacto entre las partículas y actúa como un cemento consolidando la matriz en una firme y continua estructura.

Inevitablemente, el secado viene acompañado por un encogimiento del material. Esto debe ser mínimo para tratar de retener la suficiente porosidad para evitar el comienzo de problemas de cuarteaduras. Por ello, un buen secado debe tener un balance entre la velocidad de evaporación superficial y la velocidad de los movimientos capilares del agua en el interior del material activo.

Históricamente, el curado era realizado bajo cobijas mojadas. Las paletas de placas eran colocadas en simples cuartos de curado donde se almacenaban por

muchos días hasta que estuvieran listas para el uso. Sin embargo, este método todavía es muy utilizado. Si el clima es caliente y muy húmedo todo el año, el trabajo es ciertamente fluido.

En años recientes, las relaciones entre el oxígeno, la humedad y el calor han sido reconocidas. Se han desarrollado cuartos controlados de curado que permiten que las placas se curen a mayores y más uniformes niveles de temperatura y humedad.

Estos cuartos son calentados entre 100-110°F (38-43°C) y trabajan a 100% de humedad.

El proceso de curado es exotérmico y este puede generar un calor significativo. Un pico de temperatura de 140°F (60°C) podría ser el máximo permitido. Esta puede descender cuando la reacción procede hacia la terminación.

Las placas pueden ser removidas después de 24 horas a un cuarto de secado separado, o puede ser retenido en el cuarto de curado original mientras se permite que la temperatura y la humedad descendan a una velocidad controlada. Este método acelera el proceso de curado y produce placas con menos del 1% de plomo libre y 2% de humedad en solo 72 horas.

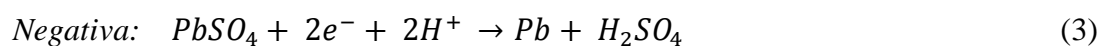
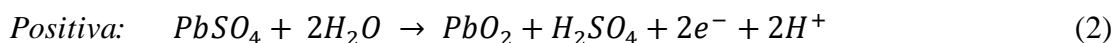
Recientemente, hornos de curado muy sofisticados han sido desarrollados. Esto es ahora posible por el control preciso del ambiente de curado y el establecimiento del programa de tiempo/temperatura/humedad.

Los métodos avanzados de curado involucran altas temperaturas (por encima de los 70°C) y precisos ciclos de humedad con el fin de desarrollar cristales de sulfato tetrabásico de plomo (4BS) en vez de los cristales tribásicos (3BS) producidos normalmente por los procesos estándar de curado. Cristales tetrabásicos, porque por su tamaño y área, proveen de mayor rigidez a la matriz y esto resulta en una fuerte placa. Esta estructura trae consigo un positivo efecto durante la formación en la vida de la batería. (Rusin, A.1992).

2.4.4 FORMACION INICIAL

El dióxido de plomo y el plomo metálico, conforman el material activo final de la Batería de plomo ácido y están en un alto nivel de energía. Con el fin de llegar a este nivel de energía, ésta debe ser añadida, como ocurre durante la carga normal en forma de energía eléctrica.

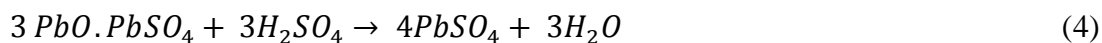
Para iniciar la formación las placas negativas y positivas son insertadas en ácido sulfúrico y conectadas a un rectificador. Las siguientes reacciones están simplificadas y muestran solamente lo esencial:



Los iones hidrógeno (H+) viajan de la placa positiva a la negativa para cerrar el circuito eléctrico y llevar las placas a un estado neutro.

Antes que las reacciones mostradas en las ecuaciones. 4 y 5 puedan ser iniciadas, los poros deben ser llenados completamente con electrolito, que debido a fuerzas de capilaridad necesita solo unos minutos. Seguidamente se puede permitir la absorción de suficiente ácido para alcanzar una ligera reacción acídica (pH 5) para una mejor conductividad eléctrica. Esto puede requerir al menos unos 30 minutos para baterías de uso automotriz.

El ácido sulfúrico diluido usado como electrolito penetra en los poros de la placa e inmediatamente reacciona de acuerdo a la ecuación. 6, donde se observa cómo los sulfatos básicos se convierten en sulfato neutro (PbSO₄):



Es esencial que la superficie de la rejilla o, más precisamente, las capas de óxido/sulfato en la superficie de la rejilla sean mojadas con el electrolito para suficiente conductividad. El material activo en esta etapa es un no conductor, debido a esto, la oxidación y reducción electroquímica solamente pueden tomar lugar en la superficie de la rejilla donde los electrones pueden fluir libremente por el metal. El

sulfato de plomo es ligeramente soluble en ácido sulfúrico y solamente un poco más en agua. No obstante, esta pequeña solubilidad es esencial, porque la reacción sólo toma lugar en el estado disuelto. Esto es llamado un mecanismo de disolución/precipitación, primero el sulfato se disuelve y luego el dióxido de plomo y el plomo puro son precipitados sobre los electrodos. (Manual de Laboratorio de Aseguramiento de Calidad. Acumuladores TITAN, C.A).

2.4.5 EVALUACION DEL MATERIAL ACTIVO

La evaluación de la masa activa requiere la determinación de los parámetros eléctricos de las baterías. Para ello, se emplea la siguiente clasificación: celdas y baterías como unidad técnica, y masas activas y placas como componentes. En ambos casos la influencia de los siguientes parámetros externos en las propiedades eléctricas es la misma (Vinal, G. 1955).

- Capacidad.
- Voltaje.
- Aceptación de carga y aceptación de corriente.
- Retención de carga y autodescarga.
- Expectativa de vida durante ciclaje.

Es necesario establecer una relación entre las condiciones de las pruebas y la estructura interna de las masas activas, ya que ésta determina la capacidad en A.h de la batería. Ésta, consiste en una medida electroquímica de las reacciones que ocurren en la celda de acuerdo a la ley de Faraday. Para determinar la capacidad de cualquier batería es necesario conocer la densidad de corriente a la cual fue descargada, la temperatura y el voltaje al final de la descarga. Los factores que afectan la capacidad de las baterías son las siguientes:

- Espesor de las placas.
- Densidad de corriente durante la descarga.

- Temperatura.
- Cantidad y concentración del electrolito.
- Porosidad de la placa.
- Diseño de las placas.
- Historia previa de las placas.
- Cantidad de material activo en la celda.

La relación entre la cantidad de material activo que toma parte en la reacción y la cantidad total de pasta, entre positiva y negativa presente en las placas se denomina coeficiente de uso. Este coeficiente depende del espesor y de la porosidad de la placa, la densidad de corriente de la descarga y de la temperatura. Una celda se considera de buena calidad si tiene un coeficiente mayor o igual a 0,25. Valores inferiores, se atribuyen a cantidad insuficiente de electrolito, falta de porosidad en las placas o diseño inadecuado de los separadores (Vinal, G. 1955).

Las reacciones de descarga penetran en la placa de manera parcial. Por esta razón, las celdas que contienen placas delgadas muestran mayor capacidad que aquellas de mismo tamaño con placas más gruesas. Esto ocurre particularmente en descargas con alta densidad de corriente. Las placas delgadas en sí, tienen menor capacidad que las más gruesas. Pero, en vista de que las celdas son del mismo tamaño, la celda que contiene placas más delgadas contiene mayor número de ellas con respecto a la celda que posee placas más gruesas, lo que trae como consecuencia que la capacidad de la primera sea considerablemente más alta (Vinal, G. 1955).

2.4.6 ENSAYOS ELECTRICOS DE CAPACIDAD NOMINAL BAJO EL REGIMEN DE 20 HORAS.

Existen ensayos de calidad que se realizan en las baterías de plomo-ácido para uso automotriz. Las pruebas que se efectúan en el laboratorio de aseguramiento de la calidad, tienen la finalidad de inspeccionar y supervisar la correcta fabricación de las baterías y por ende su buen funcionamiento. Para ello, se ejecutan una serie de pruebas en las cuales se simula la operación del acumulador en condiciones críticas de trabajo, con el fin de comprobar que el mismo se encuentra en la capacidad de

operar en diversos climas y situaciones. Las pruebas aplicadas a los acumuladores en el laboratorio son; Capacidad de Reserva, Capacidad nominal 20 horas, Ciclos S.A.E, entre otras. El ensayo de capacidad 20 horas, es un ensayo que se encarga de monitorear la eficiencia del material activo del reactivo limitante de la batería, es decir, indica la tendencia que tiene este material a ser más o menos eficiente. El ensayo de Capacidad de Reserva, los Ciclos SAE y el ensayo de Rendimiento al Arranque, sin embargo, miden el funcionamiento del acumulador en función al tiempo de descarga, y estos últimos son los que indican si el acumulador sale o no al mercado.

Capacidad Nominal bajo el Régimen 20 Horas

La capacidad nominal es el método estándar utilizado para evaluar la eficiencia del uso de la masa activa en la batería. Este ensayo, permite obtener la cantidad de energía eléctrica que puede suministrar un acumulador expresada en amperios por hora, en condiciones determinadas de temperatura (27 °C), intensidad de carga y tensión de final, resultante de someterlo a una descarga de acuerdo a un régimen de 20 horas, dividiendo el amperaje nominal de la batería entre el tiempo de descarga, hasta obtener 1,75 voltios por celda. (Hehner, 1986).

A baterías de amperaje nominal igual a 55 A, como el modelo perteneciente a este estudio (22MR-800), se les realiza comúnmente este ensayo de manera de probar su eficiencia en términos de material activo. El procedimiento consiste en someter a carga a voltaje constante durante 24 horas para garantizar la formación adecuada de sulfato de plomo. Luego se somete la muestra a descarga, a una intensidad constante equivalente a la capacidad nominal dividida entre 20, a condiciones de temperatura no mayor a 30 °C, registrándose únicamente el tiempo en horas en alcanzarse 1,75 voltios en cada celda.

Al obtenerse el tiempo de descarga, este se multiplica por la intensidad en Amperios, obtenida y a este resultado se le denomina capacidad real en A.h (Amperios-horas).

En caso de no obtenerse en el primer intento el requisito de tiempo igual a 20 horas, esta deberá repetirse hasta 3 veces con la finalidad de registrar el mayor valor de capacidad como resultado del ensayo total. (Manual de ensayos Eléctricos de Calidad Aplicados a Baterías Automotrices, Acumuladores TITAN, C.A. 2008)

En este trabajo especial de grado, solo se realizara el ensayo de capacidad nominal bajo régimen 20 horas con el fin de llevar a cabo los objetivos propuestos en el presente trabajo de investigación.

2.5 METODOLOGIA ESTADISTICA

2.5.1 LA ESTADISTICA Y ESTRATEGIA DE EXPERIMENTACION

La estadística trata del desarrollo y aplicación de métodos y técnicas para la colección, tabulación, análisis e interpretación de los datos, de modo que la incertidumbre de las conclusiones basadas en los datos, se pueda valorar por medio de probabilidades matemáticas. (Montgomery y Runger, 2005).

Comúnmente, científicos e investigadores experimentan en todos los campos de incertidumbre, usualmente como una estrategia para descubrir algo acerca de un proceso en particular. Literalmente, un experimento es una prueba. Más formalmente, podemos definir un experimento como una prueba de series de pruebas mediante el cual cambios son realizados para involucrar variables de entrada a un proceso o sistema y así se puedan identificar las razones de los cambios que pudieran ser observados en la respuesta de variables de salida. La idea de planificar y conducir experimentos es de analizar la data resultante de manera de generar conclusiones objetivas, siendo esta de gran utilidad en actividades de realización de productos, las cuales se basan en el diseño de nuevas ideas, desarrollo de procesos de manufactura y de mejoramiento de procesos. (Montgomery, D. 2005).

2.5.2 DISEÑO ESTADISTICO DE EXPERIMENTOS

Consiste en la planificación de un experimento, basado en los principios básicos estadísticos como reproducción, aleatorización y control local o análisis por bloques,

que permitirán tener una homogeneidad, eliminar factores extraños que implican a una tendencia en los resultados y una estimación del error experimental.

Reproducción (réplicas): es la repetición del experimento básico y no múltiples lecturas sobre el elemento base, que proporciona una estimación del error experimental que actúa como una unidad básica de medida (unidad experimental), esto permite determinar si las diferencias observadas en los datos son estadísticamente significativas.

Aleatorización: es el hecho de garantizar que, tanto la asignación del material experimental como el orden en que se realizan las pruebas individuales se determinen aleatoriamente, dado que los métodos estadísticos requieren que las observaciones sean variables aleatorias independiente. Además, ayuda a cancelar los efectos de factores extraños que pudieran estar presentes.

Control local o Análisis por bloques: es una técnica que se usa para aumentar la precisión del experimento, ya que homogeniza el material experimental total en varias porciones denominadas bloques, lo que permite hacer comparaciones entre las condiciones de interés del experimento dentro de cada bloque, siendo el diseño experimental más eficiente, debido a que el control local reducirá la magnitud de la estimación del error experimental. (Díaz, A. 1999).

2.5.3 CONTROL ESTADISTICO DE PROCESO

En general, resulta difícil inspeccionar o hacer pruebas de calidad en un producto terminado, por lo que el producto debe ser elaborado correctamente desde el primer momento. Esto implica que el proceso de manufactura debe estar estable y que todas las variables individuales involucradas en el proceso tales como; operadores, ingenieros, inspectores de calidad y gerencia, deben continuamente buscar mejorar el comportamiento del proceso y reducir la variabilidad en parámetros claves. El *control estadístico de proceso*, es una herramienta primordial para conseguir este objetivo y esta poderosa estrategia se rige básicamente por la colección de herramientas problema-solución con la finalidad de alcanzar la estabilidad del proceso y mejorar la capacidad mediante la reducción de la variabilidad.

El control estadístico de proceso (CEP), puede ser aplicado en cualquier proceso. Sus siete herramientas más valiosas son; los Histogramas de Frecuencias, el Grafico de Pareto, la Hoja de Verificación, el Diagrama de Concentración de Defectos, El Diagrama Causa-Efecto, Grafico de Control y los Diagramas de Dispersión.

Entre los principios básicos del CEP, se encuentra la colección de datos de la repetición del ensayo de una misma variable de proceso y luego el reporte de los mismos en un grafico de control con el fin de describir el comportamiento de dichos datos con respecto a sus límites de especificación, obteniendo así un resultado objetivo sobre la capacidad del proceso que se desea mantener en control para mejorar la calidad del producto final.

El mejoramiento del control de proceso mediante gráficos de control se basa en un procedimiento donde se colectan, controlan y analizan los datos iterativamente para incrementar la capacidad del mismo. Primero, la data es recolectada de acuerdo a un plan organizado por grupos de pruebas y es usada para definir los límites del proceso de acuerdo a la variabilidad de los datos. Luego, el proceso se coloca en control estadístico, verificando que la variación de las muestras se encuentre dentro de los límites, y que la misma es estable y resultante de causas comunes. Si se evidencian causas especiales de variación, el proceso es estudiado con el fin de reajustar los parámetros alterados y así encontrar los nuevos límites de control buscando llevar al proceso nuevamente a control estadístico.

Luego que todas las causas comunes y especiales están controladas y que el proceso se encuentra en control estadístico, el grafico de control se emplea como una herramienta de monitoreo continuo (Estudio Continuo Básico) permitiendo calcular la capacidad del proceso.

A continuación en la figura 6 se muestra un grafico de control típico, similar a los empleados en este trabajo Especial de Grado.

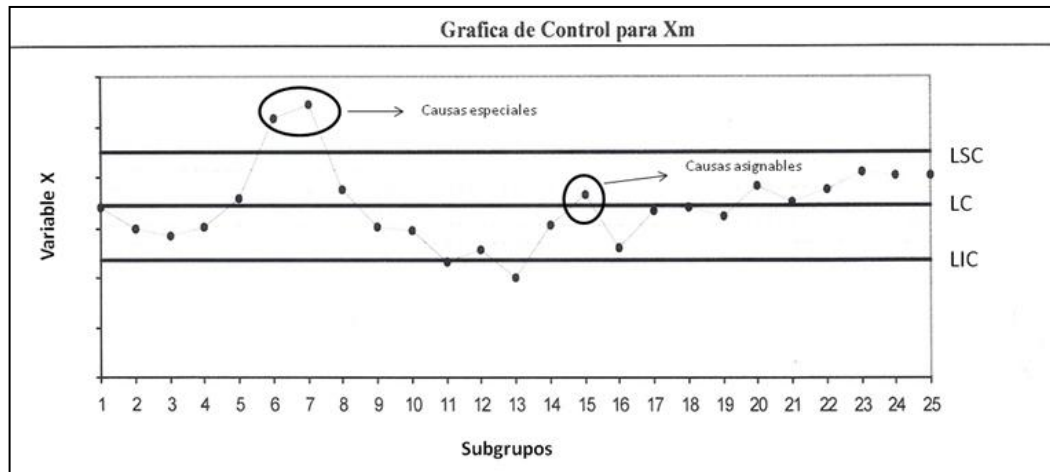


Figura 6. Ejemplo de grafico o carta de control estadístico de proceso.

Luego de haber determinado que el proceso se encuentra en control estadístico, la incertidumbre acerca de si el proceso es capaz o solo cumple con los requerimientos del cliente continúa. Para entender y mejorar la capacidad del proceso, debe tratarse de identificar si la capacidad refleja solamente variación debido a causas comunes o asignables, o si indica la existencia de causas alternas no identificables a priori.

El análisis de capacidad de un proceso comienza luego de que se han interpretado los gráficos de control de promedio y rango móvil; se han identificado las causas comunes y especiales, han sido analizadas, corregidas y se ha tomado la acción para evitar que recurran, mientras que el estudio continuo básico por gráficos de control de un proceso refleja si, luego de haber analizado un número no menor de 25 subgrupos de muestras, este continúa en control.

Cualquier estudio de capacidad, sin importar cuán preciso parezca, puede aportar solo resultados aproximados. Esto pasa porque siempre existe variación en el muestreo, y ningún proceso es completamente estable o se encuentra en control estadístico. Ningún resultado actual, sigue exactamente la distribución normal o cualquier simple distribución y por último, los resultados finales deberían siempre ser usados con precaución y ser interpretados conservadoramente. Por lo cual, este estudio intenta el mejoramiento continuo del comportamiento del proceso, tomando las

acciones correctivas de acuerdo a prioridades, para saber que debe ser atacado primero.

En general, la capacidad del proceso puede ser expresada en términos de la distancia existente entre el promedio del proceso y los límites de especificación en unidades de desviación estándar, con el fin de concluir si los límites de especificación de ingeniería deben ser modificados necesariamente para garantizar el mejoramiento del proceso. En la sección de Apéndices, se encuentra descrito con detalles, el procedimiento matemático por el cual se rigen los estudios de Capacidad.

Por su parte, los diagramas Causa- Efecto o de espina de Pescado, fue una de las diversas herramientas surgidas a lo largo del siglo XX, en ámbitos de la industria y posteriormente en el de los servicios, para facilitar el análisis de problemas y sus soluciones en esferas como lo son; la calidad de los procesos, los la calidad de los productos y servicios. Se trata de un diagrama que por su estructura ha venido a llamarse también: *diagrama de espina de pescado*, que consiste en una representación gráfica sencilla en la que puede verse de manera relacional una especie de espina central, que es una línea en el plano horizontal, representando el problema a analizar.

El problema analizado puede provenir de diversos ámbitos como la salud, calidad de productos y servicios, fenómenos sociales, organización, etc. A este eje horizontal van llegando líneas oblicuas como las espinas de un pez que representan las causas valoradas como tales por las personas participantes en el análisis del problema. A su vez, cada una de estas líneas que representa una posible causa, recibe otras líneas perpendiculares que representan las causas secundarias. Cada grupo formado por una posible causa primaria y las causas secundarias que se le relacionan forman un grupo de causas con naturaleza común. En la figura 7 se muestra un ejemplo del diagrama descrito anteriormente.

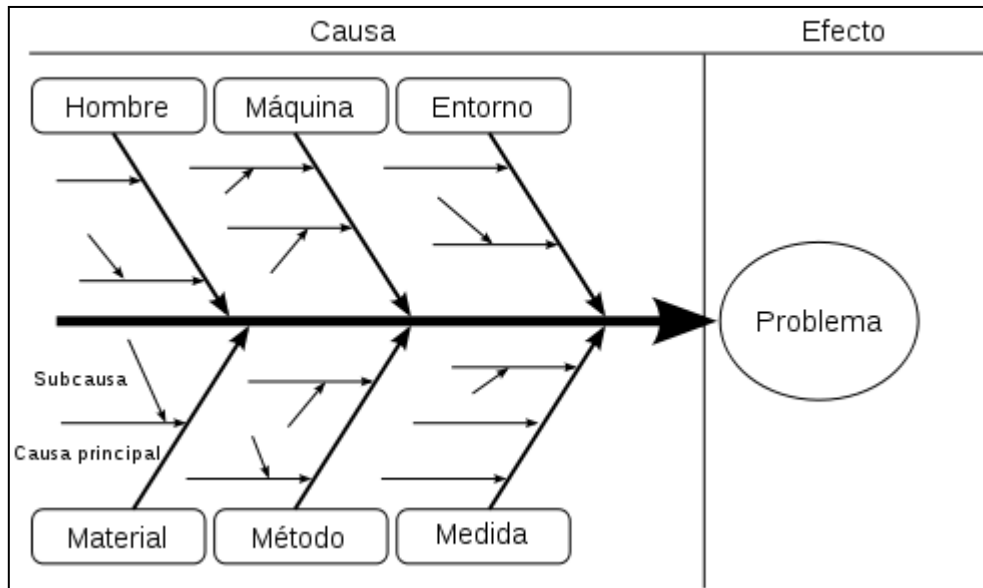


Figura 7. Diagrama Causa-Efecto creado por Kaoru Ishikawa en el año 1943. (Utts, J. 2005)

Este tipo de herramienta permite un análisis participativo mediante grupos de mejora o grupos de análisis, que mediante técnicas como por ejemplo la lluvia de ideas, sesiones de creatividad, y otras, facilita un resultado óptimo en el entendimiento de las causas que originan un problema, con lo que puede ser posible la solución del mismo.

Para finalizar, el CEP cuenta con la herramienta de Diagramas de Dispersión, los cuales están basados en coordenadas cartesianas para mostrar los valores de dos variables para un conjunto de datos.

