

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

"Reducción de reproceso de placas curadas en la manufactura de baterías  
de plomo ácido"

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERA INDUSTRIAL**

Presentado por:

María Alejandra León Urbano

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2017

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por ser mi guía en el camino, a mi familia que son mi soporte en cada paso que doy, a mis amigos que han estado conmigo y a mi tutor por su ayuda en el desarrollo del proyecto.

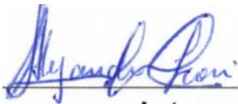
## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la Materia Integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Autora: María Alejandra León Urbano

Tutor: Ing. Edwin Orlando Desintonio León.

Y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.



---

María Alejandra  
León Urbano  
AUTORA



---

Ing. Edwin Orlando  
Desintonio León  
TUTOR DE MATERIA  
INTEGRADORA