Los datos se muestran (Figura 8) como un conjunto de puntos, cada uno con el valor de una variable que determina la posición en el eje horizontal y el valor de la otra variable determinado por la posición en el eje vertical.

Un diagrama de dispersión se emplea cuando existe una variable que está bajo el control del experimentador. Si existe un parámetro que se incrementa o disminuye de forma sistemática por el experimentador, se le denomina variable independiente y habitualmente se representa a lo largo del eje horizontal. La variable medida o dependiente usualmente se representa a lo largo del eje vertical. Si no existe una

variable dependiente, cualquier variable se puede representar en cada eje y el diagrama de dispersión mostrará el grado de correlación (no causalidad) entre las dos variables.

Este tipo de diagramas puede sugerir varias tendencias de correlación entre las variables con un intervalo de confianza determinado. La correlación puede ser positiva (aumento), negativa (descenso), o nula (las variables no están correlacionadas). Se puede dibujar una línea de ajuste (llamada también "línea de tendencia") con el fin de estudiar la correlación entre las variables. Una ecuación para la correlación entre las variables puede ser determinada por procedimientos de ajuste. Para una correlación lineal, el procedimiento de ajuste es conocido como regresión lineal y garantiza una solución correcta en un tiempo finito.

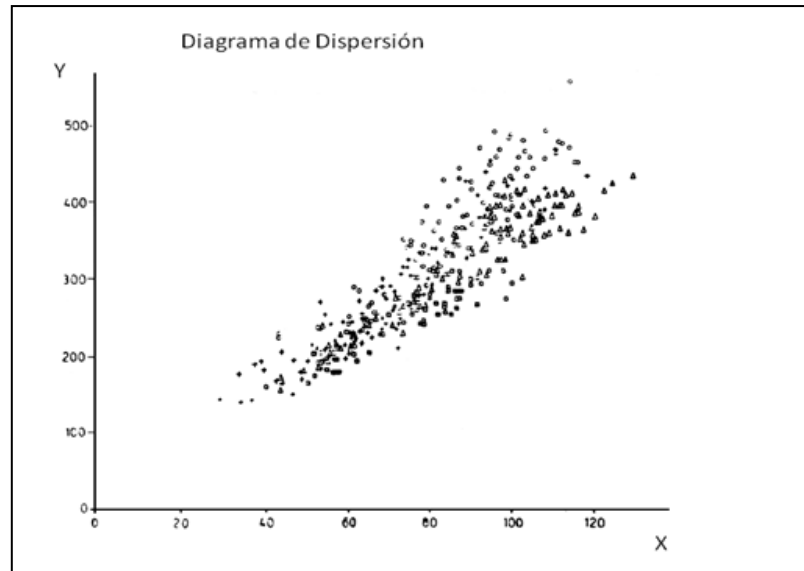


Figura 8. Diagrama de Dispersión X-Y. (Allen, K. 1966)

Uno de los aspectos más poderosos de un gráfico de dispersión, sin embargo, es su capacidad para mostrar las relaciones no lineales entre las variables. Además, si los datos son representados por un modelo de mezcla de relaciones simples, estas correlaciones son visualmente evidentes como patrones superpuestos. (Utts, J. 2005).

2.5.4 RELACION DE VARIABLES ALEATORIAS

La metodología estadística de relación de variables aleatorias consiste en generar un numero diverso de bloques de un determinado proceso, en donde en cada bloque se fabriquen muestras que se rijan bajo un control estadístico de proceso y además sean registrados valores de las variables que influyan en dicho proceso, para luego establecer la dependencia entre el tratamiento final de las muestras de cada bloque y alguna de las variables aleatorias estudiadas.

Las denominadas variables aleatorias son producto del empleo de un diagrama Causa-Efecto, el cual permite hacer un filtro o reducir el total de las variables que forman parte del proceso.

En este Trabajo Especial de Grado, la metodología empleada permitirá construir gráficos de dispersión, en donde los resultados del ensayo C20 realizado a las muestras de baterías elaboradas se consideren como la variable dependiente (Y) mientras que las distintas variables aleatorias encontradas de acuerdo al diagrama causa-efecto, sean calificadas a su vez como variables independientes (X). Las variables aleatorias que demuestren tendencia con el ensayo eléctrico, serán las que presenten relación directa con la prueba de capacidad 20 horas.

CAPITULO III

MARCO METODOLOGICO

A continuación se explica la metodología a emplear para el cumplimiento de los objetivos planteados en el presente trabajo de investigación.

3.1 METODOLOGIA

En primera instancia, se estudiaron las etapas del proceso de fabricación de baterías automotrices que se llevan a cabo en la empresa Acumuladores TITAN, C.A, así como también, las diferentes pruebas de capacidad y rendimiento que se realizan en el laboratorio de Aseguramiento de Calidad, con la finalidad de familiarizarse con los ensayos a ser realizados sobre las muestras objeto del análisis. Luego, se recolectaron los resultados históricos de la prueba de capacidad 20 horas (C20) realizados a una muestra de baterías de modelo a estudiar, de manera de analizar la variabilidad de dichos resultados y conocer la situación actual de la prueba de capacidad 20 horas (C20).

Luego de conocer la variabilidad de los resultados registrados de la prueba C20, se estudio el proceso de fabricación de placas expandidas estadísticamente, con el objetivo de conocer la capacidad del mismo y su comportamiento actual mediante la estrategia estadística de control de procesos.

Seguidamente, se identificaron las variables que forman parte del proceso de empastado de placas positivas, calificando estas como aleatorias mediante un diagrama de causa efecto, a excepción del peso de placa positiva, al cual se le

realizará un control estadístico por la dependencia que presenta la prueba C20 con esta variable, según lo indica la Ley de Faraday.

Luego se procederá con la fabricación de las placas para las muestras que serán ensayadas según la prueba C20. Para realizar los análisis estadísticos se elaboraron varios bloques donde se cumpla la condición de peso bajo control estadístico, y se llevó un registro de todas las variables aleatorias consideradas en el análisis causa-efecto del punto anterior.

De acuerdo a la dispersión encontrada en los ensayos de las variables aleatorias, se verifico la cantidad de bloques que serian considerados para la fabricación de las muestras de baterías, a las que se les realizaran el ensayo de capacidad nominal bajo el régimen de 20 horas, y luego de ensayadas, se determinó la existencia de relación entre los resultados del ensayo de rendimiento y las diferentes variables seleccionadas de acuerdo al diagrama causa-efecto, utilizando la metodología estadística de relación de variables aleatorias mediante el uso de Diagramas de Dispersión, esto con la finalidad de identificar las posibles causas de variación de los resultados de la prueba de capacidad 20 horas de las baterías modelo 22 MR-800.

A continuación, en la Figura 9, se muestra un Diagrama de Bloques que permite dividir en etapas la metodología antes descrita.

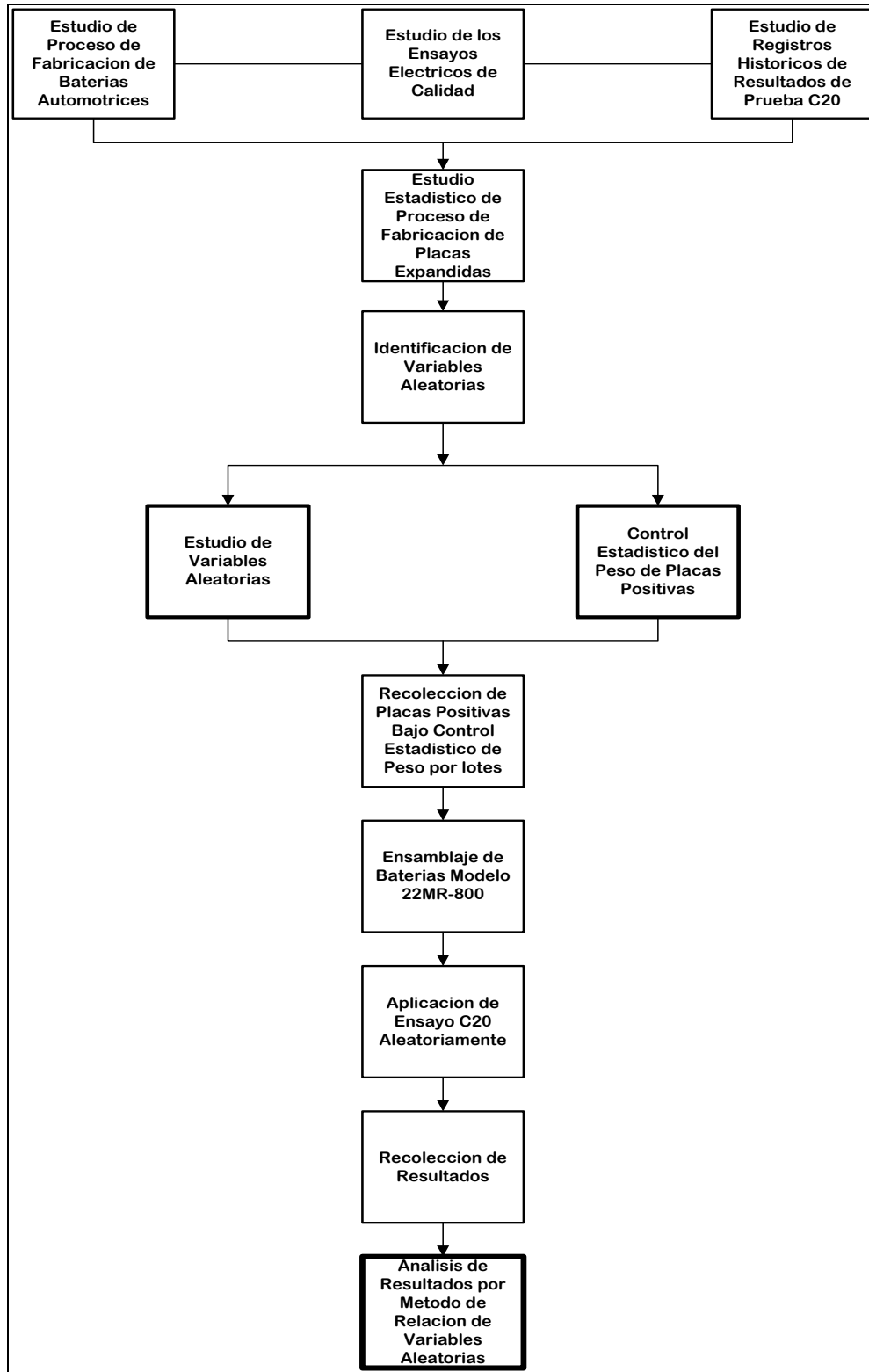


Figura 9. Diagrama de Bloques de Metodología Experimental.

3.2 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

A continuación se explican los diferentes procedimientos que deberán ser realizados para la elaboración de las muestras que serán sometidas al ensayo de capacidad 20 horas.

1. Se estudiaron las diferentes etapas del proceso de fabricación de baterías automotrices, así como también, se hizo un estudio de los diferentes ensayos de laboratorio realizados a materias primas y componentes de los acumuladores, incluyendo los ensayos eléctricos que se realizan a las baterías automotrices en el laboratorio de Aseguramiento de Calidad de la Empresa Acumuladores TITAN C.A, específicamente el ensayo de Capacidad 20 horas, utilizando la bibliografía recomendada y haciendo un estudio de la normativa vigente por la cual se rigen los ensayos actualmente, con el fin de conocer las condiciones de ensayo e instrumentos que serian utilizados.
2. Se revisaron los registros históricos de resultados de la prueba de Capacidad 20 horas pertenecientes al modelo de batería recomendado por la gerencia de Aseguramiento de Calidad de la Empresa Acumuladores TITAN, C.A. (22MR-800), accediendo a la base de datos de ensayos eléctricos encontrada en el Laboratorio del departamento mencionado. Con el fin de conocer la variabilidad de los resultados, se realizó un análisis del estado de la prueba, determinando el número de acumuladores que cumplen con el requisito de calidad.
3. Se realizó el estudio y monitoreo del proceso de empastado de placas positivas modelo 60 VCCaSn+, para ello se identificó cada uno de los componentes que forman parte de la pasta y su proveniencia (óxido de plomo, ácido sulfúrico y agua desmineralizada), además, se intento conocer los principios básicos de funcionamiento de los equipos que forman parte del proceso.
4. Se procedió a realizar un estudio estadístico preliminar del peso de 150 placas positivas (60 VCCaSn +); para ello se tomaron veinticinco (25) subgrupos de placas expandidas, en donde se pesaron tres (3) placas por

subgrupo y se realizaron dos (2) estudios estadísticos de peso independientes, uno para la placa de lado izquierdo a la salida del horno y otro para el lado derecho, de manera de registrar las variaciones y conocer la situación actual del proceso de formación de placas expandidas.

5. Los datos recolectados fueron analizados con el software estadístico Minitab V.16, el cual permitió determinar nuevos límites de control que fueron utilizados para el estudio continuo básico del peso de placas expandidas, y así asegurar el control estadístico del proceso en esta variable, por cada bloque de placas a fabricar.
6. Luego de obtener los nuevos límites de control para el peso de placas expandidas, se realizó un diagrama causa-efecto, el cual permitió determinar las variables que posiblemente influyen en el proceso de empastado de placas positivas. Las variables encontradas en este diagrama fueron calificadas como las variables aleatorias de este estudio, por lo que se intentó familiarizarse con cada ensayo de calidad, que actualmente se realiza a cada variable por separado.
7. Una vez obtenidas las variables aleatorias de este estudio, se determinó la cantidad de bloques a fabricar (el estudio continuo básico de variables exige un mínimo 12 bloques) y, de acuerdo a la variabilidad de los resultados se verificó el número de bloques a estudiar.
8. Se identificaron la cantidad de placas positivas por celda que se requiere para el ensamblaje de una batería de modelo piloto seleccionado, y luego se contabilizó la cantidad de placas necesarias para ensamblar un mínimo de tres (3) baterías por bloque, lo cual es recomendado según la estadística de control de procesos.
9. Obtenidos los datos de las variables aleatorias y del control estadístico del peso, se recolectó y almacenó, las placas para disponerlas a curar en la cámara de curado de placas.
10. Se recolectaron las placas a la salida del proceso de curado y se procedió a armar los grupos de placas positivas y negativas para el ensamblaje de las baterías. Las placas positivas utilizadas se encontraban bajo el control

estadístico del proceso de empastado, mientras que las placas negativas solamente fueron tomadas del almacén de placas que se encontraban a disposición del investigador sin realizarles ningún tipo de tratamiento. El proceso de armado de grupos de baterías modelo 22MR-800, se explica detalladamente en el Apéndice B (preparación de baterías para pruebas especiales).

11. Luego de ensambladas la baterías, se les agregó el electrolito y fueron llevadas a proceso de carga para la formación inicial durante un mínimo de 24 horas de carga eléctrica.
12. Se ideó un plan de experiencias con la finalidad de garantizar que las muestras serian ensayadas de manera aleatoria.
13. Se sometieron las muestras al ensayo eléctrico de calidad de capacidad 20 horas, utilizando el cargador/descargador eléctrico marca Chen Tech Electronic. Cada batería de muestra fue sometida a ensayo tres veces como lo indica la normativa por la cual se rige el ensayo (Manual de Ensayos Eléctricos para Baterías Automotrices. Acumuladores TITAN. C.A. 2001). En la Figura 10, se aprecia el equipo que permitió obtener los resultados de la prueba C20 de las baterías creadas:



Figura 10. Cargador/Descargador de baterías especiales

14. Al obtener los resultados del ensayo C20, se empleó el software Microsoft Office Excel, el cual permitió construir una serie de Gráficos de Dispersión, en donde los resultados del ensayo C20 realizado a las muestras de baterías elaboradas (36 baterías) se consideren como la variable dependiente mientras que las distintas variables aleatorias encontradas de acuerdo al diagrama causa-efecto, fueron calificadas a su vez como variables independientes.

CAPITULO IV

ANALISIS DE RESULTADOS

A continuación se muestran los análisis de resultados del estudio de variación de la respuesta del ensayo eléctrico de capacidad 20 horas, realizado a baterías plomo ácido, destinadas a uso automotriz.

4.1 ESTUDIO ESTADISTICO DE CAPACIDAD DEL PROCESO DE EMPASTADO DE PLACAS POSITIVAS EXPANDIDAS EN VARIABLE PESO

Luego de verificar los resultados de los ensayos C20 realizados a 40 baterías en el período 2008-2009, se determinó que dichos resultados presentaban una variabilidad considerable. En busca de encontrar una posible razón a dicha variabilidad, se realizó en primer lugar un estudio estadístico preliminar del proceso de empastado de placas positivas, modelo 60VCCaSn(+), en la variable peso de placa. Tal estudio realizado, siguiendo la metodología estadística de control de procesos, permitió descubrir nuevos límites de especificación de peso para las placas de ambos lados a la salida del horno (lado derecho y lado izquierdo). Estos límites de especificación presentan entre si menor tamaño o cabida de puntos que los implementados en la planta para el momento de inicio de este trabajo especial de grado. En la siguiente Tabla 1 se muestran los resultados de los límites de especificación y la comparación realizada con respecto a los límites de peso de ingeniería, implementados en las cartas de reporte del área de empastado de la empresa.

Tabla 1. Límites de control encontrados a partir del estudio estadístico preliminar de la etapa de Empastado de placas positivas.

Límites	Especificación Ingeniería ± 6 [gr]	Limites resultantes de Estudio Preliminar Derecho ± 6 [gr]	Limites resultantes de Estudio Preliminar Izquierdo ± 6 [gr]
Límite Superior	121	117,4	118,1
Límite Central	115	113,5	115,1
Límite Inferior	109	109,5	112,1

En la Tabla 1 se puede apreciar la disminución en magnitud de los límites de especificación implementados en la planta. Este resultado, permite garantizar que todos los promedios del peso de grupos de placas ensayados bajo la metodología de control que se encuentren dentro de los nuevos límites de especificación, serán considerados como valores de peso de placa dentro de control estadístico. Al mantener placas con valores controlados de peso se puede asegurar estadísticamente, el buen funcionamiento del material activo que esta aloja, partiendo de la premisa que la placa cumple con los requisitos de especificación y que se cuenta con la cantidad de material activo necesaria; adicionalmente, este valor de peso controlado permite descartar la posibilidad de que la variabilidad de la respuesta del ensayo de C20 de las baterías estudiadas, sea debido al peso de placa positiva o de la cantidad de material activo que esta soporta, ya que de acuerdo a la bibliografía consultada, de esta variable depende la capacidad 20 horas de la batería, tal como lo establece la Ley de Faraday.

Para determinar estos nuevos límites de control, se realizó un estudio de toda la etapa de empastado y, con estas pruebas, se determinaron las causas que ocasionaban que los pesos de las placas estuvieran por encima o por debajo de las especificaciones de ingeniería utilizadas en las cartas de control de la empresa actualmente. Luego se tomaron decisiones correctivas que pudieran ser aplicadas continuamente para garantizar el control del proceso en la continuidad de operación del mismo.

A continuación, se muestra la Figura 11, la cual representa el gráfico de control de peso de placa positiva de lado derecho de la maquina SOVEMA, donde se reportan los nuevos límites de control encontrados en esta etapa de investigación.

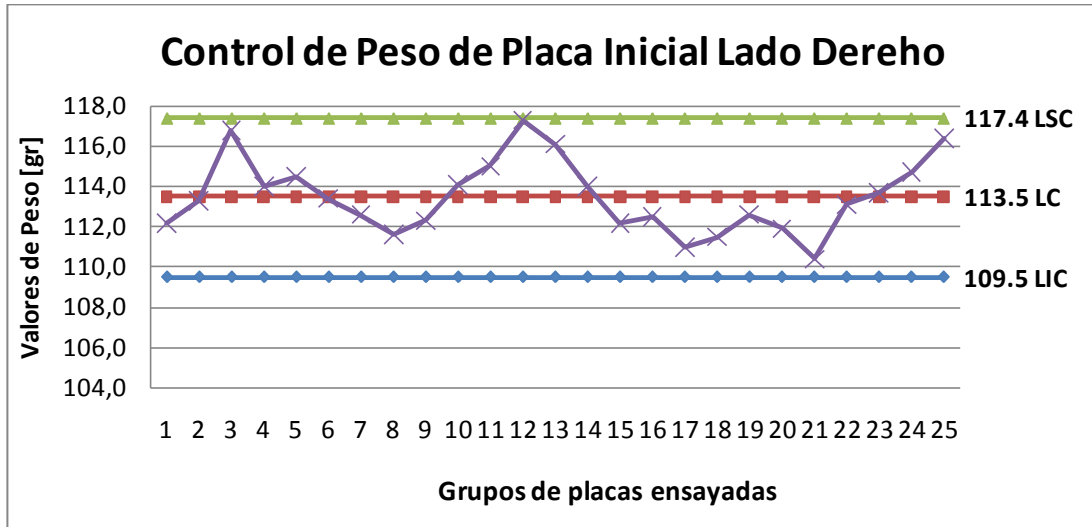


Figura 11. Resultado de control preliminar de peso de placa positiva, de lado derecho.

En la Figura 12, se puede apreciar, como los promedios de los grupos se encuentran dentro de los nuevos límites de especificación. Al tener este resultado, se puede notar que ningún valor de promedio sobrepasa el límite máximo o el mínimo de control. Lo anterior indica estadísticamente, que a partir de esta disposición de puntos, en el estudio continuo de la variable al momento de fabricar las corridas de las muestras, solo deben corregirse las causas asignables de manera de llevar los promedios al valor optimo de peso, el cual es el límite central. Estas causas asignables fueron determinadas mediante un estudio físico de comportamiento de la etapa, conjugando de igual manera al personal humano que en ella se encontraba trabajando. Un resultado similar es el obtenido para el lado izquierdo de la salida del horno. En la figura 12, mostrada a continuación se puede observar el comportamiento del estudio de la variable peso para este proceso independiente.

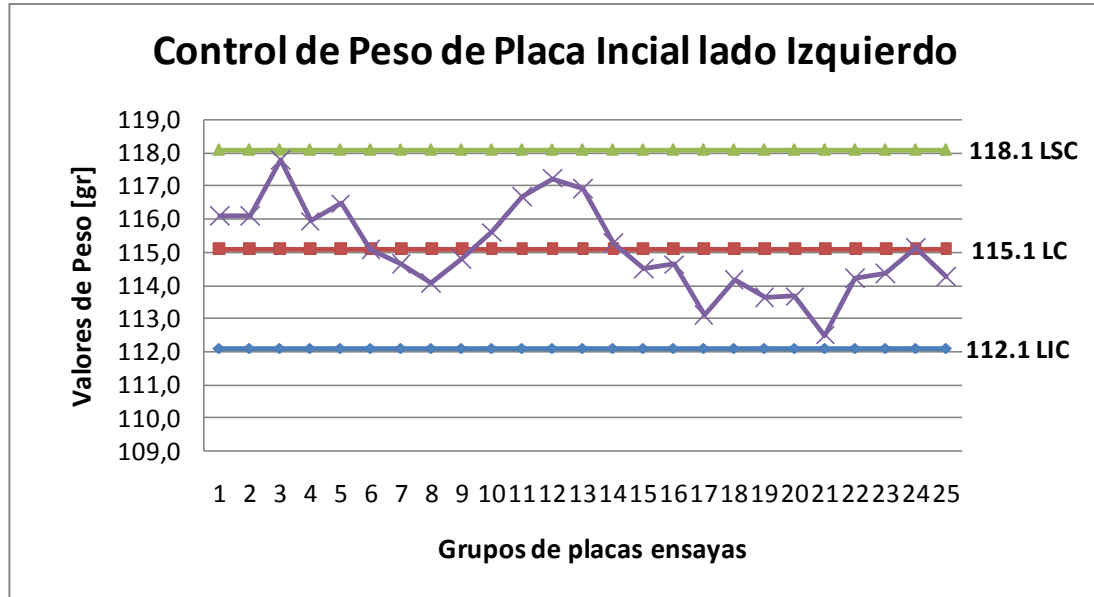


Figura 12. Resultado del estudio preliminar del control de peso de placa positiva de lado izquierdo.

En la figura 13 se puede apreciar el gráfico de control de peso de placa positiva izquierda, como los promedios del estudio no sobrepasan las bandas límites de control, esto indica, al igual que en estudio explicado anteriormente, que el proceso en general se puede mejorar atacando las causas asignables con la finalidad de llevar el peso de placa al valor de límite central, como valor óptimo.

A partir de estos resultados, se realizó el estudio continuo básico para la variable peso de placas para muestras de baterías, utilizando estos nuevos límites de control para las placas de los diferentes bloques de baterías a fabricar.

Luego de obtener estos límites de control, corregir las causas especiales que impidían que el proceso estuviese controlado e identificar las causas asignables, se realizó un estudio de capacidad de las placas a la salida de los lados del horno. El análisis de capacidad permite determinar si el proceso es funcional o si por causas especiales el proceso no cumple con los estándares de calidad. A continuación se muestran los resultados de los índices de capacidad para cada estudio estadístico.

Tabla 2. Resultado preliminar de estudios de capacidad del proceso de empastado de placas.

Índice de Capacidad Óptimo (Cpk)	Índice de Capacidad Lado Derecho(± 0.01)	Índice de Capacidad Lado Izquierdo(± 0.01)
$Cpk \geq 1.33$	$Cpk = 0,87$	$Cpk = 1,14$

El resultado mostrado en la Tabla 2, corresponde al estudio de capacidad del proceso de empastados de placas positivas expandidas, realizado a partir de los gráficos de control de peso expuestos anteriormente; en ella se indica como para el momento del estudio, el proceso de lado izquierdo resulto tener mayor índice de capacidad que el proceso de lado derecho a la salida del horno, pero en conjunto, se puede considerar este resultado como desfavorable ya que para estar en presencia de un proceso capaz y optimo, el índice de capacidad (Cpk), debe ser mayor o igual a 1,33, con este valor se pretende asegurar que el proceso tenga un nivel de comportamiento mínimo y ajustable a los requerimientos de calidad establecidos por el fabricante, capaz de lograr características de calidad consistentes y prioritarias en el producto final (Montgomery, 2005). Para lograr aumentar este índice, se debieron tomar varias decisiones que a su vez repercutieron en la variabilidad de la respuesta de los resultados. Para mejorar el comportamiento del proceso en general, se determinaron las causas comunes y asignables que podrían estar afectando a la capacidad del proceso, tomando varias acciones correctivas que permitieran mantener el control del proceso continuamente.

Una de estas acciones fue hacer ajustes continuos a los tornillos de la tolva que permiten ajustar el tamaño de orificio de salida de la masa activa que cae a la rejilla para juntas formar la placa positiva. Al hacer estos ajustes, se pudo observar en ensayos posteriores que el peso de placa se acercaba mucho más a la banda central de límites de control. Esta causa de desajuste (asignable), era originada por causas denominadas estadísticamente como especiales. De todas las causas especiales encontradas que repercutían en el cambio del peso de placa, se encontró como la más

importante, el detenimiento repentino del proceso de empastado causado por algún desperfecto mecánico encontrado en la etapa de expansión de la rejilla o en la sección aplanadora de masa activa y rejillas. Al manejar todas las causas especiales, se controlaron y solventaron los problemas que estas pudieran acarrear, para finalmente, lograr mantener la continuidad del proceso y posteriormente, aumentar la capacidad del mismo mientras se realizaban las corridas de placas.

4.2 IDENTIFICACION DE VARIABLES ALEATORIAS

En esta etapa de la investigación, se identificaron las variables que se denominarían como aleatorias. Estas variables fueron filtradas haciendo uso de un diagrama Causa-Efecto, en el cual se tomaron en cuenta aquellas variables que se analizan bajo un ensayo de laboratorio y la importancia que ellas podrían representar en la respuesta del ensayo C20; Se encontraron diez variables aleatorias, la cuales se mencionan a continuación:

- Temperatura de la Mezcla
- Plasticidad de la pasta
- Peso cubico de la pasta
- Tiempo de mezclado
- Absorción de Acido
- Porcentaje de Plomo Libre
- Humedad de la placa
- Temperatura del horno
- Espesor de la placa
- Tiempo de espera de placas antes de curar (tiempo de pre-curado)

Mientras marchaba la recolección de datos de variables aleatorias y de placas con peso controlado, se observó una variabilidad en la respuesta de los ensayos de algunas de las variables aleatorias, más específicamente, la variable de absorción de ácido, temperatura de la mezcla y plomo libre. Debido a esto, se tomó la decisión de aumentar el número de bloques de baterías a estudiar, ya que inicialmente se realizaría el mínimo de bloques que exige el estudio estadístico, doce (12) bloques, se

aumentaron a catorce (14) bloques con la finalidad de ratificar la tendencia de los resultados.

Como se menciona al principio de este informe, a las variables aleatorias, no se le realizó ningún tratamiento estadístico ni de control, esto quiere decir que solamente fueron medidas de manera de utilizar estos datos en la relación del ensayo C20 y si alguna de ellas resultaba tener relación con el ensayo, esa relación sería la respuesta de cómo afecta actualmente cada variable al ensayo eléctrico o a la eficiencia de la masa activa.

4.3 RESULTADOS DE CONTROL ESTADISTICO Y DE CAPACIDAD CONTINUO DE PESO DE PLACA POSITIVA

Esta sección se considero como la tercera parte del estudio experimental. Aquí se aplicaron los nuevos límites de especificación de control de peso encontrados en la fase preliminar de experimentación y se procedió a verificar que haciendo uso de estos límites en cada bloque se lograra el mayor índice de capacidad de proceso posible (Cpk).

En líneas generales, durante la recolección de placas se observo que el peso de placa de acuerdo a los resultados que reportaban los gráficos de control, se encontraba en control estadístico, sin embargo, se llevo a cabo el estudio de capacidad a partir de los gráficos de control de manera de descifrar si el proceso simplemente cumplía los estatutos de calidad requeridos por la empresa o si se encontraba en su punto más óptimo de capacidad.

En la siguiente tabla 3 se muestra el estudio de capacidad realizado a cada bloque, estudiando independientemente al canal derecho e izquierdo.

Tabla 3. Resultados de estudio de capacidad para cada bloque de placas fabricado

Bloques de Placas Positivas	Índice de Capacidad Derecho (Cpk) (± 0.01)	Índice de Capacidad Izquierdo (Cpk) (± 0.01)
1	2,79	2,03
2	1,46	1,52
3	3,52	3,60
4	2,44	2,40
5	3,35	3,10
6	2,64	3,27
7	3,38	3,31
8	3,64	4,38
9	2,69	2,43
10	2,37	2,93
11	2,82	2,66
12	2,19	1,92
13	1,59	2,00
14	2,39	2,52

En la Tabla 3 se puede apreciar, como durante el proceso de recolección de placas el índice de capacidad superó los requerimientos de estadística, más precisamente, se consiguió conservar un Cpk mayor a 1.33. Aunque estos resultados sean aproximados, ya que en general ningún proceso es perfecto y el muestreo presenta variaciones, el mismo refleja que durante el estudio las causas especiales y asignables fueron corregidas y se evito su recurrencia por lo cual con este estudio se logro el mejoramiento continuo del comportamiento del proceso.

Realizando un estudio más a fondo de estos resultados, se discute el caso más favorable, representado por el grafico de control de peso de placa de lado derecho al igual que el de lado izquierdo, los cuales fueron utilizados para encontrar el índice de capacidad de este proceso.

En la Figura 13 se muestra la carta de control correspondiente al lado derecho del ciclo ocho (8).

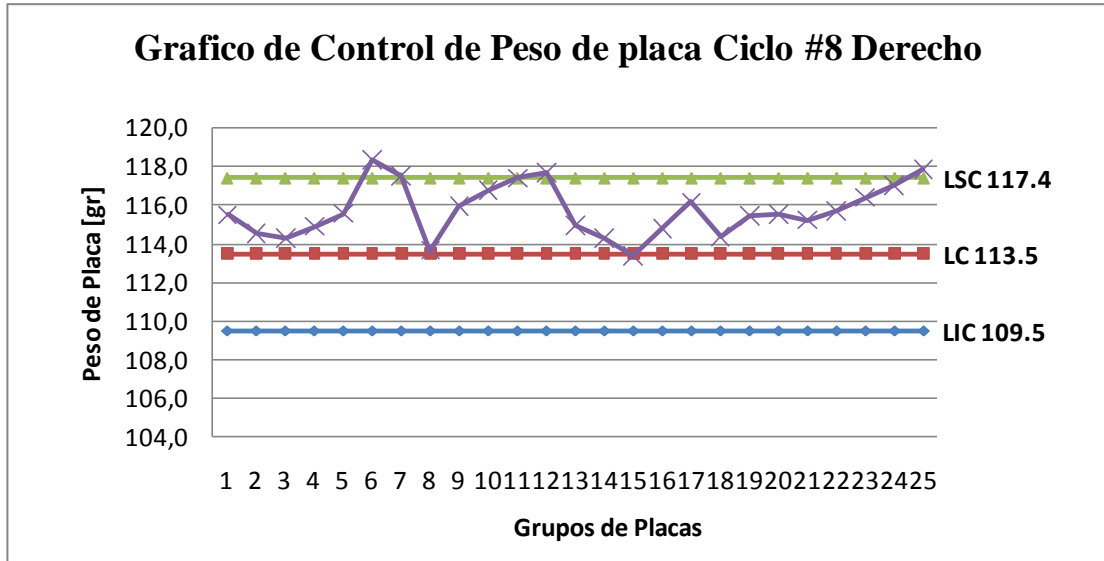


Figura 13. Carta de control de peso de placa para el ciclo #8 derecho de la maquina empastadora de placas.

Se puede apreciar como la curva de control representada en la Figura 13, se desplaza entre el limite central de peso y el superior, mostrándose solo pequeñas desviaciones en los valores de promedios y que tres grupos sobrepasan la línea superior de control dispuesta, esto es debido a la variación de muestreo estadístico, ya que la distribución de Fischer no resulta perfecta para todos los procesos continuos.

Para el estudio del canal izquierdo, perteneciente al bloque 8 de muestras de placas se obtiene resultados de pesos de placas similares al mostrado en la figura 13. A continuación, se muestra la figura 14, donde se puede apreciar el comportamiento de peso en la carta control para el proceso independiente del lado izquierdo.

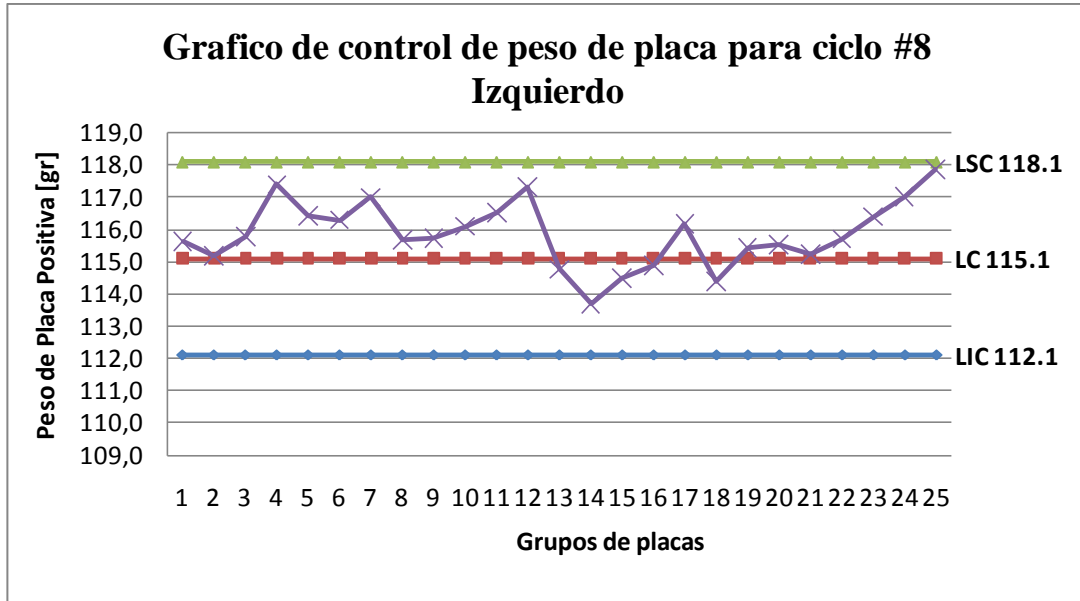


Figura 14. Carta de control de peso de placa para ciclo 8 Izquierdo.

En la figura 14, se muestra como la distribución del peso de placa se encuentra bordeando el límite central, mostrando puntos por encima y debajo de la línea central de control; además se aprecia el rango de comportamiento de los puntos de peso no mayor a dos (2) gramos de punto a punto. Esto es altamente positivo, ya que este resultado indica que las acciones tomadas para la corrección de posibles causas de desviación del proceso, funcionaron al punto tal de no permitir que existieran grandes variaciones del mismo. Se puede notar además que la variación se encuentra por debajo a la amplitud existente entre el límite superior y el central, lo cual es uno de los principales objetivos del control estadístico, reportar el menor rango de variación posible de punto a punto.

4.4 RELACION ENTRE LA VARIACION DE PESO EMPLEADA Y LOS RESULTADOS DE LA PRUEBA DE CAPACIDAD 20 HORAS

Una vez realizado el ensayo C20 a las muestras de baterías fabricadas con placas positivas expandidas bajo control de peso y con la incidencia de las variables aleatorias encontradas, se realizó una comparación entre los resultados del ensayo eléctrico obtenidos en este trabajo especial de grado, con los resultados encontrados para el momento del estudio almacenados en la base de datos de planta y

pertencientes a los grupos de baterías ensayados durante los años 2008 y 2009. A continuación se muestra la Tabla 4 donde se aprecia la comparación realizada.

Tabla 4. Comparación entre los antecedentes de resultados de C20 con los resultados de este trabajo especial de Grado

Grupos	Antecedentes (A.h)	Resultados (A.h)
1	51,58	49,44
2	46,60	45,42
3	46,57	49,16
4	54,85	45,51
5	52,99	45,38
6	46,36	45,38
7	57,77	50,91
8	49,48	51,81
9	50,85	44,76
10	51,73	53,03
11	56,00	48,54
12	48,48	53,95
13	58,85	51,47
14	54,64	43,83
Desviación Standard	4,14	3,40

En la Tabla 4 se puede apreciar que no existe una marcada diferencia entre los valores de capacidad 20 horas pertenecientes a los antecedentes reportados y los resultados experimentales de este estudio, sin embargo, se realizó el cálculo de la desviación estándar, la cual permite especificar en cuanto se alejan los puntos de los promedios de valores de capacidad 20 horas de cada grupo de baterías ensayados entre sí; esto con la finalidad de encontrar de que manera influyeron los valores de peso modificados en la respuesta de C20, encontrando que existe menor desviación en los resultados pertenecientes al estudio en donde se utilizaron valores de peso de placas controlados bajo la metodología estadística de control de procesos, reduciéndose en un 18% la variabilidad. A continuación, se muestra la grafica que describe la disposición de los valores de C20, que permite visualizar la variabilidad de los resultados antecedentes en forma de grafico de control.

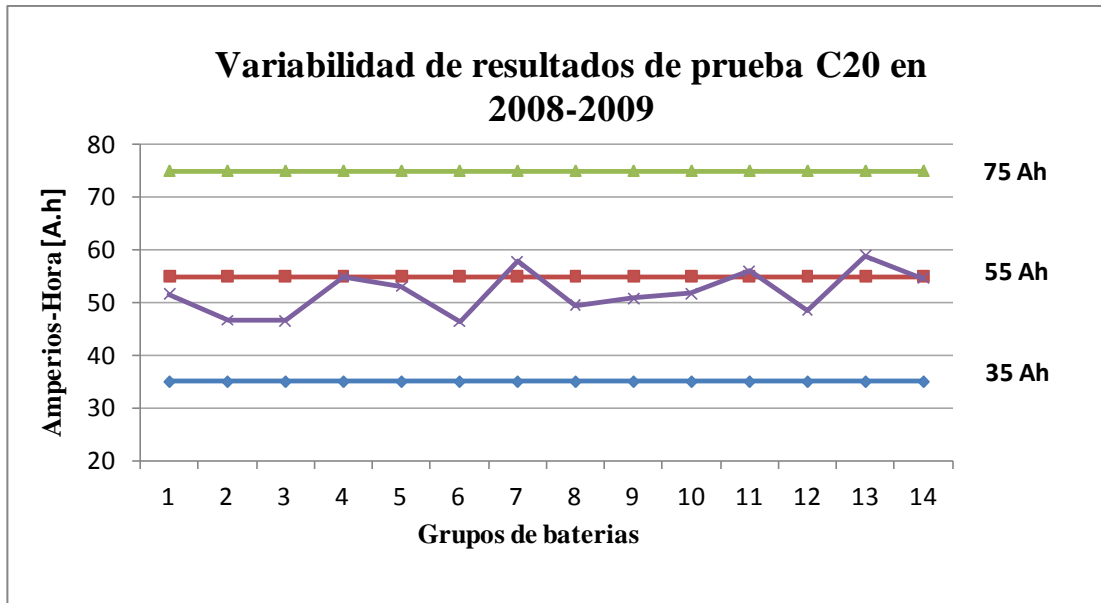


Figura 15. Variabilidad de la prueba C20, para 14 grupos de baterías 22MR800 ensayadas en el periodo 2008-2009.

En la Figura 15 se puede apreciar, como dos grupos de baterías, específicamente el grupo 7 y el grupo 13, sobrepasan la línea de especificación de 55 A.h; esto implica la desestabilidad del ensayo para el momento del estudio. Ahora se analizará la carta de control que representa el comportamiento de variabilidad de los resultados de ensayos C20 realizados a 14 grupos de baterías en este trabajo especial de grado.

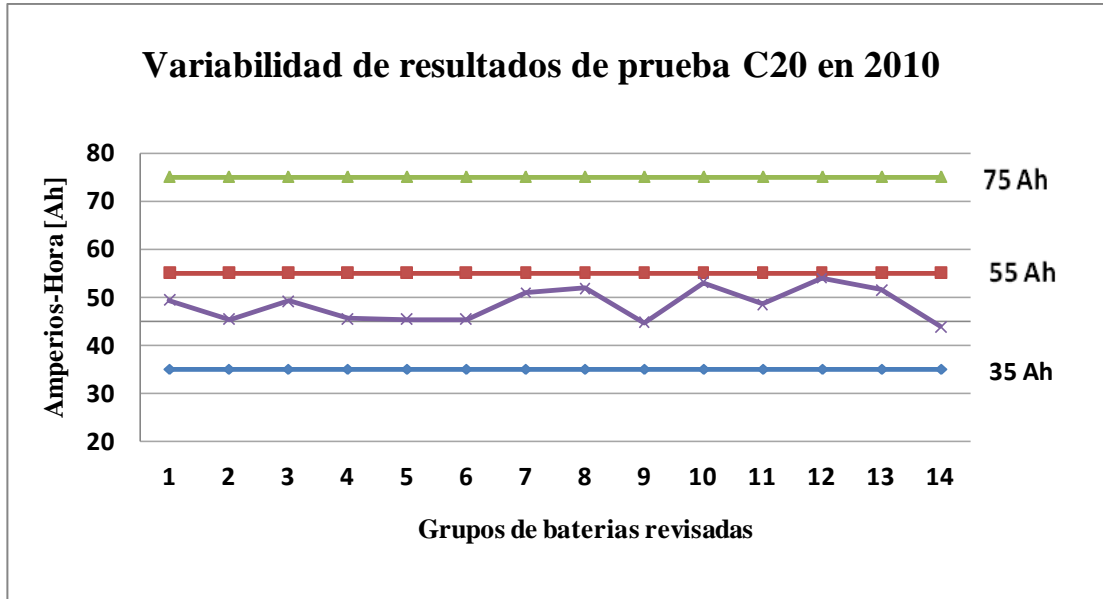


Figura 16. Variabilidad de resultados de C20 para baterías ensayadas en 2010.

En la Figura 16, se puede notar que visualmente no se aprecia una disminución de la variabilidad de la respuesta del ensayo eléctrico para este estudio si comparamos la Figura 15 con la Figura 16, sin embargo, resalta el hecho que ningún grupo de baterías sobrepaso la especificación del ensayo C20, lo cual puede representar un avance significativo, porque aunque no todos los grupos llegan a la especificación, sino que se encuentran por debajo de ella, al menos no se está desperdiciando material activo a la hora de fabricar placas para baterías 22MR800, además, de reducirse en casi 20% la variabilidad de la respuesta de este ensayo, por lo que permite aseverar que con la implementación de estos límites de especificación de peso de placa, se puede lograr economizar el uso del material activo obteniéndose el mismo rendimiento para este tipo de acumulador.

4.5 RELACION ENTRE LAS VARIABLES ALEATORIAS Y LA RESPUESTA DEL ENSAYO DE CAPACIDAD 20 HORAS

Luego de obtener la relación de la respuesta del ensayo eléctrico, capacidad 20 horas con las variables aleatorias encontradas en la sección de fabricación de placas bajo control estadístico de peso, se identificaron las posibles relaciones entre este ensayo y algunas de las variables, obteniéndose una posible dependencia de la

capacidad 20 horas con el Peso Cúbico de la pasta, la Plasticidad de la Pasta y la Humedad de la Placa. A continuación se analizaran las graficas que permiten visualizar estas tres relaciones.

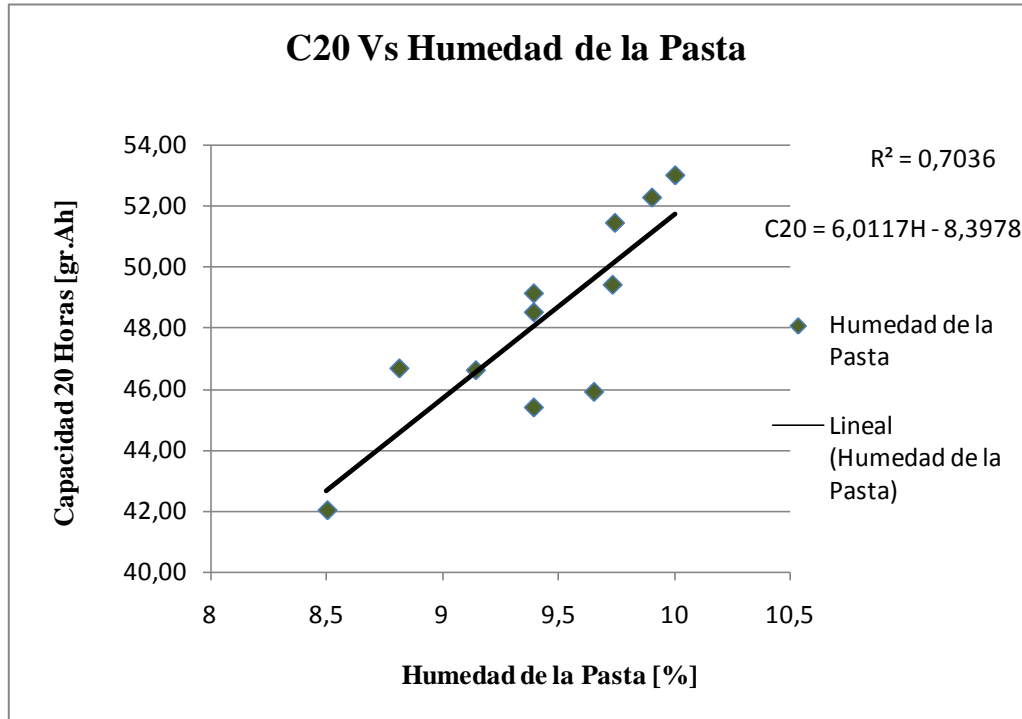


Figura 17. Relación entre C20 y porcentaje de Humedad de la Pasta.

La Figura 16 representa, la relación que existe entre la capacidad 20 horas y el porcentaje de humedad de la pasta en la placa. En ella se muestra como la C20 está siendo afectada por el porcentaje de humedad de manera lineal; al hacer el diagrama de dispersión, tomando como variable dependiente la C20 y como independiente la humedad de la pasta, se obtiene un factor de correlación igual a 0,70, mostrándose además que a mayores valores humedad, se obtienen mayores valores de capacidad 20 horas. Este fenómeno puede ser explicado en función a la porosidad de la placa, ya que a mayores índices de humedad, la porosidad aumenta y con mayor cantidad de poros en la placa, el electrolito presenta mayor penetración lo que favorece la reactividad entre el electrolito y el material activo positivo, trayendo como consecuencia mayor rendimiento eléctrico en el acumulador.

En la figura 17 mostrada a continuación, se muestra la relación encontrada entre la capacidad 20 horas y la plasticidad de la pasta.

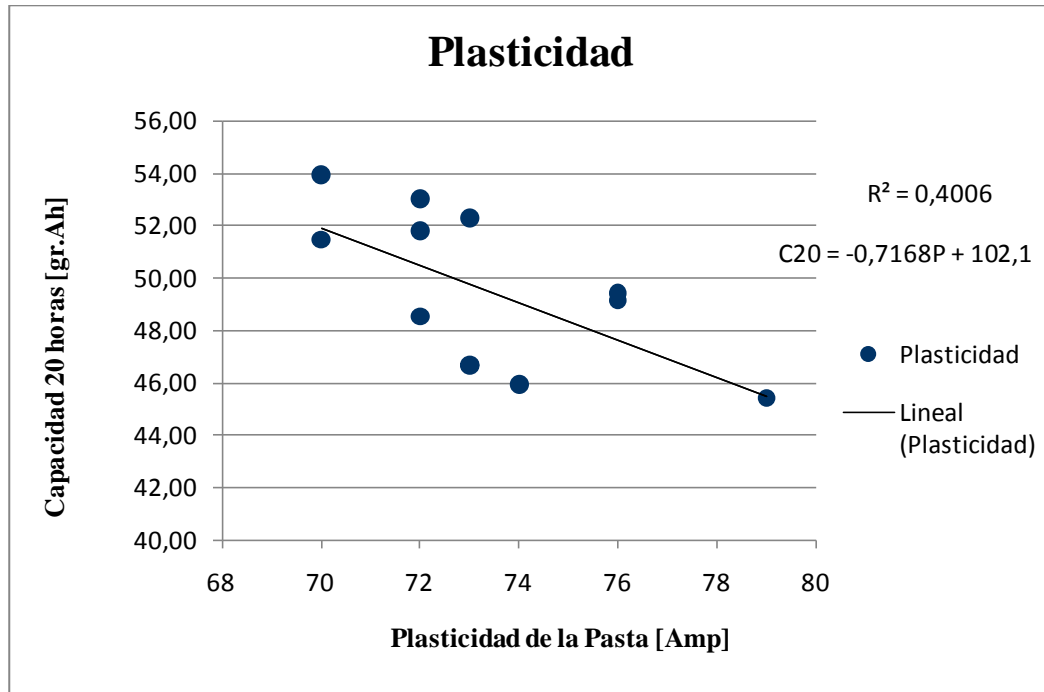


Figura 18. Relación entre Capacidad 20 horas y Plasticidad de la Pasta.

En la figura 17, se muestra como la relación que guarda la capacidad 20 horas con la plasticidad de la pasta es inversamente proporcional a la relación entre la capacidad 20 horas y la humedad de la pasta en la placa, esto se debe a que mientras más alta es la plasticidad del material activo, la porosidad disminuye, imposibilitando la absorción o penetración del electrolito en la placa. Este fenómeno ocasiona menor reactividad entre el ácido sulfúrico y el dióxido de plomo, acarreando menor rendimiento en el acumulador ya que disminuye la capacidad 20 horas, debido a que se ve afectada el ciclo de formación inicial de sulfato de plomo.

La siguiente grafica representa la tercera relación encontrada entre la capacidad 20 horas y la variable aleatoria Peso Cúbico.

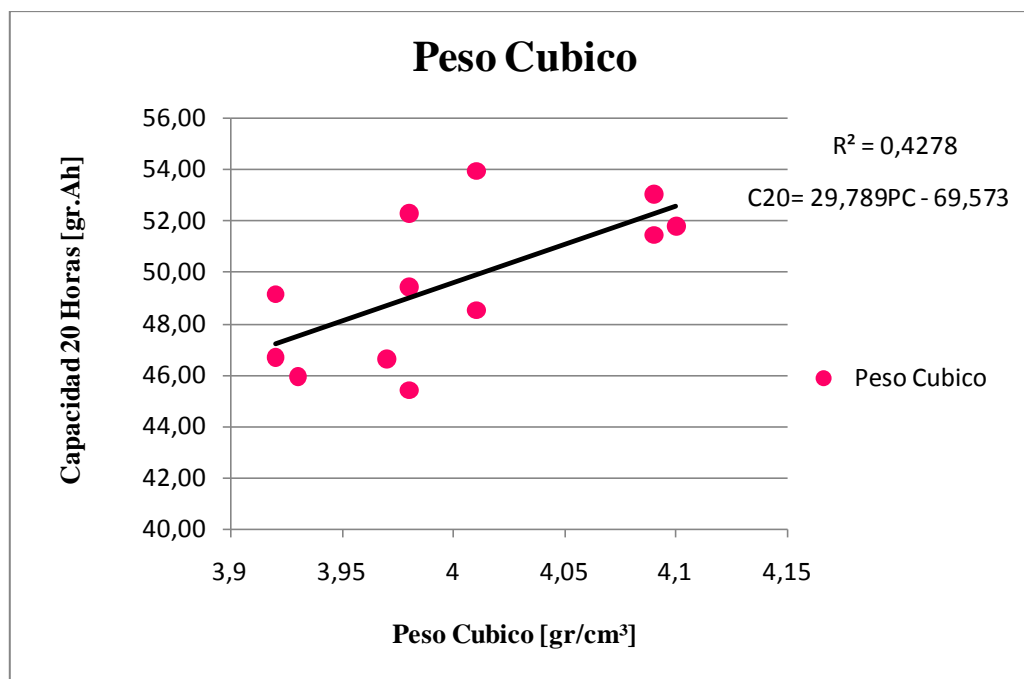


Figura 19. Relación entre la capacidad 20 horas y el Peso cubico de la pasta.

En la Figura 18 se puede observar como la capacidad 20 horas depende del peso cubico o densidad de la pasta. Aunque la correlación es baja, se muestra que el mejor ajuste que existe entre ellas es lineal ya que a mayores valores de densidad de la pasta aumenta capacidad 20 horas. Este resultado es interesante, ya que el comportamiento del peso cubico debería ser inversamente proporcional al porcentaje de humedad de la pasta y según este resultado, se muestran proporcionales; esto no debería suceder debido a que la fisicoquímica establece que a valores altos de porcentaje de humedad, se favorece la porosidad como se menciono anteriormente. Al tenerse mayor cantidad de poros en la pasta la densidad disminuye y la capacidad 20 horas aumenta ya que la interacción entre el electrolito y el material activo positivo se incrementa.

Es necesario profundizar el estudio del área superficial de las placas de material activo positivo, ya que esto puede llevar a una respuesta que permita aclarar este fenómeno ocurrido en este trabajo especial, el cual permita establecer un límite entre el aumento del peso cubico y la humedad, es decir, mientras la humedad vaya en

aumento a la hora de fabricar las placas, el peso cubico debe aumentar hasta un valor en especifico y luego establecerse.

No se conoce cuáles son los límites de especificación en el que puedan trabajar el porcentaje de humedad y el peso cúbico de forma paralela, para evaluar estos límites, lo más conveniente es estudiar estas variables experimentalmente a través de un estudio estadístico multifactorial, el cual permita ser continuación a este trabajo especial de grado.

En general, este trabajo especial de grado, centrado en la utilización de herramientas estadísticas para el estudio de la sección de empastado de placas positivas, perteneciente al proceso de producción de baterías automotrices, permitió descubrir, que el rango de peso de placa que estaba siendo utilizado para la fabricación de las mismas, debe ser disminuido tomando acciones directas al proceso con la finalidad de mantener el control el peso de placa para reducir la variabilidad y asegurar producir placas con la cantidad necesaria de material activo que permita proporcionar un rendimiento adecuado al acumulador sin que se desperdicie materia prima.

Además de lo anterior, este estudio experimental permitió establecer dos relaciones lineales, que indican que a medida que el porcentaje de humedad de la placa aumenta, al igual que la densidad de la pasta, mejora la respuesta del ensayo de capacidad nominal bajo el régimen de 20 horas; resultado innovador, ya que hasta este momento, este fenómeno era desconocido para el personal experto de la planta e interesante debido a que la fisicoquímica establece que al encontrarse mayor humedad de placa se favorece la porosidad de la misma permitiendo mejor interacción entre el electrolito y el material activo, contrario a lo que sucede si la densidad de la pasta aumenta, lo que desfavorece a la porosidad. Por lo cual, este trabajo incita a desarrollar estudios experimentales que permitan generar una descripción grafica de este comportamiento, además de considerar a este trabajo como predecesor para realizar estudios experimentales estadísticos que determinen como estas relaciones pueden interactuar en paralelo y el porcentaje de confianza de dicho comportamiento.

CONCLUSIONES

- El estudio preliminar estadístico de la etapa de empastado de placas positivas expandidas permitió establecer que el proceso no se encontraba en total capacidad al momento de iniciar este estudio.
- Los límites de especificación de peso de placas encontrados estadísticamente, garantizaron el control de peso de placa durante la fabricación de placas positivas, ya que se logró disminuir la amplitud de los mismos en comparación a los establecidos por la Ingeniería.
- El resultado del estudio de las variables aleatorias (Plomo Libre y Absorción de Ácido) arrojó valores alejados de especificación, es decir, alta variabilidad en los resultados.
- De las causas que generaban el desajuste del peso de placa positiva, se determinó que las causas denominadas especiales y asignables (carencia de ajuste de tolva, paros aleatorios del proceso), generando producción de placas con valores de peso fuera de especificación.
- Se fabricaron placas positivas expandidas con altos índices de capacidad, superando los índices exigidos por la estadística.
- Los límites de control de peso encontrados en este trabajo permitieron reducir la variabilidad de la respuesta del ensayo eléctrico capacidad 20 horas en 18% en comparación a los ensayos realizados al modelo de baterías objeto de estudio, 22MR800 pertenecientes al periodo 2008-2009
- Con esta especificación de peso empleada se pueden producir baterías con menor empleo de material activo e igual eficiencia y rendimiento.
- Se encontró relación lineal existente entre la capacidad 20 horas y el porcentaje de Humedad de la Pasta en Placa indicando que el aumento de la humedad de la placa favorece la capacidad 20 horas de la batería.

- Existe relación entre la capacidad 20 horas y la plasticidad de la pasta en la placa positiva de manera lineal, ya que el aumento de la plasticidad es inversamente proporcional a los resultados de capacidad 20 horas obtenidos en este trabajo
- La capacidad 20 horas muestra una tendencia de dependencia con el peso cubico de la pasta en la placa, obteniendo valores altos de capacidad cuando existe mayor densidad de la pasta.
- Existe relación directa entre la humedad de la pasta, la plasticidad de la pasta y el peso cúbico con la prueba de capacidad 20 horas.

RECOMENDACIONES

- Realizar un diseño de experimento multifactorial para estudiar las variables aleatorias (peso cúbico y porcentaje de humedad de la pasta), el cual permita explicar, como estas variables pueden interactuar en paralelo en función de favorecer la respuesta del ensayo de capacidad 20 horas.
- Realizar un estudio del área superficial de las placas que sostienen el material activo positivo, de manera de encontrar el índice óptimo de porosidad con el cual deben producirse para favorecer la interacción entre el electrolito y el material activo positivo.
- Realizar un análisis estadístico de varianza, que permita establecer estadísticamente el porcentaje de confianza de las relaciones obtenidas entre las variables aleatorias y la capacidad 20 horas.
- Evaluar el cambio de los límites de especificación de ingeniería actualmente empleados en la etapa de proceso de empastado de placas expandidas positivas por los establecidos en este trabajo especial con la finalidad de evitar la producción de placas con exceso de material activo.
- Realizar un seguimiento de las causas especiales que pueden llevar al proceso de empastado de placas positivas fuera de control, como las paradas de proceso por mantenimiento y fallas mecánicas, con la finalidad de mantener la capacidad del proceso por largos periodos de tiempo.
- Realizar el ajuste de la Tolva, que permite pasar masa activa a la rejilla para formar la placa positiva, continuamente con la finalidad de evitar el desajuste de la ranura de salida y así producir placas de peso estable.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acumuladores Titán C.A. (2000). *Manual Acumuladores Titán*. Cagua, Edo Aragua. Venezuela.
- Acumuladores Titán C.A. (2001). *Manual de la producción de baterías automotrices*. Cagua, Edo Aragua. Venezuela.
- Allen, K. 1966. *A method of fitting growth curves of the Von Bertalanffy type to observed data*. J. Fish. Res. Bd. Canada pp 163–179.
- Berndt, D. (1993). *“Maintenance-Free Batteries*. Research Studies Press LTD. Somerset.
- Bode H. (1977). *Lead-Acid Batteries*. The Electrochemical Society, INC. New Jersey. USA.
- Díaz, A. (1999). *Diseño Estadístico de Experimentos*. Primera Edición. Colombia. Editorial Universidad de Antioquia-Colombia.
- Díaz, A. (1999). *Diseño Estadístico de Experimentos*. Primera Edición. Colombia. Editorial Universidad de Antioquia-Colombia.
- Farrington D. y Alberty R. *“Fisicoquímica”*. Compañía Editorial Continental S.A. Tercera Edición. México, 1975.
- Kiessling, R. (1992). *Lead Acid Battery Formation Techniques*. Digatron Firing Circuits. USA.
- Montgomery, D. y Runger, G. (2005). *Probabilidad y Estadística Aplicadas a la Ingeniería*. (2ª Edición). México: Editorial Limusa-Wiley.
- Orsino J. (1986). *Lead Oxide As Used In Lead Acid Storage Batteries, Part. One*. The Battery Man. pp 15-21.

- Quintero, G. (2009). *Determinación de los Factores que Influyen en el Rendimiento de Acumuladores Eléctricos Automotrices de Plomo-Acido (caso Acumuladores TITAN, C.A.* Trabajo Especial de Grado. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Industrial. Universidad de Carabobo. Valencia, Edo. Carabobo.
- Rusin, A. (1992). *Composition and Properties Of Lead Pastes*. Batteries International. pp 60.
- Utts, Jessica M. *Seeing Through Statistics*. 3ra Edición, Thomson Brooks/Cole, 2005, pp 166-167.
- Vinal, G. (1955). *Storage Batteries*. John Wiley & Sons, INC. Cuarta Edición. New York, USA.
- Welsh, W. (1999). *Estudio de la influencia del óxido de plomo en los parámetros de rendimiento de las baterías de plomo ácido de uso automotriz*. Trabajo Especial de Grado. Escuela de Ingeniería Química, Universidad Central de Venezuela.

APENDICES

APENDICE A. PROCEDIMIENTO PARA LA CONSTRUCCION DE GRAFICOS DE CONTROL

1. El primer paso para construir gráficos de control por variables, consiste en seleccionar el tamaño de cada subgrupo a estudiar. Usualmente se escoge un tamaño de entre 2 a 5 piezas consecutivas por subgrupo, dependiendo de la continuidad y velocidad de salida de las muestras del proceso. La intención de este paso es identificar cuan alejada esta una pieza con otra en el rango de valores dentro del subgrupo, de manera de visualizar las causas comunes a la variación entre una pieza y otra y así tomar acciones correctivas pertinentes.
2. Se selecciona la frecuencia entre cada subgrupo. La frecuencia de pruebas de cada subgrupo es seleccionada periódicamente, en intervalos recomendados entre 10 y 15 minutos, con la finalidad de detectar cambios en el proceso a través del tiempo.
3. Luego, de seleccionar el tamaño y la frecuencia de los subgrupos, se deberá entonces seleccionar el número de subgrupos a estudiar, buscando satisfacer dos criterios; el primero, recolectar la suficiente cantidad de subgrupos para asegurar la mayor cantidad de fuentes de variación que tienen oportunidad de aparecer. La segunda, es garantizar la repetitividad de los datos. Generalmente, 25 o más subgrupos contienen alrededor de 100 o más lecturas que proporcionan una suficiente estabilidad del proceso para estimar su comportamiento y dispersión.
4. Una vez seleccionada la ventana operacional del estudio, se determinan los parámetros necesarios para calcular los límites de control del grafico, los cuales son; el promedio (\bar{X}) y el rango móvil (R) de cada subgrupo. En conjunto, estos datos reflejan el comportamiento promedio de todo el proceso y su variabilidad. Para cada subgrupo, se calculan estos parámetros de la siguiente manera:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} \quad (7)$$

$$R = X_{mayor} - X_{menor} \quad (8)$$

Donde, X_1, X_2, \dots son valores individuales entre cada subgrupo y n es el tamaño de cada subgrupo.

5. Luego se determina el promedio ($\bar{\bar{X}}$) y rango (\bar{R}) total del proceso empleando las siguientes formulas:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \bar{X}_3 + \dots + \bar{X}_n}{n} \quad (9)$$

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n}{n} \quad (10)$$

6. Se determinan ahora los límites de control en la escala vertical para los dos gráficos; el de promedio y rango móvil de cada subgrupo, esto para mostrar la extensión por la cual el promedio y rango del subgrupo pueden variar si solo causas comunes están presentes. Los límites de control superior (LSC) e inferior (LIC) están confinados por el tamaño de cada subgrupo y la variabilidad reflejada en sus rangos. Para calcular estos límites se emplean las siguientes ecuaciones:

$$LSC_R = D_4 \bar{R} \quad (11)$$

$$LIC_R = D_3 \bar{R} \quad (12)$$

$$LSC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \quad (13)$$

$$LIC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \quad (14)$$

Donde D_4 , D_3 y A_2 son constantes que varían de acuerdo al tamaño del subgrupo, con tamaño del subgrupos de 2 a 10 muestras, como se muestran en la tabla de t-student mostrada a continuación.

- Se grafican los límites de control como líneas solidas horizontales para cada grafico, creándose así una banda limítrofe de los datos promedios por cada subgrupo de muestras.



Table Of Constants and Formulas for Control Charts

Subgroup Size n	\bar{X} and R Charts*				\bar{X} and s Charts*			
	Chart for Averages (X) Factors for Control Limits A ₂	Chart for Ranges (R)		Chart for Averages (X) Factors for Control Limits A ₃	Charts for Standard Deviations (s)		Factors for Control Limits B ₃ B ₄	
		Divisors for Estimate of Standard Deviation d ₂	Factors for Control Limits D ₃ D ₄		Divisors for Estimate of Standard Deviation c ₄	Factors for Control Limits		
2	1.880	1.128	- 3.267	2.659	0.7979	- 3.267		
3	1.023	1.693	- 2.574	1.954	0.8862	- 2.568		
4	0.729	2.059	- 2.282	1.628	0.9213	- 2.266		
5	0.577	2.326	- 2.114	1.427	0.9400	- 2.089		
6	0.483	2.534	- 2.004	1.287	0.9515	0.030	1.970	
7	0.419	2.704	0.076	1.182	0.9594	0.118	1.882	
8	0.373	2.847	0.136	1.864	1.099	0.9650	0.185	1.815
9	0.337	2.970	0.184	1.816	1.032	0.9693	0.239	1.761
10	0.308	3.078	0.223	1.777	0.975	0.9727	0.284	1.716
11	0.285	3.173	0.256	1.744	0.927	0.9754	0.321	1.679
12	0.266	3.258	0.283	1.717	0.886	0.9776	0.354	1.646
13	0.249	3.336	0.307	1.693	0.850	0.9794	0.382	1.618
14	0.235	3.407	0.328	1.672	0.817	0.9810	0.406	1.594
15	0.223	3.472	0.347	1.653	0.789	0.9823	0.428	1.572
16	0.212	3.532	0.363	1.637	0.763	0.9835	0.448	1.552
17	0.203	3.588	0.378	1.622	0.739	0.9845	0.466	1.534
18	0.194	3.640	0.391	1.608	0.718	0.9854	0.482	1.518
19	0.187	3.689	0.403	1.597	0.698	0.9862	0.497	1.503
20	0.180	3.735	0.415	1.585	0.680	0.9869	0.510	1.490
21	0.173	3.778	0.425	1.575	0.663	0.9876	0.523	1.477
22	0.167	3.819	0.434	1.566	0.647	0.9882	0.534	1.466
23	0.162	3.858	0.443	1.557	0.633	0.9887	0.545	1.455
24	0.157	3.895	0.451	1.548	0.619	0.9892	0.555	1.445
25	0.153	3.931	0.459	1.541	0.606	0.9896	0.565	1.435

$$\begin{aligned}
 UCL_{\bar{X}}, LCL_{\bar{X}} &= \bar{X} \pm A_2\bar{R} \\
 UCL_R &= D_4\bar{R} \\
 LCL_R &= D_3\bar{R} \\
 \hat{\sigma} &= \bar{R}/d_2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 UCL_{\bar{X}}, LCL_{\bar{X}} &= \bar{X} \pm A_3\bar{s} \\
 UCL_s &= B_4\bar{s} \\
 LCL_s &= B_3\bar{s} \\
 \hat{\sigma} &= \bar{s}/c_4
 \end{aligned}$$

* From ASTM publication STP-15D, *Manual on the Presentation of Data and Control Chart Analysis*, 1976; pp 134-136. Copyright ASTM, 1916 Race Street, Philadelphia, Pennsylvania 19103. Reprinted, with permission.

Figura A.1 Tabla de t-sudent. Proporciona constantes numéricas para realizar gráficos de control

APENDICE B. MANUAL DE PROCEDIMIENTO PARA ELABORACION DE PLACAS A PARTIR DE REJILLAS EXPANDIDAS.

B.1. Objetivo:

Esta norma tiene por objeto describir las etapas del proceso de fabricación de placas expandidas.

B.2. Herramientas:

B.2.1. Espátula.

B.2.2. Cepillo cerdas de alambre.

B.2.3. Cuchillo.

B.3. Materiales:

B.3.1. Bobinas positivas o negativas.

B.3.2. Refrigerante Lubricante (Taladrina).

B.3.3. Pasta positiva o negativa.

B.3.4. Papel para placas.

B.3.5. Separadores de Madera para placas.

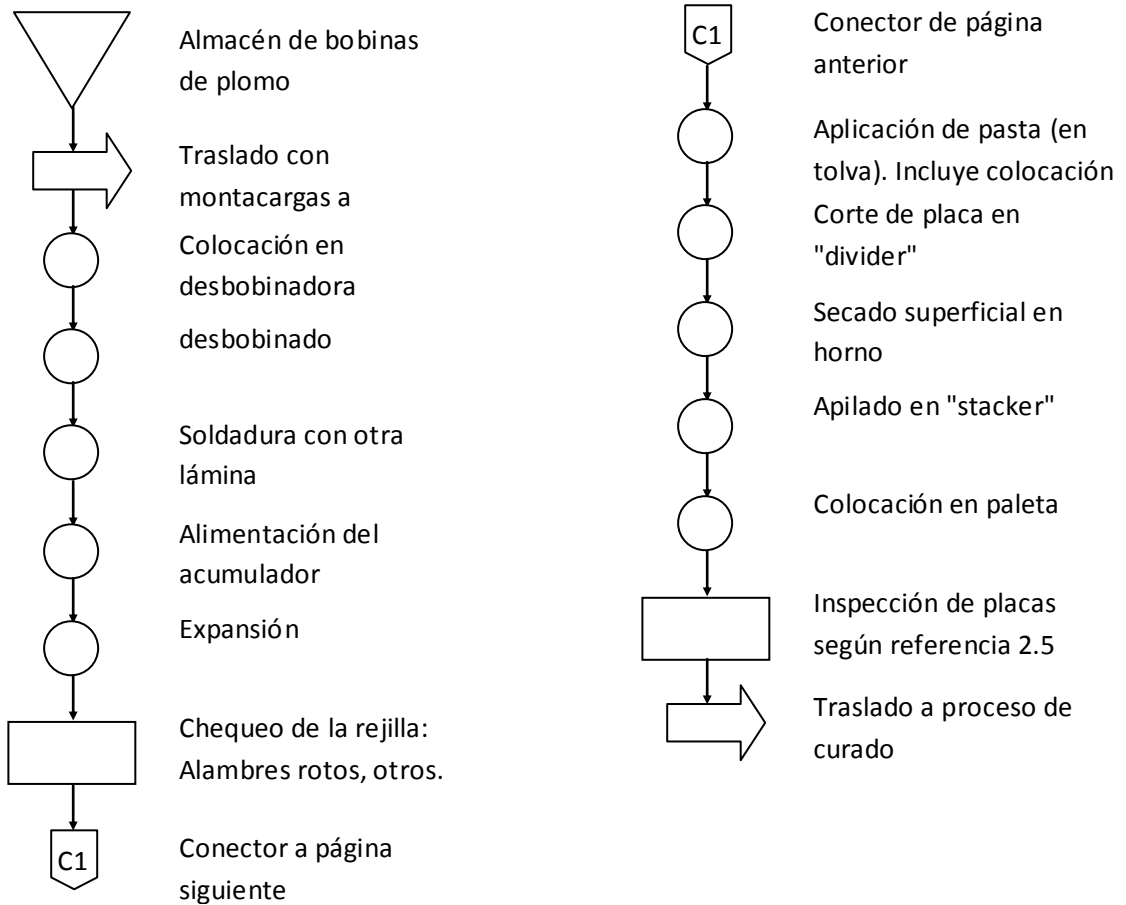
B.4. Principio básico de funcionamiento.

La elaboración de placas expandidas se realiza a partir de dos materiales: La lámina (positiva o negativa) y la pasta (positiva o negativa). El sistema Sovema es capaz de fabricar tres tipos de placas distintas: Modelo VC, modelo MC y modelo SC (Ver referencia 2.5). Sin embargo el modelo MC se produce muy rara vez.

Para fabricar la placa en primer lugar se elabora la rejilla en el expansor. Esta parte de la máquina expande la lámina con la ayuda de un sistema de dientes que perforan y generan la malla de la rejilla. Luego se aplica la pasta en la tolva mediante un sistema que empuja el material sobre la rejilla, para posteriormente pasar por el

"divider", que es el sistema que corta la franja de placas en placas individuales. El siguiente paso es secar la superficie de la placa con el horno de secado superficial, para posteriormente apilar las placas en el "stacker".

B.5. Diagrama de flujo de la operación



APENDICE C. ENSAYOS DE LABORATORIO PARA ESTUDIO DE VARIABLES ALEATORIAS.

C.1. Ensayo de Absorción de Ácido

C.1.1. Objetivo:

Esta norma tiene por objeto establecer el método de análisis a seguir para la determinación de la absorción de ácido sulfúrico en el óxido de plomo.

C.1.2. Alcance:

Este método contempla los procedimientos a seguir para la determinación de la absorción del ácido sulfúrico en el óxido de plomo.

C.1.3. Fundamento del Método:

Titulación del ácido no consumido por la muestra durante el ensayo con una solución estándar de hidróxido de sodio.

C.1.4. Equipos e Instrumentos:

C.1.4.1. Balanza Analítica.

C.1.4.2. Fleaker

C.1.4.3. Tapones de goma N° 8

C.1.4.4. Pipetas volumétricas de 10 ml

C.1.4.5. Bureta de 50 ml

C.1.4.6. Thumbler (aparato especial para mezclar la muestra y reactivos durante 10 minutos, a 32 ± 1 °C)

C.1.4.7. Termómetro de 100 °C con apreciación a 1 °C.

C.1.5. Materiales o Reactivos:

C.1.5.1. Ácido sulfúrico de 1.100 G.E. A 27 °C

C.1.5.2. Hidróxido de sodio solución 1.0 N

C.1.5.3. Fenolftaleína indicador al 0.5%

C.1.6. Preparación de la Muestra:

Ninguna.

C.1.7. Condiciones de Ensayo:

El ensayo se debe realizar en el laboratorio bajo condiciones normales.

C.1.8. Medidas de Seguridad:

Utilice la bata de laboratorio y guantes de goma, como equipos de protección personal.

C.1.9. Pasos:

C.1.9.1. Caliente 100 ml de ácido sulfúrico de 1.100 g.e. a 32 ± 1 °C en un Erlenmeyer de 500 ml.

C.1.9.2. Pese exactamente 50 gr. de muestra y agréguelos lentamente al ácido

C.1.9.3. Tape el elenmeyer y agite fuertemente el contenido para desbaratar las bolsas de óxido que se haya formado.

C.1.9.4. Coloque inmediatamente el elenmeyer en el thumblor y comience a mezclar por 10 minutos, a 32 ± 1 °C.

C.1.9.5. Retire el Erlenmeyer del mezclador y deje sedimentar por espacio de 2 minutos aproximadamente.

C.1.9.6. Destape el Erlenmeyer y filtre a través del filtro Whatman n°. 1.

C.1.9.7. Tome 5 ml de filtrado y titúlelos con una solución 1N de hidróxido de sodio utilizando fenolftaleína como indicador hasta que un color rosa aparezca en el punto final de la titulación.

C.1.9.8. Haga un ensayo en blanco del ácido sulfúrico 1.100 GE.

C.1.10. Expresión de los Resultados:

$$(X - Y) \times N \times 19.6160 = \text{mg H}_2\text{SO}_4 / \text{gr. óxido}$$

Donde:

X = ml de NaOH gastados en el ensayo en blanco.

Y = ml de NaOH gastados en la titulación de la muestra.

N = Normalidad del Hidróxido de sodio.

C.2 Ensayo de Plomo Libre

C.2.1. Objetivo:

Esta norma tiene por objeto establecer el método de análisis a seguir en la determinación del Contenido de plomo libre en oxido de plomo para acumuladores.

C.2.2. Alcance:

Esta norma contempla los procedimientos requeridos para efectuar la determinación del contenido del plomo libre en oxido de plomo para acumuladores.

C.2.3. Fundamento del Método

Este método se basa en la propiedad del ácido acético de reaccionar con el monóxido de plomo para formar acetato de plomo en solución, el plomo metálico sedimenta y se separa por decantación.

C.2.4. Equipos e Instrumentos:

- 4.1.- Balanza Analítica.
- 4.2.- Cilindro Graduado de 50 ml.
- 4.3.- Erlenmeyer de 250 ml.
- 4.4.- Plato.
- 4.5.- Campana extractora de vapores.
- 4.6.- Varilla agitadora de vidrio.
- 4.7.- Espátula

C.2.5. Materiales o Reactivos:

- 5.1.- Acido Acético Glacial p.a (99.7%)
- 5.2.- Agua destilada.

C.2.6. Preparación de la Muestra:

Ninguna.

C.2.7. Condiciones de Ensayo:

Se suministra calor con el plato calentante a la muestra.

C.2.8. Medidas de Seguridad:

Use mascarilla al manejar ácido acético.

C.2.9. Pasos:

- 9.1.- Pese exactamente 10 gr de muestra en balanza analítica.
- 9.2.- Transfiera la muestra pesada a un elemmeyer de 250 ml.
- 9.3.- Añada 20 ml de agua destilada y mezcle perfectamente hasta que toda la muestra se haya humedecido.
- 9.4.- Añada 30 ml de ácido acético y con agitación vigorosa.
- 9.5.- Decante el ácido, lave la masa de plomo con agua de chorro y enjuague con agua destilada 3 veces y finalmente compacte la masa.
- 9.6.- Seque la masa de plomo en una estufa a (145 – 150) °C por 20 minutos.
Posteriormente se deja reposar la masa de plomo hasta que alcance la temperatura ambiente.
- 9.7.- Pese la masa de plomo.

C.2.10. Expresión de los Resultados:

Multiplique el peso del plomo seco por 10 y obtenga el % de plomo libre en la muestra.

Para muestras diferentes a 10 gramos se obtiene:

$$\% \text{ Plomo Libre} = \frac{\text{Peso de Plomo libre} \times 100}{\text{Peso de la muestra}}$$

C.3 Ensayo de Porcentaje de Humedad de la Pasta.

C.3.1 Objetivo:

Esta norma tiene por objeto, establecer los pasos a seguir para la determinación de contenido de humedad en placas para acumuladores.

C.3.2. Alcance:

Esta norma contempla los procedimientos a seguir para la determinación de humedad en las placas para acumuladores.

C.3.2.1. Referencias:

Esta norma es completa.

C.3.2.2. Fundamento del Método:

Determinación de la humedad por diferencia de peso.

C.3.2.3. Equipos:

C.3.2.3.1. Balanza, Determinación de la Humedad, apreciación de 0.1 gr.

C.3.2.3.2. Platillo de aluminio (desechable)

C.3.2.3.3. Vidrio de reloj

C.3.2.3.4. Espátula

C.3.2.4. reparación de la Muestra:

Ninguna.

C.3.2.5. Condiciones de Ensayo:

El ensayo se realiza en planta y a la salida de la maquina, para evitar la pérdida de humedad y no obtener resultados erróneos.

C.3.2.6. Medidas de Seguridad:

Utilice bata, guantes de tela y mascarilla, como equipos de protección personal

Pasos:

C.3.2.6.1. Desempaste con la espátula una de las dos placas hechas un muestreo a la salida del horno coloque sobre el platillo de aluminio las partículas más pequeñas del material activo.

C.3.2.6.2. Suba la capucha secante de la balanza.

C.3.2.6.3. Pese 10 gr de muestra en la balanza determinador de humedad de $\pm 0,01$ gr de exactitud extienda la muestra sobre el platillo de aluminio previamente tapado para obtener un mejor resultado.

C.3.2.6.4. Baje la capucha secante del determinador de humedad y pulse el botón “Start”, para iniciar el ensayo por 10 min a 160°C.

C.3.2.6.5. Luego de transcurrido los 10 min el determinador de humedad corta automáticamente el calentamiento por la resistencia y queda fijado en el “display” o pantalla, el porcentaje final de humedad.

C.3.2.6.6. Expresión de los Resultados:

Tome como resultado el porcentaje de humedad de la muestra de la ultima lectura en el “display” o pantalla del determinador de humedad.

C.3.2.6.7. Formulario de Registro de Resultado:

Expresé los resultados obtenidos, en la gráfica de control por variables (X – R).

C.3.2.6.8. Figura y equipos:

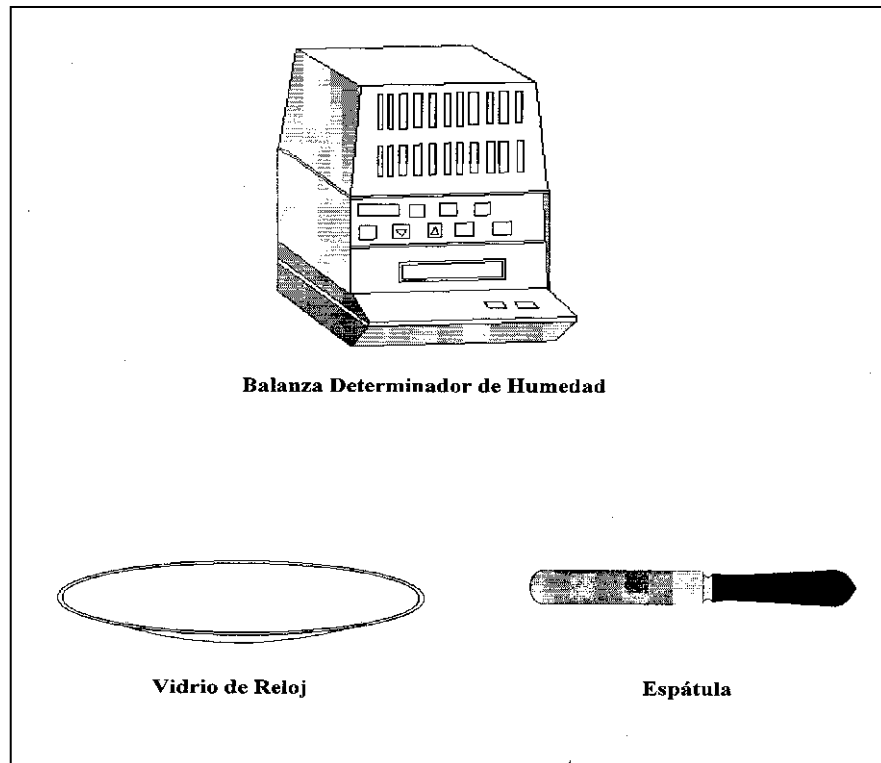


Figura C.1: equipos para ensayo de Porcentaje de humedad de la Pasta.

C.4 Ensayo de Peso Cubico

C.1. Objetivo:

Esta norma tiene por objeto, establecer el método de ensayo para la medición del peso cubico en pasta para acumuladores.

C.2. Alcance:

Este método contempla los procedimientos a seguir para efectuar la medición del peso cubico en pasta para acumuladores.

C.3. Fundamento del Método:

Consiste en la medición del peso de la pasta de material activo que ocupa el volumen de 4 pulg³ de una copa de teflon aforada.

C.4. Equipo de Instrumento:

C.4.1. Copa de teflon para o peso cubico.

C.4.2. Balanza electrónica de apreciación 0.1 gr

C.4.3. Vibrador con “tinner”

C.4.4. Espátula

C.5. Materiales y Reactivos:

Ninguno.

C.6. Preparación o Conservación de la Muestra:

Ninguna

C.7. Condiciones de Ensayo:

C.7.1. Este ensayo se debe realizar en planta.

C.7.2. Tome la muestra al finalizar inmediatamente la operación de mezclado y separe.

C.8. Medidas de Seguridad:

8.1. Utilizar mascarilla.

8.2. Guantes de goma o de tela.

8.3. Evitar el contacto de la piel con la pasta.

C.9. Pasos:

C.9.1. Verifique el cero de la balanza, la balanza debe estar calibrada.

C.9.2. Coloque la copa sobre el plato de la balanza y tare.

C.9.3. Tome la copa y colme con la muestra o pasta.

C.9.4. Coloque la copa mas la muestra en el vibrador y encienda el vibrador por 1 minuto.

C.9.5. Apague el vibrador y retire la copa.

C.9.6. Con la espátula, retire el exceso de peso.

C.9.7. Pese la copa mas la muestra y anote el peso (Po).

C.9.8. Retire la pasta de la copa y límpiela para el próximo ensayo

C.10. Expresión de los Resultados:

$$\frac{Pc - (Pc + PP)}{Fc} = PCub$$

Donde:

PC = Peso Copa

Pp = Peso de la Plata.

F.c. = Factor Cúbico de la Copa.

Pcub= Peso Cúbico

APENDICE D. MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN BATERIAS PARA PRUEBAS ESPECIALES

D.1. Objetivo:

El presente manual tiene por objeto establecer las condiciones operativas recomendadas para elaboración de baterías destinadas a ensayos eléctricos de calidad, de modelo tipo 22MR-800.

D.2. Condiciones Generales:

Para la elaboración de baterías para pruebas especiales, se requiere prestar atención a las normas establecidas en la empresa actualmente, sin embargo este manual permite resaltar condiciones adicionales que deben ser tomadas en cuenta al momento de realizar las baterías de prueba.

D.3. Puntos importantes de revisión en pruebas especiales:

D.3.1 *Fundición y Laminación:* en estos procesos se deben revisar los siguientes puntos.

D.3.1.1 *Contenido de Calcio en la Aleación*: se recomienda que la cantidad de calcio presente en la aleación se encuentre entre el rango medio y el valor inferior de la especificación. Esto para prevenir problemas de crecimiento de rejilla en los ciclos S.A.E.

D.3.1.2 *Contenido de Taladrina en Laminación y Expansión*: Se debe tomar una muestra de la rejilla expandida y medir el contenido de aceite, el cual debe estar dentro de especificación, para evitar el desprendimiento prematuro de la masa activa durante los ensayos.

D.3.1.3 *Alambres rotos en la rejilla*: Las rejillas utilizadas para ensayos especiales no deben presentar alambres rotos, ya que estos ocasionan un incremento de la resistencia eléctrica del producto.

D.3.2 *Revisión del Plomo Libre en Empastado*: el plomo libre en empastado debe estar en el rango de 26 a 30% para placas positivas. En placas negativas se puede emplear en el rango de 24 a 30%. Este debe ser chequeado antes de realizar al mezclado de la pasta. Esta cantidad de plomo libre garantizara la presencia de suficiente reactivo (plomo metálico) durante el proceso de curado.

D.3.3 *Tiempo transcurrido desde la preparación de la pasta hasta el empastado de placas*. Este tiempo bajo ninguna circunstancia debe ser mayor a una hora, para garantizar suficiente cantidad de plomo libre en las placas durante el proceso de curado.

D.3.4 *Almacenaje de placas antes de curar*: la paleta de placas sin curar no debe presentar un tiempo mayor a cuarenta minutos (40 minutos) antes de entrar a la cámara de curado, para que la reacción de curación no ocurra fuera de la cámara.

D.3.5 *Curación*: el o los lotes de placas a estudiar debe ser de los últimos que entren al horno. Se recomienda que estén entre las últimas 3 paletas que entren en la cámara de curado respectiva, ya que las últimas paletas son las que mejor se curan. Adicionalmente la cámara debe operar totalmente llena, debido a que si no se completan las placas en el horno, la operación de la cámara y por ende el curado no serán de todo satisfactorios.

D.3.6 *Armado de grupos*: para cada modelo de baterías se cuenta con una cantidad de placas positivas y negativas por celda. Para el caso de la batería en estudio se necesitan siete (7) placas positivas por grupo y 6 placas negativas por grupo hasta formar 6 grupos totales. En general, la batería modelo 22MR-800, requiere de 42 placas positivas y 36 placas negativas para ser armada completamente. Al momento de armar estos grupos, se debe tener los siguientes cuidados especiales:

D.3.6.1. *Cuadre separador-placa*: se debe tomar una placa ensobrada, y cuidando de no mover la placa dentro del sobre, abrir la costura. En este momento se debe observar el centrado de la placa dentro del sobre. Si la placa está movida (recostada) sobre alguno de los lados, no se debe realizar la prueba hasta ajustar, ya que se corre el riesgo que los satélites muerdan la placa y se creen micro cortos.

D.3.6.2. *Doblez inferior del separador*: la parte inferior del separador no debe quedar doblada como un sobre (con una marca oscura en la línea recta en el punto del doblado) sino que debe quedar como una bolsa (sin tensión en el área inferior), ya que la tensión puede ocasionar la rotura del sobre y posterior falla del producto.

D.3.7 *Soldadura de los grupos*: este es un punto clave, ya que si no se tiene especial cuidado al momento de soldar los grupos, las muestras pueden fallar en las pruebas y ensayos de laboratorio por fuga por causa de fallas en la soldadura. Es por lo anterior que en esta etapa se deben tener las siguientes consideraciones.

D.3.7.1. *Fundente*: el fundente de la máquina de soldadura debe ser cambiado, para garantizar la ausencia de impurezas en la batería. El fundente en algunos casos puede ocasionar impurezas que causen la oxidación del separador en la prueba de ciclos S.A.E. y C20.

D.3.7.2. *Ajuste de los cepillos de las orejas y aplicación del fundente*: estos dos cepillos deben funcionar adecuadamente, cepillando y aplicando fundente a la mayor superficie de las orejas, pero sin tocar el separador, ya que cualquiera de los elementos (cepillo de alambre y fundente) causan el debilitamiento del separador.

D.3.7.3. *Continuidad operativa de la maquina*: al momento de realizar la prueba, la maquina debe tener al menos media hora operando previamente con el mismo modelo, pero con baterías de producción normal. En ese tiempo se verifica la correcta operación de la maquina, y si no es así, deben realizarse los ajustes correspondientes para evitar que las muestras de la prueba presente algún problema de fabricación.

D.3.7.4. *Temperaturas*: el perfil de temperatura en la maquina debe ser lo más alto posible. Se recomienda que la temperatura del molde siempre sea mayor a 130 °C. Esto garantizará una buena soldadura, pero esta condición no puede permanecer por un tiempo prolongado, ya que los postes tienden a partirse por el exceso de temperatura.

D.3.7.5. *Penetración*: la penetración debe ser ajustada como siempre. Sin embargo, antes de correr la prueba, debe ser tomada una muestra de las baterías de producción normal y partir algunas bandas al azar. Con ello se observara de manera precisa la penetración real de las bandas en las placas.

D.3.8 *Inspección del 100% de los grupos soldados*: una vez soldados los grupos, se deben inspeccionar sacándolos de las cajas. En ellos se debe revisar posibles causas de falla; placas desprendibles, separadores rotos, quemados o que les haya caído fundente, rebabas de plomo de la banda, bandas delgadas, placas dobladas, u otros defectos. Se debe tener especial cuidado de no invertir los grupos al momento de hacer esta inspección.

D.3.9 *Inspección de soldadura TTP*: se debe romper la soldadura TTP de la batería inmediatamente anterior a la de la prueba, para comprobar la adecuada soldadura del producto. Una vez verificado esto, se debe pasar la batería de prueba.

D.3.10 . *Sellado Térmico*: aquí no se requiere ninguna previsión especial, sin embargo, si alguna de las baterías de prueba sale con fugas, no debe ser rechazada, ya que la misma se puede emplear para los ensayos eléctricos, sobre los cuales la fuga no presenta ninguna influencia.

D.3.11 *Carga y Acabado Final*: la carga del producto debe ser la misma utilizada en la producción habitual. En este caso se debe garantizar que la piscina de agua funcione adecuadamente, para evitar el sobrecalentamiento durante la formación. Se debe revisar el estado de las puntas de los cargadores, para evitar que la serie sea cargada invertida, y los cables deben tener un ajuste apropiado, para evitar que se dañen muestras por chispazos ocasionados por el paso de la corriente con un

contacto inadecuado. En el area de cavado final deben tomarse las lecturas del amperaje del VRL, por si son requeridas.

APENDICE E. MANUAL DE PROCEDIMIENTO PARA ENSAYO DE CAPACIDAD NOMINAL BAJO REGIMEN 20 HORAS.

Mediante este ensayo se determina la capacidad indicada por el fabricante, expresada en Amperios por hora (Ah), resultante de someter al acumulador a una descarga continua, de acuerdo a una intensidad de corriente constante durante veinte (20) horas, hasta un voltaje mínimo especificado.

E.1. Equipos e instrumentos

E.1.1 Cargador de acumuladores eléctrico,

E.1.2 Densímetro con apreciación máxima de $\pm 0,005$,

E.1.3 Termómetro con exactitud ± 1 °C,

E.1.4 Descargador de intensidad constante con exactitud de $\pm 0,05$ V y con relación a la corriente una exactitud de $\pm 1\%$ A.

E.2. Procedimiento

E.2.1 Cargar la muestra a ensayar al 1% de su rendimiento, con la finalidad de asegurar su completa carga, una vez culminado el proceso de formación.

E.2.2 Descargar la muestra en ensayo a una intensidad constante de 2,5A en este caso, equivalente a la capacidad nominal (50 Ah) dividida entre 20h, hasta un voltaje de 1,75 V por celda, lo que corresponde a 10,5 V en todo el acumulador, a una temperatura de 27 ± 3 °C.

E.2.3 Registrar el tiempo que tarda en alcanzarse esta condición.

E.2.4 Multiplicar el número de horas transcurridas por la intensidad de corriente obtenida y a este resultado se le denomina capacidad en Ah.

E.2.5 Repetir los pasos anteriores hasta (3) tres veces en caso que no se alcance el requisito al primer intento.

E.2.6 Se registra el mayor valor de capacidad como resultado del ensayo

E.3. Expresión de los resultados.

La Capacidad de Nominal 20 horas, es expresa en Ah, de acuerdo a la intensidad de corriente y al tiempo durante el cual transcurre la descarga hasta alcanzar la condición

APENDICE F. CALCULOS TIPOS.

La siguiente descripción de ecuaciones, representa la secuencia de cálculos que debieron ser realizados para determinar la capacidad de cada corrida de placas bajo control de peso, destinadas a la elaboración de baterías objeto de análisis, las cuales serían ensayadas eléctricamente.

El ejemplo descrito a continuación, pertenece a la primera corrida bajo control de peso de lado derecho.

F.1. Secuencia de cálculos para realizar el índice de capacidad de un proceso, C_{pk} .

1. Luego de obtener los pesos de placas correspondientes al canal derecho (25 grupos de placas, 3 placas por grupo), se calcula el promedio de peso de cada grupo, como se muestra a continuación

$$Xm_{subgrupo} = \frac{Pp1 + Pp2 + Pp3}{3} = 116.4 \text{ gr} \quad (15)$$

Donde:

Xm_{grupo} : Promedio de peso de placa expresado en gramos por cada subgrupo de placas estudiado.

$Pp1$: Peso de la primera placa tomada del lado derecho.

$Pp2$: Peso de la segunda placa tomada del lado derecho.

$Pp3$: Peso de la tercera placa tomada del lado derecho.

Nota: Este cálculo fue realizado para 25 subgrupos de placas, donde cada grupo posee tres placas.

2. Cálculo de media de los grupos totales.

$$\begin{aligned} Xm_{proceso} &= \frac{Xm1 + Xm2 + \dots + Xm25}{25} = \frac{116.4 + 118.5 + \dots + 116.3}{25} \\ &= 116.9 \text{ gr} \end{aligned} \quad (16)$$

Donde:

$Xm_{proceso}$: Es la media general del proceso en gramos.

Xm1: Promedio de peso del primer subgrupo de placas tomado en gramos.

3. Cálculo de Rango de cada subgrupo.

Este valor es calculado para verificar la desviación de peso que existe entre el mayor valor de peso de placa y el menor.

$$Rm \text{ subgrupo} = \frac{PpM - Ppm}{2} = \frac{116.6gr - 116.1gr}{2} = 0.5gr \quad (17)$$

Donde:

Rm subgrupo: Rango móvil de peso dentro del grupo expresado en gramos [gr].

PpM: Peso de placa mayor dentro del subgrupo expresado en gramos [gr].

Ppm: Peso de placa menor dentro del subgrupo expresado en gramos [gr].

4. Cálculo de rango promedio o desviación promedio de peso de placa en el proceso.

$$Rm \text{ proceso} = \frac{Rm1 + Rm2 + \dots + Rm25}{25} = \frac{0.5gr + 0.6gr + \dots + 1.1gr}{25} = 0.83gr \quad (18)$$

Donde:

Rm1: rango móvil del primer grupo de placas expresados en gramos [gr].

Rm2: rango móvil del segundo grupo de placas expresados en gramos [gr].

5. Desviación estándar de proceso de empastado de placas para el cálculo de índice de capacidad del proceso.

$$\sigma = d2 * Rm = 1.69 * 0.5gr = 0.49 \quad (19)$$

Donde:

Rm: Rango móvil del peso de placa general del proceso, expresado en gramos [gr]

D2: Valor divisor para estimar la desviación estándar para cálculo de índice de capacidad (Cpk), cuando el tamaño de subgrupo es de 3 muestras.

6. Cálculo de la Desviación estándar de la población.

$$\sigma s = \sqrt{\frac{Xm - n}{n - 1}} = \sqrt{\frac{116.9 - 3}{3 - 1}} = 1.40 \quad (20)$$

Donde:

σ : Desviación estándar de la población adimensional.

X_m : Media de peso del grupo.

N : tamaño del subgrupo.

7. Valores de capacidad del proceso actual.

$$ZLSC = \frac{LSCE - X_m}{\sigma} = 8.37 \quad (21)$$

Donde:

ZLSC: Valor bilateral Z correspondiente al límite superior de control de peso de placa.

LSCE: Limite superior de control de especificación empleado hasta el momento.

X_m : Media de peso de la población.

σ : Desviación estándar de la población adimensional.

$$ZLIC = \frac{X_m - LICE}{\sigma} = \frac{116.9gr - 109gr}{0.49} = 16.0 \quad (21)$$

Donde:

ZLIC: Valor bilateral Z correspondiente al límite inferior de placa de especificación.

LICE: Limite inferior de peso de placa de especificación empleado hasta el momento en las instalaciones de la planta.

Ahora se toma el menor valor entre ZLIC y ZLSC. Con este valor se halla el índice de capacidad Cpk.

$$Cpk = \frac{Z_{min}}{n} = \frac{8.37}{3} = 2.79 \quad (22)$$

Donde:Cpk: Índice de Capacidad del proceso de empastado de placas positivas de la primera corrida de placas, perteneciente al estudio derecho.

GLOSARIO

Ácido Sulfúrico: Ácido que se produce disolviendo trióxido de azufre en agua.

Agua Desmineralizada: Agua, la cual ha sido tratada para separarla totalmente los sólidos contenidos; quedando libre de minerales.

Aleación plomo–calcio: Aleación cuyo aleante principal es el calcio, en una proporción entre 0,07 y 0,11%. El calcio actúa como un agente endurecedor, disminuye la resistividad de la rejilla y por no poseer antimonio, disminuye la gasificación y por ende el consumo de agua. Por otro lado, el calcio reacciona súbitamente con el oxígeno, siendo necesario mayores precauciones al fundir esta aleación. Al perderse el aleante calcio por oxidación, el plomo restante queda eventualmente puro, no logrando así las propiedades mecánicas deseadas.

Aleatoriedad: Es un campo de definición que se asocia a todo proceso cuyo resultado no es previsible más que en razón de la intervención del azar.

Ampér o Ampério (A): Unidad de corriente eléctrica.

Ampér–hora (A·h): Unidad de cantidad eléctrica equivalente a un régimen de un Ampér durante una hora.

Autodescarga: Descarga que tiene lugar mientras el acumulador se encuentra en circuito abierto.

Batería: Acumulador con polo positivo y negativo cargado eléctricamente para darle el encendido al vehículo.

Caja: Es el recipiente que contiene las placas y el electrolito de un elemento o elementos en el acumulador (Batería).

Capacidad: Cantidad de electricidad producida por un acumulador, por lo general se expresa en términos de Amperes-hora.

Capacidad nominal 20 horas: Es la capacidad expresada en amperios por horas (A·h) resultante de someter al acumulador a una descarga de acuerdo a un régimen de 20 horas.

Carga: Proceso en el cual un flujo de corriente directa, es avisado desde una fuente externa a un acumulador y en dirección opuesta al flujo natural de corriente del mismo formándose los elementos activos de la batería.

Cargador: Equipo capaz de suministrar energía eléctrica en forma continua.

Carga seca: Es el proceso de formación o carga de placas positivas y negativas (estas conectadas en paralelo dentro de una casettera) en medio inundado con electrolito, las casetteras, a su vez, están sumergidas en tanques plásticos conectados en serie entre ellos.

Celda: Unidad individual de un acumulador que consiste en el electrolito, el elemento y el contenedor.

Circuito abierto: Interrupción del sistema interno de la batería para la conducción de electricidad. Ocurre entre celdas continuas o en los postes.

Conectores: Platina de cobre emplomada cuya función es servir de conexión entre las celdas. Pieza moldeada con aleación de plomo utilizada para la conexión entre celdas para las baterías a recombinación de gases.

Corriente: Régimen de flujo de electricidad expresado en Amperes (A).

Curado: Proceso controlado de secado de placas empastadas, en el cual se busca obtener un nivel de plomo libre inferior al 2%, y de humedad al 1%. Este proceso en particular, llamado hidrofijación, hace que las placas sean lo suficientemente rígidas para ser manipuladas.

Densidad: Peso de una sustancia por unidad de volumen, por lo general en gramos por centímetro cúbico.

Descarga: Flujo de electricidad de un acumulador a través de un circuito, lo opuesto de una carga.

Desviación estándar: es una medida del grado de dispersión de los datos del valor promedio.

Dióxido de plomo (PbO₂): Un mayor óxido de plomo presente en las placas positivas cargadas. A veces se le llama peróxido de plomo.

Distribución normal (Distribución de Gauss): Es la distribución de probabilidad que con más frecuencia que aparece en la estadística y teoría de probabilidades y se debe a dos razones. Su función de densidad es simétrica y con forma de campana, lo que favorece su aplicación como modelo a gran número de variables estadísticas. Es, además, límite de otras distribuciones y aparece relacionada con multitud de resultados ligados a la teoría de las probabilidades gracias a sus propiedades matemáticas.

Electrólito: Toda sustancia capaz de disociarse en dos o más iones cuando es disuelta en agua. La solución de electrólito conduce electricidad y es descompuesta por esta. En la industria de la batería, el electrólito implica una solución diluida de ácido sulfúrico, la cual provee de agua y sulfato a la reacción electroquímica que origina dentro de una batería.

Empastado: Operación de aplicación de la pasta a las rejillas.

Empastadora: Equipo en el cual se le añade pasta a las rejillas, obteniendo placas.

Envejecimiento: Es el período de reposo que posee una aleación metálica para lograr las propiedades mecánicas deseadas. Con este período de envejecimiento las rejillas alcanzan una mayor dureza, condición primordial para un buen empastado de las mismas.

Espesor nominal: Es el espesor de la rejilla, expresado en milésima de pulgadas y es la referencia de la empresa.

Estadística: Es una ciencia matemática referente a la recolección, análisis e interpretación de datos, y que busca explicar condiciones regulares en fenómenos de tipo aleatorio.

Expansor (Expander): Aditivo de color negro agregado a la pasta negativa, cuya función es de incrementar la capacidad de descarga a baja temperatura, régimen alto y prolongar la vida útil de la placa negativa. La de la pasta negativa su color característico.

Fibra: Material sintético en forma de pelusa recta, de color blanco perlado y de 0,32 mm (1/8") de longitud.

Grupos armados: Es un conjunto de placas positivas y negativas dispuestas de manera alternada e intercalada por separadores.

Homocedasticidad: Es una propiedad fundamental del modelo de regresión lineal general y está dentro de sus supuestos clásicos básicos. Se dice que hay homocedasticidad cuando la varianza de los errores estocásticos de la regresión son los mismos para cada observación i .

Incertidumbre: Es la característica asociada al resultado de una medición, que define el espacio bidireccional centrado en el valor ofrecido por el instrumento de medida, dentro del cual se encuentra con una determinada probabilidad estadística el valor medido.

Libre de mantenimiento: Término aplicado a los acumuladores que requieren poco o nada de mantenimiento durante su vida útil.

Llenadora de baterías: Máquina que suministra el ácido o electrólito a la batería.

Material activo: Es la pasta contenida en la placa y la que almacena la energía electroquímica.

Media: Es el promedio de un conjunto de números.

Óxido de plomo: Mezcla de monóxido de plomo (PbO) y plomo metálico, ambos en forma de polvo finamente dividido. Su color varía entre el verde grisáceo y el ocre claro, dependiendo del porcentaje de plomo libre y de las formas cristalográficas de plomo presentes.

Óxido de plomo rojo (Minio); Tetra-óxido de plomo (Pb₃O₄): Polvo de color rojo brillante, usado como material activo en placas positivas para placas tubulares de baterías industriales.

Placa: Rejilla empastada (la pasta o material activo puede ser positivo o negativo).

Placas positivas: Son rejillas empastadas con pasta positiva.

Placas negativas: Son rejillas empastadas con pasta negativa.

Pasta positiva: Mezcla homogénea de óxido de plomo, ácido sulfúrico, agua desmineralizada y fibra sintética.

Pasta negativa: Mezcla homogénea de óxido de plomo, ácido sulfúrico, agua desmineralizada, fibra sintética y expansor.

Plomo: Elemento metálico que se encuentra en las placas negativas cargadas.

Prueba análisis de varianza (ANOVA): Es una prueba estadística paramétrica que tiene como función comparar si los valores de un conjunto de datos numéricos son significativamente distintos a los valores de otro o más conjuntos de datos.

Rejilla: Pieza de aleación de plomo en forma de malla, utilizada como soporte del material activo y como conductor de la corriente.

Resina epóxica: Compuesto orgánico de aspecto viscoso que constituye el ingrediente activo del pegamento.

Secado: Eliminación de agua de las placas empastadas.

Separador de fibra vidrio: Material colocado entre las placas de polaridad opuestas, con el fin de evitar cortocircuitos internos en la baterías, fabricado a base de fibra de vidrio. El material debe también permitir que pase la corriente.

Succión: Proceso de extracción del exceso del electrólito una vez formada la batería.

Sulfatación: Formación de sulfato de plomo en las placas, con propiedades físicas tales, que es extremadamente difícil, sino imposible, reconvertirlo a material activo.

Sulfato de plomo (PbSO₄): Compuesto de plomo formado por la acción de ácido sulfúrico sobre los óxidos de plomo durante la preparación de la pasta y la formación. También se forma electroquímicamente al descargarse un acumulador de plomo ácido.

Tapa: Es la pieza con la que se cubre cada una de las celdas o el conjunto de las mismas en la caja.

Tapón: Pieza de polipropileno que se usa para tapar los orificios de llenado de las tapas de los acumuladores, con el fin de evitar fuga de electrolito y condensar los gases que se desprenden durante las reacciones químicas del acumulador.

Terminal en “L”: Pieza moldeada con aleación de plomo que una vez soldadas a la batería conforman los bornes de la misma.

Tina de lavado: Tina de acero inoxidable utilizada para retirar el ácido superficial de las placas (o lavado con agua) después del proceso de Carga Seca.

Tolva: Equipo ubicado sobre la empastadora, en el cual se deposita la pasta. En la tolva, la pasta es comprimida para ser empastada en la rejilla.

Válvula: Dispositivo de seguridad para la salida de gases en baterías AGM de material “goma especial (EPDM)”.

Voltímetro: Instrumento para medición de voltaje.

Voltios o Volt (V): Unidad de fuerza electromotriz.

APENDICES

APENDICE A. PROCEDIMIENTO PARA LA CONSTRUCCION DE GRAFICOS DE CONTROL

1. El primer paso para construir gráficos de control por variables, consiste en seleccionar el tamaño de cada subgrupo a estudiar. Usualmente se escoge un tamaño de entre 2 a 5 piezas consecutivas por subgrupo, dependiendo de la continuidad y velocidad de salida de las muestras del proceso. La intención de este paso es identificar cuan alejada esta una pieza con otra en el rango de valores dentro del subgrupo, de manera de visualizar las causas comunes a la variación entre una pieza y otra y así tomar acciones correctivas pertinentes.
2. Se selecciona la frecuencia entre cada subgrupo. La frecuencia de pruebas de cada subgrupo es seleccionada periódicamente, en intervalos recomendados entre 10 y 15 minutos, con la finalidad de detectar cambios en el proceso a través del tiempo.
3. Luego, de seleccionar el tamaño y la frecuencia de los subgrupos, se deberá entonces seleccionar el número de subgrupos a estudiar, buscando satisfacer dos criterios; el primero, recolectar la suficiente cantidad de subgrupos para asegurar la mayor cantidad de fuentes de variación que tienen oportunidad de aparecer. La segunda, es garantizar la repetitividad de los datos. Generalmente, 25 o más subgrupos contienen alrededor de 100 o más lecturas que proporcionan una suficiente estabilidad del proceso para estimar su comportamiento y dispersión.
4. Una vez seleccionada la ventana operacional del estudio, se determinan los parámetros necesarios para calcular los límites de control del grafico, los cuales son; el promedio (\bar{X}) y el rango móvil (R) de cada subgrupo. En conjunto, estos datos reflejan el comportamiento promedio de todo el proceso

y su variabilidad. Para cada subgrupo, se calculan estos parámetros de la siguiente manera:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} \quad (7)$$

$$R = X_{mayor} - X_{menor} \quad (8)$$

Donde, X_1, X_2, \dots son valores individuales entre cada subgrupo y n es el tamaño de cada subgrupo.

5. Luego se determina el promedio ($\bar{\bar{X}}$) y rango (\bar{R}) total del proceso empleando las siguientes formulas:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \bar{X}_3 + \dots + \bar{X}_n}{n} \quad (9)$$

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n}{n} \quad (10)$$

6. Se determinan ahora los límites de control en la escala vertical para los dos gráficos; el de promedio y rango móvil de cada subgrupo, esto para mostrar la extensión por la cual el promedio y rango del subgrupo pueden variar si solo causas comunes están presentes. Los límites de control superior (LSC) e inferior (LIC) están confinados por el tamaño de cada subgrupo y la variabilidad reflejada en sus rangos. Para calcular estos límites se emplean las siguientes ecuaciones:

$$LSC_R = D_4 \bar{R} \quad (11)$$

$$LIC_R = D_3 \bar{R} \quad (12)$$

$$LSC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \quad (13)$$

$$LIC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \quad (14)$$

Donde D_4 , D_3 y A_2 son constantes que varían de acuerdo al tamaño del subgrupo, con tamaño del subgrupos de 2 a 10 muestras, como se muestran en la tabla de t-student mostrada a continuación.

- Se grafican los límites de control como líneas solidas horizontales para cada grafico, creándose así una banda limítrofe de los datos promedios por cada subgrupo de muestras.



Table Of Constants and Formulas for Control Charts

Subgroup Size	\bar{X} and R Charts*				\bar{X} and s Charts*			
	Chart for Averages (X)	Chart for Ranges (R)		Chart for Averages (X)	Charts for Standard Deviations (s)			
	Factors for Control Limits	Divisors for Estimate of Standard Deviation	Factors for Control Limits		Factors for Control Limits	Divisors for Estimate of Standard Deviation	Factors for Control Limits	
n	A_2	d_2	D_3	D_4	A_3	c_4	B_3	B_4
2	1.880	1.128	-	3.267	2.659	0.7979	-	3.267
3	1.023	1.693	-	2.574	1.954	0.8862	-	2.568
4	0.729	2.059	-	2.282	1.628	0.9213	-	2.266
5	0.577	2.326	-	2.114	1.427	0.9400	-	2.089
6	0.483	2.534	-	2.004	1.287	0.9515	0.030	1.970
7	0.419	2.704	0.076	1.924	1.182	0.9594	0.118	1.882
8	0.373	2.847	0.136	1.864	1.099	0.9650	0.185	1.815
9	0.337	2.970	0.184	1.816	1.032	0.9693	0.239	1.761
10	0.308	3.078	0.223	1.777	0.975	0.9727	0.284	1.716
11	0.285	3.173	0.256	1.744	0.927	0.9754	0.321	1.679
12	0.266	3.258	0.283	1.717	0.886	0.9776	0.354	1.646
13	0.249	3.336	0.307	1.693	0.850	0.9794	0.382	1.618
14	0.235	3.407	0.328	1.672	0.817	0.9810	0.406	1.594
15	0.223	3.472	0.347	1.653	0.789	0.9823	0.428	1.572
16	0.212	3.532	0.363	1.637	0.763	0.9835	0.448	1.552
17	0.203	3.588	0.378	1.622	0.739	0.9845	0.466	1.534
18	0.194	3.640	0.391	1.608	0.718	0.9854	0.482	1.518
19	0.187	3.689	0.403	1.597	0.698	0.9862	0.497	1.503
20	0.180	3.735	0.415	1.585	0.680	0.9869	0.510	1.490
21	0.173	3.778	0.425	1.575	0.663	0.9876	0.523	1.477
22	0.167	3.819	0.434	1.566	0.647	0.9882	0.534	1.466
23	0.162	3.858	0.443	1.557	0.633	0.9887	0.545	1.455
24	0.157	3.895	0.451	1.548	0.619	0.9892	0.555	1.445
25	0.153	3.931	0.459	1.541	0.606	0.9896	0.565	1.435

$$\begin{aligned}
 UCL_{\bar{X}}, LCL_{\bar{X}} &= \bar{X} \pm A_2 \bar{R} \\
 UCL_R &= D_4 \bar{R} \\
 LCL_R &= D_3 \bar{R} \\
 \hat{\sigma} &= \bar{R}/d_2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 UCL_{\bar{X}}, LCL_{\bar{X}} &= \bar{X} \pm A_3 \bar{s} \\
 UCL_s &= B_4 \bar{s} \\
 LCL_s &= B_3 \bar{s} \\
 \hat{\sigma} &= \bar{s}/c_4
 \end{aligned}$$

* From ASTM publication STP-15D, *Manual on the Presentation of Data and Control Chart Analysis*, 1976; pp 134-136. Copyright ASTM, 1916 Race Street, Philadelphia, Pennsylvania 19103. Reprinted, with permission.

Figura A.1 Tabla de t-sudent. Proporciona constantes numéricas para realizar gráficos de control

APENDICE B. MANUAL DE PROCEDIMIENTO PARA ELABORACION DE PLACAS A PARTIR DE REJILLAS EXPANDIDAS.

B.1. Objetivo:

Esta norma tiene por objeto describir las etapas del proceso de fabricación de placas expandidas.

B.2. Herramientas:

B.2.1. Espátula.

B.2.2. Cepillo cerdas de alambre.

B.2.3. Cuchillo.

B.3. Materiales:

B.3.1. Bobinas positivas o negativas.

B.3.2. Refrigerante Lubricante (Taladrina).

B.3.3. Pasta positiva o negativa.

B.3.4. Papel para placas.

B.3.5. Separadores de Madera para placas.

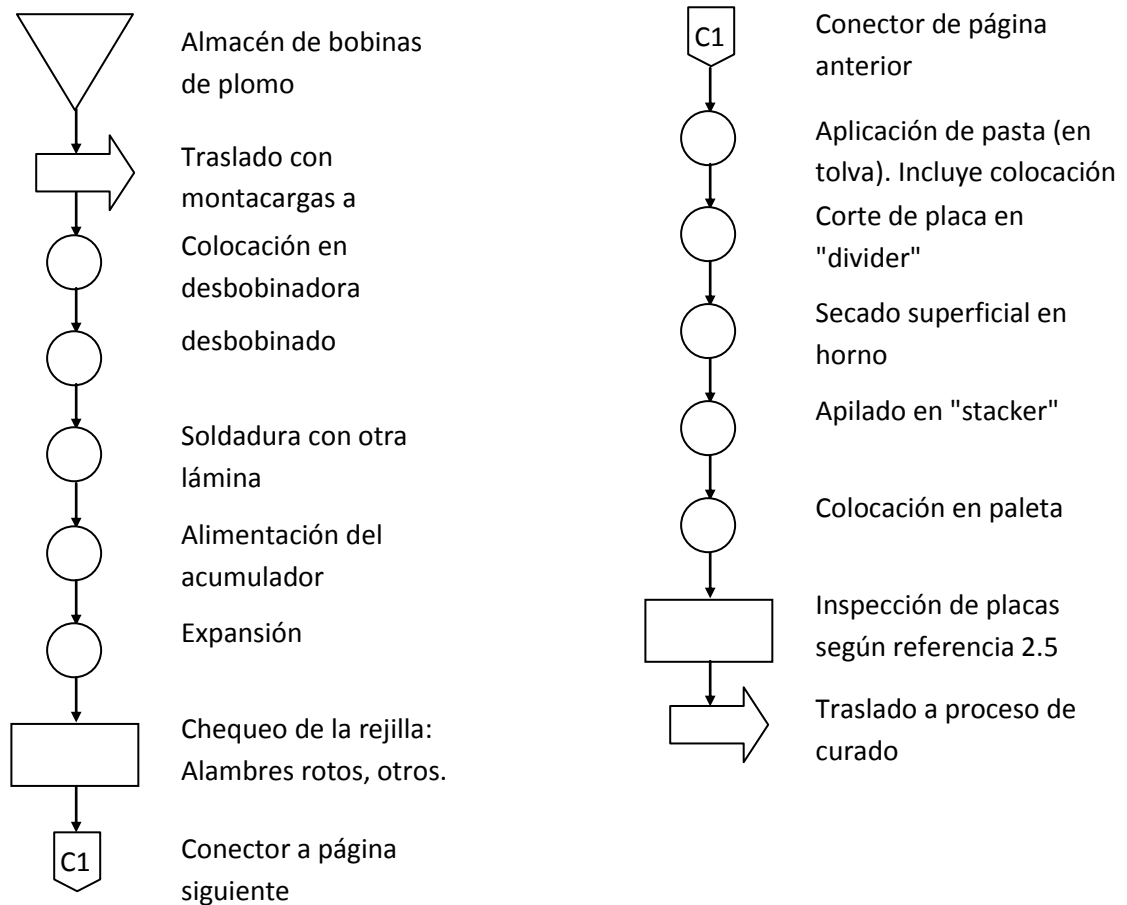
B.4. Principio básico de funcionamiento.

La elaboración de placas expandidas se realiza a partir de dos materiales: La lámina (positiva o negativa) y la pasta (positiva o negativa). El sistema Sovema es capaz de fabricar tres tipos de placas distintas: Modelo VC, modelo MC y modelo SC (Ver referencia 2.5). Sin embargo el modelo MC se produce muy rara vez.

Para fabricar la placa en primer lugar se elabora la rejilla en el expansor. Esta parte de la máquina expande la lámina con la ayuda de un sistema de dientes que perforan y generan la malla de la rejilla. Luego se aplica la pasta en la tolva mediante un sistema que empuja el material sobre la rejilla, para posteriormente pasar por el

"divider", que es el sistema que corta la franja de placas en placas individuales. El siguiente paso es secar la superficie de la placa con el horno de secado superficial, para posteriormente apilar las placas en el "stacker".

B.5. Diagrama de flujo de la operación



APENDICE C. ENSAYOS DE LABORATORIO PARA ESTUDIO DE VARIABLES ALEATORIAS.

C.1. Ensayo de Absorción de Ácido

C.1.1. Objetivo:

Esta norma tiene por objeto establecer el método de análisis a seguir para la determinación de la absorción de ácido sulfúrico en el óxido de plomo.

C.1.2. Alcance:

Este método contempla los procedimientos a seguir para la determinación de la absorción del ácido sulfúrico en el óxido de plomo.

C.1.3. Fundamento del Método:

Titulación del ácido no consumido por la muestra durante el ensayo con una solución estándar de hidróxido de sodio.

C.1.4. Equipos e Instrumentos:

C.1.4.1. Balanza Analítica.

C.1.4.2. Fleaker

C.1.4.3. Tapones de goma N° 8

C.1.4.4. Pipetas volumétricas de 10 ml

C.1.4.5. Bureta de 50 ml

C.1.4.6. Thumbler (aparato especial para mezclar la muestra y reactivos durante 10 minutos, a 32 ± 1 °C)

C.1.4.7. Termómetro de 100 °C con apreciación a 1 °C.

C.1.5. Materiales o Reactivos:

C.1.5.1. Ácido sulfúrico de 1.100 G.E. A 27 °C

C.1.5.2. Hidróxido de sodio solución 1.0 N

C.1.5.3. Fenolftaleína indicador al 0.5%

C.1.6. Preparación de la Muestra:

Ninguna.

C.1.7. Condiciones de Ensayo:

El ensayo se debe realizar en el laboratorio bajo condiciones normales.

C.1.8. Medidas de Seguridad:

Utilice la bata de laboratorio y guantes de goma, como equipos de protección personal.

C.1.9. Pasos:

C.1.9.1. Caliente 100 ml de ácido sulfúrico de 1.100 g.e. a 32 ± 1 °C en un Erlenmeyer de 500 ml.

C.1.9.2. Pese exactamente 50 gr. de muestra y agréguelos lentamente al ácido

C.1.9.3. Tape el elenmeyer y agite fuertemente el contenido para desbaratar las bolsas de óxido que se haya formado.

C.1.9.4. Coloque inmediatamente el elenmeyer en el thumpler y comience a mezclar por 10 minutos, a 32 ± 1 °C.

C.1.9.5. Retire el Erlenmeyer del mezclador y deje sedimentar por espacio de 2 minutos aproximadamente.

C.1.9.6. Destape el Erlenmeyer y filtre a través del filtro Whatman n°. 1.

C.1.9.7. Tome 5 ml de filtrado y titúlelos con una solución 1N de hidróxido de sodio utilizando fenolftaleína como indicador hasta que un color rosa aparezca en el punto final de la titulación.

C.1.9.8. Haga un ensayo en blanco del ácido sulfúrico 1.100 GE.

C.1.10. Expresión de los Resultados:

$$(X - Y) \times N \times 19.6160 = \text{mg H}_2\text{SO}_4 / \text{gr. óxido}$$

Donde:

X = ml de NaOH gastados en el ensayo en blanco.

Y = ml de NaOH gastados en la titulación de la muestra.

N = Normalidad del Hidróxido de sodio.

C.2 Ensayo de Plomo Libre

C.2.1. Objetivo:

Esta norma tiene por objeto establecer el método de análisis a seguir en la determinación del Contenido de plomo libre en óxido de plomo para acumuladores.

C.2.2. Alcance:

Esta norma contempla los procedimientos requeridos para efectuar la determinación del contenido del plomo libre en óxido de plomo para acumuladores.

C.2.3. Fundamento del Método

Este método se basa en la propiedad del ácido acético de reaccionar con el monóxido de plomo para formar acetato de plomo en solución, el plomo metálico sedimenta y se separa por decantación.

C.2.4. Equipos e Instrumentos:

- 4.1.- Balanza Analítica.
- 4.2.- Cilindro Graduado de 50 ml.
- 4.3.- Erlenmeyer de 250 ml.
- 4.4.- Plato.
- 4.5.- Campana extractora de vapores.
- 4.6.- Varilla agitadora de vidrio.
- 4.7.- Espátula

C.2.5. Materiales o Reactivos:

- 5.1.- Acido Acético Glacial p.a (99.7%)
- 5.2.- Agua destilada.

C.2.6. Preparación de la Muestra:

Ninguna.

C.2.7. Condiciones de Ensayo:

Se suministra calor con el plato calentante a la muestra.

C.2.8. Medidas de Seguridad:

Use mascarilla al manejar ácido acético.

C.2.9. Pasos:

- 9.1.- Pese exactamente 10 gr de muestra en balanza analítica.
- 9.2.- Transfiera la muestra pesada a un elemmeyer de 250 ml.
- 9.3.- Añada 20 ml de agua destilada y mezcle perfectamente hasta que toda la muestra se haya humedecido.
- 9.4.- Añada 30 ml de ácido acético y con agitación vigorosa.
- 9.5.- Decante el ácido, lave la masa de plomo con agua de chorro y enjuague con agua destilada 3 veces y finalmente compacte la masa.
- 9.6.- Seque la masa de plomo en una estufa a (145 – 150) °C por 20 minutos.
Posteriormente se deja reposar la masa de plomo hasta que alcance la temperatura ambiente.
- 9.7.- Pese la masa de plomo.

C.2.10. Expresión de los Resultados:

Multiplique el peso del plomo seco por 10 y obtenga el % de plomo libre en la muestra.

Para muestras diferentes a 10 gramos se obtiene:

$$\% \text{ Plomo Libre} = \frac{\text{Peso de Plomo libre} \times 100}{\text{Peso de la muestra}}$$

C.3 Ensayo de Porcentaje de Humedad de la Pasta.

C.3.1 Objetivo:

Esta norma tiene por objeto, establecer los pasos a seguir para la determinación de contenido de humedad en placas para acumuladores.

C.3.2. Alcance:

Esta norma contempla los procedimientos a seguir para la determinación de humedad en las placas para acumuladores.

C.3.2.1. Referencias:

Esta norma es completa.

C.3.2.2. Fundamento del Método:

Determinación de la humedad por diferencia de peso.

C.3.2.3. Equipos:

C.3.2.3.1. Balanza, Determinación de la Humedad, apreciación de 0.1 gr.

C.3.2.3.2. Platillo de aluminio (desechable)

C.3.2.3.3. Vidrio de reloj

C.3.2.3.4. Espátula

C.3.2.4. reparación de la Muestra:

Ninguna.

C.3.2.5. Condiciones de Ensayo:

El ensayo se realiza en planta y a la salida de la maquina, para evitar la pérdida de humedad y no obtener resultados erróneos.

C.3.2.6. Medidas de Seguridad:

Utilice bata, guantes de tela y mascarilla, como equipos de protección personal

Pasos:

C.3.2.6.1. Desempaste con la espátula una de las dos placas hechas un muestreo a la salida del horno coloque sobre el platillo de aluminio las partículas más pequeñas del material activo.

C.3.2.6.2. Suba la capucha secante de la balanza.

C.3.2.6.3. Pese 10 gr de muestra en la balanza determinador de humedad de $\pm 0,01$ gr de exactitud extienda la muestra sobre el platillo de aluminio previamente tapado para obtener un mejor resultado.

C.3.2.6.4. Baje la capucha secante del determinador de humedad y pulse el botón “Start”, para iniciar el ensayo por 10 min a 160°C.

C.3.2.6.5. Luego de transcurrido los 10 min el determinador de humedad corta automáticamente el calentamiento por la resistencia y queda fijado en el “display” o pantalla, el porcentaje final de humedad.

C.3.2.6.6. Expresión de los Resultados:

Tome como resultado el porcentaje de humedad de la muestra de la ultima lectura en el “display” o pantalla del determinador de humedad.

C.3.2.6.7. Formulario de Registro de Resultado:

Expresa los resultados obtenidos, en la gráfica de control por variables (X – R).

C.3.2.6.8. Figura y equipos:

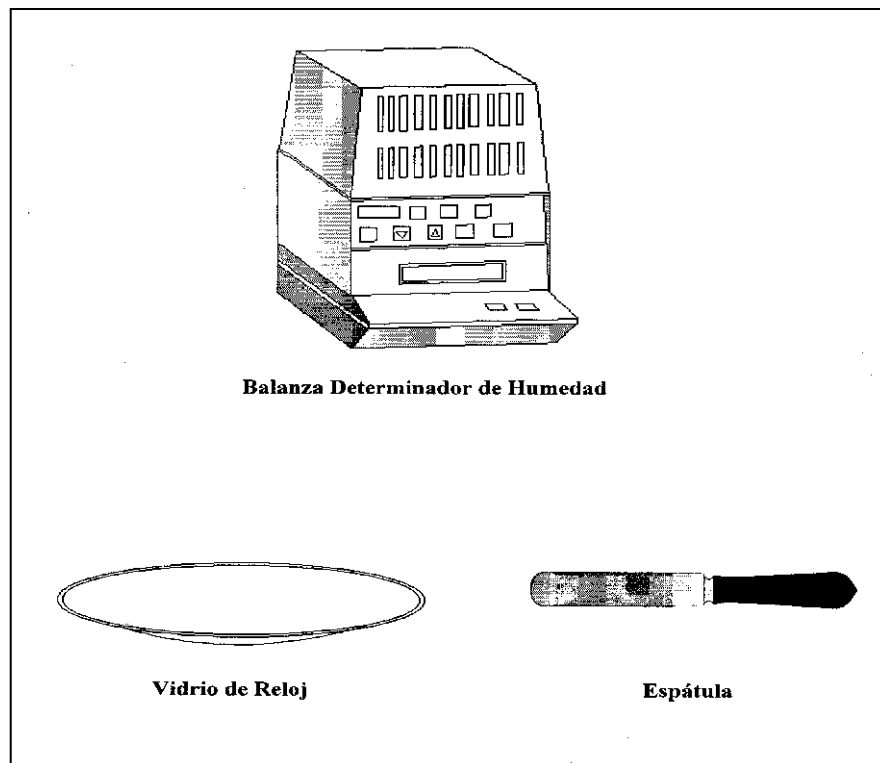


Figura C.1: equipos para ensayo de Porcentaje de humedad de la Pasta.

C.4 Ensayo de Peso Cubico

C.1. Objetivo:

Esta norma tiene por objeto, establecer el método de ensayo para la medición del peso cubico en pasta para acumuladores.

C.2. Alcance:

Este método contempla los procedimientos a seguir para efectuar la medición del peso cubico en pasta para acumuladores.

C.3. Fundamento del Método:

Consiste en la medición del peso de la pasta de material activo que ocupa el volumen de 4 pulg³ de una copa de teflon aforada.

C.4. Equipo de Instrumento:

C.4.1. Copa de teflon para o peso cubico.

C.4.2. Balanza electrónica de apreciación 0.1 gr

C.4.3. Vibrador con “tinner”

C.4.4. Espátula

C.5. Materiales y Reactivos:

Ninguno.

C.6. Preparación o Conservación de la Muestra:

Ninguna

C.7. Condiciones de Ensayo:

C.7.1. Este ensayo se debe realizar en planta.

C.7.2. Tome la muestra al finalizar inmediatamente la operación de mezclado y separe.

C.8. Medidas de Seguridad:

8.1. Utilizar mascarilla.

8.2. Guantes de goma o de tela.

8.3. Evitar el contacto de la piel con la pasta.

C.9. Pasos:

C.9.1. Verifique el cero de la balanza, la balanza debe estar calibrada.

C.9.2. Coloque la copa sobre el plato de la balanza y tare.

C.9.3. Tome la copa y colme con la muestra o pasta.

C.9.4. Coloque la copa mas la muestra en el vibrador y encienda el vibrador por 1 minuto.

C.9.5. Apague el vibrador y retire la copa.

C.9.6. Con la espátula, retire el exceso de peso.

C.9.7. Pese la copa mas la muestra y anote el peso (Po).

C.9.8. Retire la pasta de la copa y límpiela para el próximo ensayo

C.10. Expresión de los Resultados:

$$\frac{Pc - (Pc + PP)}{Fc} = PCub$$

Donde:

PC = Peso Copa

Pp = Peso de la Plata.

F.c. = Factor Cúbico de la Copa.

Pcub= Peso Cúbico

APENDICE D. MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN BATERIAS PARA PRUEBAS ESPECIALES

D.1. Objetivo:

El presente manual tiene por objeto establecer las condiciones operativas recomendadas para elaboración de baterías destinadas a ensayos eléctricos de calidad, de modelo tipo 22MR-800.

D.2. Condiciones Generales:

Para la elaboración de baterías para pruebas especiales, se requiere prestar atención a las normas establecidas en la empresa actualmente, sin embargo este manual permite resaltar condiciones adicionales que deben ser tomadas en cuenta al momento de realizar las baterías de prueba.

D.3. Puntos importantes de revisión en pruebas especiales:

D.3.1 *Fundición y Laminación:* en estos procesos se deben revisar los siguientes puntos.

D.3.1.1 *Contenido de Calcio en la Aleación*: se recomienda que la cantidad de calcio presente en la aleación se encuentre entre el rango medio y el valor inferior de la especificación. Esto para prevenir problemas de crecimiento de rejilla en los ciclos S.A.E.

D.3.1.2 *Contenido de Taladrina en Laminación y Expansión*: Se debe tomar una muestra de la rejilla expandida y medir el contenido de aceite, el cual debe estar dentro de especificación, para evitar el desprendimiento prematuro de la masa activa durante los ensayos.

D.3.1.3 *Alambres rotos en la rejilla*: Las rejillas utilizadas para ensayos especiales no deben presentar alambres rotos, ya que estos ocasionan un incremento de la resistencia eléctrica del producto.

D.3.2 *Revisión del Plomo Libre en Empastado*: el plomo libre en empastado debe estar en el rango de 26 a 30% para placas positivas. En placas negativas se puede emplear en el rango de 24 a 30%. Este debe ser chequeado antes de realizar al mezclado de la pasta. Esta cantidad de plomo libre garantizara la presencia de suficiente reactivo (plomo metálico) durante el proceso de curado.

D.3.3 *Tiempo transcurrido desde la preparación de la pasta hasta el empastado de placas*. Este tiempo bajo ninguna circunstancia debe ser mayor a una hora, para garantizar suficiente cantidad de plomo libre en las placas durante el proceso de curado.

D.3.4 *Almacenaje de placas antes de curar*: la paleta de placas sin curar no debe presentar un tiempo mayor a cuarenta minutos (40 minutos) antes de entrar a la cámara de curado, para que la reacción de curación no ocurra fuera de la cámara.

D.3.5 *Curación*: el o los lotes de placas a estudiar debe ser de los últimos que entren al horno. Se recomienda que estén entre las últimas 3 paletas que entren en la cámara de curado respectiva, ya que las ultimas paletas son las que mejor se curan. Adicionalmente la cámara debe operar totalmente llena, debido a que si no se completan las placas en el horno, la operación de la cámara y por ende el curado no serán de todo satisfactorios.

D.3.6 *Armado de grupos*: para cada modelo de baterías se cuenta con una cantidad de placas positivas y negativas por celda. Para el caso de la batería en estudio se necesitan siete (7) placas positivas por grupo y 6 placas negativas por grupo hasta formar 6 grupos totales. En general, la batería modelo 22MR-800, requiere de 42 placas positivas y 36 placas negativas para ser armada completamente. Al momento de armar estos grupos, se debe tener los siguientes cuidados especiales:

D.3.6.1. *Cuadre separador-placa*: se debe tomar una placa ensobrada, y cuidando de no mover la placa dentro del sobre, abrir la costura. En este momento se debe observar el centrado de la placa dentro del sobre. Si la placa esta movida (recostada) sobre alguno de los lados, no se debe realizar la prueba hasta ajustar, ya que se corre el riesgo que los satélites muerdan la placa y se creen micro cortos.

D.3.6.2. *Doblez inferior del separador*: la parte inferior del separador no debe quedar doblada como un sobre(con una marca oscura en la línea recta en el punto del dobléz) sino que debe quedar como una bolsa (sin tensión en el area inferior), ya que la tensión puede ocasionar la rotura del sobre y posterior falla del producto.

D.3.7 *Soldadura de los grupos*: este es un punto clave, ya que si no se tiene especial cuidado al momento de soldar los grupos, las muestras pueden

fallar en las pruebas y ensayos de laboratorio por fuga por causa de fallas en la soldadura. Es por lo anterior que en esta etapa se deben tener las siguientes consideraciones.

D.3.7.1. *Fundente*: el fundente de la máquina de soldadura debe ser cambiado, para garantizar la ausencia de impurezas en la batería. El fundente en algunos casos puede ocasionar impurezas que causen la oxidación del separador en la prueba de ciclos S.A.E. y C20.

D.3.7.2. *Ajuste de los cepillos de las orejas y aplicación del fundente*: estos dos cepillos deben funcionar adecuadamente, cepillando y aplicando fundente a la mayor superficie de las orejas, pero sin tocar el separador, ya que cualquiera de los elementos (cepillo de alambre y fundente) causan el debilitamiento del separador.

D.3.7.3. *Continuidad operativa de la maquina*: al momento de realizar la prueba, la maquina debe tener al menos media hora operando previamente con el mismo modelo, pero con baterías de producción normal. En ese tiempo se verifica la correcta operación de la maquina, y si no es así, deben realizarse los ajustes correspondientes para evitar que las muestras de la prueba presente algún problema de fabricación.

D.3.7.4. *Temperaturas*: el perfil de temperatura en la maquina debe ser lo más alto posible. Se recomienda que la temperatura del molde siempre sea mayor a 130 °C. Esto garantizará una buena soldadura, pero esta condición no puede permanecer por un tiempo prolongado, ya que los postes tienden a partirse por el exceso de temperatura.

D.3.7.5. *Penetración*: la penetración debe ser ajustada como siempre. Sin embargo, antes de correr la prueba, debe ser tomada una muestra de las baterías de producción normal y partir algunas bandas al azar. Con ello se observara de manera precisa la penetración real de las bandas en las placas.

D.3.8 *Inspección del 100% de los grupos soldados*: una vez soldados los grupos, se deben inspeccionar sacándolos de las cajas. En ellos se debe revisar posibles causas de falla; placas desprendibles, separadores rotos, quemados o que les haya caído fundente, rebabas de plomo de la banda, bandas delgadas, placas dobladas, u otros defectos. Se debe tener especial cuidado de no invertir los grupos al momento de hacer esta inspección.

D.3.9 *Inspección de soldadura TTP*: se debe romper la soldadura TTP de la batería inmediatamente anterior a la de la prueba, para comprobar la adecuada soldadura del producto. Una vez verificado esto, se debe pasar la batería de prueba.

D.3.10. *Sellado Térmico*: aquí no se requiere ninguna previsión especial, sin embargo, si alguna de las baterías de prueba sale con fugas, no debe ser rechazada, ya que la misma se puede emplear para los ensayos eléctricos, sobre los cuales la fuga no presenta ninguna influencia.

D.3.11 *Carga y Acabado Final*: la carga del producto debe ser la misma utilizada en la producción habitual. En este caso se debe garantizar que la piscina de agua funcione adecuadamente, para evitar el sobrecalentamiento durante la formación. Se debe revisar el estado de las puntas de los cargadores, para evitar que la serie sea cargada invertida, y los cables deben tener un ajuste apropiado, para evitar que se dañen muestras por chispazos ocasionados por el paso de la corriente con un

contacto inadecuado. En el area de cavado final deben tomarse las lecturas del amperaje del VRL, por si son requeridas.

APENDICE E. MANUAL DE PROCEDIMIENTO PARA ENSAYO DE CAPACIDAD NOMINAL BAJO REGIMEN 20 HORAS.

Mediante este ensayo se determina la capacidad indicada por el fabricante, expresada en Amperios por hora (Ah), resultante de someter al acumulador a una descarga continua, de acuerdo a una intensidad de corriente constante durante veinte (20) horas, hasta un voltaje mínimo especificado.

E.1. Equipos e instrumentos

E.1.1 Cargador de acumuladores eléctrico,

E.1.2 Densímetro con apreciación máxima de $\pm 0,005$,

E.1.3 Termómetro con exactitud ± 1 °C,

E.1.4 Descargador de intensidad constante con exactitud de $\pm 0,05$ V y con relación a la corriente una exactitud de $\pm 1\%$ A.

E.2. Procedimiento

E.2.1 Cargar la muestra a ensayar al 1% de su rendimiento, con la finalidad de asegurar su completa carga, una vez culminado el proceso de formación.

E.2.2 Descargar la muestra en ensayo a una intensidad constante de 2,5A en este caso, equivalente a la capacidad nominal (50 Ah) dividida entre 20h, hasta un voltaje de 1,75 V por celda, lo que corresponde a 10,5 V en todo el acumulador, a una temperatura de 27 ± 3 °C.

E.2.3 Registrar el tiempo que tarda en alcanzarse esta condición.

E.2.4 Multiplicar el número de horas transcurridas por la intensidad de corriente obtenida y a este resultado se le denomina capacidad en Ah.

E.2.5 Repetir los pasos anteriores hasta (3) tres veces en caso que no se alcance el requisito al primer intento.

E.2.6 Se registra el mayor valor de capacidad como resultado del ensayo

E.3. Expresión de los resultados.

La Capacidad de Nominal 20 horas, es expresa en Ah, de acuerdo a la intensidad de corriente y al tiempo durante el cual transcurre la descarga hasta alcanzar la condición

APENDICE F. CALCULOS TIPOS.

La siguiente descripción de ecuaciones, representa la secuencia de cálculos que debieron ser realizados para determinar la capacidad de cada corrida de placas bajo control de peso, destinadas a la elaboración de baterías objeto de análisis, las cuales serian ensayadas eléctricamente.

El ejemplo descrito a continuación, pertenece a la primera corrida bajo control de peso de lado derecho.

F.1. Secuencia de cálculos para realizar el índice de capacidad de un proceso, Cpk.

1. Luego de obtener los pesos de placas correspondientes al canal derecho (25 grupos de placas, 3 placas por grupo), se calcula el promedio de peso de cada grupo, como se muestra a continuación

$$Xm_{subgrupo} = \frac{Pp1 + Pp2 + Pp3}{3} = 116.4 \text{ gr} \quad (15)$$

Donde:

Xm grupo: Promedio de peso de placa expresado en gramos por cada subgrupo de placas estudiado.

Pp1: Peso de la primera placa tomada del lado derecho.

Pp2: Peso de la segunda placa tomada del lado derecho.

Pp3: Peso de la tercera placa tomada del lado derecho.

Nota: Este cálculo fue realizado para 25 subgrupos de placas, donde cada grupo posee tres placas.

2. Cálculo de media de los grupos totales.

$$Xm_{proceso} = \frac{Xm1 + Xm2 + \dots + Xm25}{25} = \frac{116.4 + 118.5 + \dots + 116.3}{25} = 116.9 \text{ gr} \quad (16)$$

Donde:

Xm proceso: Es la media general del proceso en gramos.

Xm1: Promedio de peso del primer subgrupo de placas tomado en gramos.

3. Cálculo de Rango de cada subgrupo.

Este valor es calculado para verificar la desviación de peso que existe entre el mayor valor de peso de placa y el menor.

$$Rm_{subgrupo} = \frac{PpM - Ppm}{2} = \frac{116.6gr - 116.1gr}{2} = 0.5gr \quad (17)$$

Donde:

Rm subgrupo: Rango móvil de peso dentro del grupo expresado en gramos [gr].

PpM: Peso de placa mayor dentro del subgrupo expresado en gramos [gr].

Ppm: Peso de placa menor dentro del subgrupo expresado en gramos [gr].

4. Cálculo de rango promedio o desviación promedio de peso de placa en el proceso.

$$Rm_{proceso} = \frac{Rm1 + Rm2 + \dots + Rm25}{25} = \frac{0.5gr + 0.6gr + \dots + 1.1gr}{25} = 0.83gr \quad (18)$$

Donde:

Rm1: rango móvil del primer grupo de placas expresados en gramos [gr].

Rm2: rango móvil del segundo grupo de placas expresados en gramos [gr].

5. Desviación estándar de proceso de empastado de placas para el cálculo de índice de capacidad del proceso.

$$\sigma = d2 * Rm = 1.69 * 0.5gr = 0.49 \quad (19)$$

Donde:

Rm: Rango móvil del peso de placa general del proceso, expresado en gramos [gr]

D2: Valor divisor para estimar la desviación estándar para cálculo de índice de capacidad (Cpk), cuando el tamaño de subgrupo es de 3 muestras.

6. Cálculo de la Desviación estándar de la población.

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{Xm - n}{n - 1}} = \sqrt{\frac{116.9 - 3}{3 - 1}} = 1.40 \quad (20)$$

Donde:

σ : Desviación estándar de la población adimensional.

X_m : Media de peso del grupo.

N : tamaño del subgrupo.

7. Valores de capacidad del proceso actual.

$$ZLSC = \frac{LSCE - X_m}{\sigma} = 8.37 \quad (21)$$

Donde:

ZLSC: Valor bilateral Z correspondiente al límite superior de control de peso de placa.

LSCE: Limite superior de control de especificación empleado hasta el momento.

X_m : Media de peso de la población.

σ : Desviación estándar de la población adimensional.

$$ZLIC = \frac{X_m - LICE}{\sigma} = \frac{116.9gr - 109gr}{0.49} = 16.0 \quad (21)$$

Donde:

ZLIC: Valor bilateral Z correspondiente al límite inferior de placa de especificación.

LICE: Limite inferior de peso de placa de especificación empleado hasta el momento en las instalaciones de la planta.

Ahora se toma el menor valor entre ZLIC y ZLSC. Con este valor se halla el índice de capacidad Cpk.

$$Cpk = \frac{Zmin}{n} = \frac{8.37}{3} = 2.79 \quad (22)$$

Donde:Cpk: Índice de Capacidad del proceso de empastado de placas positivas de la primera corrida de placas, perteneciente al estudio derecho.

GLOSARIO

Ácido Sulfúrico: Ácido que se produce disolviendo trióxido de azufre en agua.

Agua Desmineralizada: Agua, la cual ha sido tratada para separarla totalmente los sólidos contenidos; quedando libre de minerales.

Aleación plomo-calcio: Aleación cuyo aleante principal es el calcio, en una proporción entre 0,07 y 0,11%. El calcio actúa como un agente endurecedor, disminuye la resistividad de la rejilla y por no poseer antimonio, disminuye la gasificación y por ende el consumo de agua. Por otro lado, el calcio reacciona súbitamente con el oxígeno, siendo necesario mayores precauciones al fundir esta aleación. Al perderse el aleante calcio por oxidación, el plomo restante queda eventualmente puro, no logrando así las propiedades mecánicas deseadas.

Aleatoriedad: Es un campo de definición que se asocia a todo proceso cuyo resultado no es previsible más que en razón de la intervención del azar.

Ampér o Ampério (A): Unidad de corriente eléctrica.

Ampér-hora (A·h): Unidad de cantidad eléctrica equivalente a un régimen de un Ampér durante una hora.

Autodescarga: Descarga que tiene lugar mientras el acumulador se encuentra en circuito abierto.

Batería: Acumulador con polo positivo y negativo cargado eléctricamente para darle el encendido al vehículo.

Caja: Es el recipiente que contiene las placas y el electrolito de un elemento o elementos en el acumulador (Batería).

Capacidad: Cantidad de electricidad producida por un acumulador, por lo general se expresa en términos de Amperes-hora.

Capacidad nominal 20 horas: Es la capacidad expresada en amperios por horas (A·h) resultante de someter al acumulador a una descarga de acuerdo a un régimen de 20 horas.

Carga: Proceso en el cual un flujo de corriente directa, es avisado desde una fuente externa a un acumulador y en dirección opuesta al flujo natural de corriente del mismo formándose los elementos activos de la batería.

Cargador: Equipo capaz de suministrar energía eléctrica en forma continua.

Carga seca: Es el proceso de formación o carga de placas positivas y negativas (estas conectadas en paralelo dentro de una casettera) en medio inundado con electrolito, las casetteras, a su vez, están sumergidas en tanques plásticos conectados en serie entre ellos.

Celda: Unidad individual de un acumulador que consiste en el electrolito, el elemento y el contenedor.

Circuito abierto: Interrupción del sistema interno de la batería para la conducción de electricidad. Ocurre entre celdas continuas o en los postes.

Conectores: Platina de cobre emplomada cuya función es servir de conexión entre las celdas. Pieza moldeada con aleación de plomo utilizada para la conexión entre celdas para las baterías a recombinación de gases.

Corriente: Régimen de flujo de electricidad expresado en Amperes (A).

Curado: Proceso controlado de secado de placas empastadas, en el cual se busca obtener un nivel de plomo libre inferior al 2%, y de humedad al 1%. Este proceso en particular, llamado hidrofijación, hace que las placas sean lo suficientemente rígidas para ser manipuladas.

Densidad: Peso de una sustancia por unidad de volumen, por lo general en gramos por centímetro cúbico.

Descarga: Flujo de electricidad de un acumulador a través de un circuito, lo opuesto de una carga.

Desviación estándar: es una medida del grado de dispersión de los datos del valor promedio.

Dióxido de plomo (PbO₂): Un mayor óxido de plomo presente en las placas positivas cargadas. A veces se le llama peróxido de plomo.

Distribución normal (Distribución de Gauss): Es la distribución de probabilidad que con más frecuencia que aparece en la estadística y teoría de probabilidades y se debe a dos razones. Su función de densidad es simétrica y con forma de campana, lo que favorece su aplicación como modelo a gran número de variables estadísticas. Es, además, límite de otras distribuciones y aparece relacionada con multitud de resultados ligados a la teoría de las probabilidades gracias a sus propiedades matemáticas.

Electrólito: Toda sustancia capaz de disociarse en dos o más iones cuando es disuelta en agua. La solución de electrólito conduce electricidad y es descompuesta por esta. En la industria de la batería, el electrólito implica una solución diluida de ácido sulfúrico, la cual provee de agua y sulfato a la reacción electroquímica que origina dentro de una batería.

Empastado: Operación de aplicación de la pasta a las rejillas.

Empastadora: Equipo en el cual se le añade pasta a las rejillas, obteniendo placas.

Envejecimiento: Es el período de reposo que posee una aleación metálica para lograr las propiedades mecánicas deseadas. Con este período de envejecimiento las rejillas alcanzan una mayor dureza, condición primordial para un buen empastado de las mismas.

Espesor nominal: Es el espesor de la rejilla, expresado en milésima de pulgadas y es la referencia de la empresa.

Estadística: Es una ciencia matemática referente a la recolección, análisis e interpretación de datos, y que busca explicar condiciones regulares en fenómenos de tipo aleatorio.

Expansor (Expander): Aditivo de color negro agregado a la pasta negativa, cuya función es de incrementar la capacidad de descarga a baja temperatura, régimen alto y prolongar la vida útil de la placa negativa. La de la pasta negativa su color característico.

Fibra: Material sintético en forma de pelusa recta, de color blanco perlado y de 0,32 mm (1/8") de longitud.

Grupos armados: Es un conjunto de placas positivas y negativas dispuestas de manera alternada e intercalada por separadores.

Homocedasticidad: Es una propiedad fundamental del modelo de regresión lineal general y está dentro de sus supuestos clásicos básicos. Se dice que hay homocedasticidad cuando la varianza de los errores estocásticos de la regresión son los mismos para cada observación i .

Incertidumbre: Es la característica asociada al resultado de una medición, que define el espacio bidireccional centrado en el valor ofrecido por el instrumento de medida, dentro del cual se encuentra con una determinada probabilidad estadística el valor medido.

Libre de mantenimiento: Término aplicado a los acumuladores que requieren poco o nada de mantenimiento durante su vida útil.

Llenadora de baterías: Máquina que suministra el ácido o electrólito a la batería.

Material activo: Es la pasta contenida en la placa y la que almacena la energía electroquímica.

Media: Es el promedio de un conjunto de números.

Óxido de plomo: Mezcla de monóxido de plomo (PbO) y plomo metálico, ambos en forma de polvo finamente dividido. Su color varía entre el verde grisáceo y el ocre claro, dependiendo del porcentaje de plomo libre y de las formas cristalográficas de plomo presentes.

Óxido de plomo rojo (Minio); Tetra-óxido de plomo (Pb₃O₄): Polvo de color rojo brillante, usado como material activo en placas positivas para placas tubulares de baterías industriales.

Placa: Rejilla empastada (la pasta o material activo puede ser positivo o negativo).

Placas positivas: Son rejillas empastadas con pasta positiva.

Placas negativas: Son rejillas empastadas con pasta negativa.

Pasta positiva: Mezcla homogénea de óxido de plomo, ácido sulfúrico, agua desmineralizada y fibra sintética.

Pasta negativa: Mezcla homogénea de óxido de plomo, ácido sulfúrico, agua desmineralizada, fibra sintética y expansor.

Plomo: Elemento metálico que se encuentra en las placas negativas cargadas.

Prueba análisis de varianza (ANOVA): Es una prueba estadística paramétrica que tiene como función comparar si los valores de un conjunto de datos numéricos son significativamente distintos a los valores de otro o más conjuntos de datos.

Rejilla: Pieza de aleación de plomo en forma de malla, utilizada como soporte del material activo y como conductor de la corriente.

Resina epóxica: Compuesto orgánico de aspecto viscoso que constituye el ingrediente activo del pegamento.

Secado: Eliminación de agua de las placas empastadas.

Separador de fibra vidrio: Material colocado entre las placas de polaridad opuestas, con el fin de evitar cortocircuitos internos en la baterías, fabricado a base de fibra de vidrio. El material debe también permitir que pase la corriente.

Succión: Proceso de extracción del exceso del electrólito una vez formada la batería.

Sulfatación: Formación de sulfato de plomo en las placas, con propiedades físicas tales, que es extremadamente difícil, sino imposible, reconvertirlo a material activo.

Sulfato de plomo (PbSO₄): Compuesto de plomo formado por la acción de ácido sulfúrico sobre los óxidos de plomo durante la preparación de la pasta y la formación. También se forma electroquímicamente al descargarse un acumulador de plomo ácido.

Tapa: Es la pieza con la que se cubre cada una de las celdas o el conjunto de las mismas en la caja.

Tapón: Pieza de polipropileno que se usa para tapar los orificios de llenado de las tapas de los acumuladores, con el fin de evitar fuga de electrolito y condensar los gases que se desprenden durante las reacciones químicas del acumulador.

Terminal en “L”: Pieza moldeada con aleación de plomo que una vez soldadas a la batería conforman los bornes de la misma.

Tina de lavado: Tina de acero inoxidable utilizada para retirar el acido superficial de las placas (o lavado con agua) después del proceso de Carga Seca.

Tolva: Equipo ubicado sobre la empastadora, en el cual se deposita la pasta. En la tolva, la pasta es comprimida para ser empastada en la rejilla.

Válvula: Dispositivo de seguridad para la salida de gases en baterías AGM de material “goma especial (EPDM)”.

Voltímetro: Instrumento para medición de voltaje.

Voltios o Volt (V): Unidad de fuerza electromotriz.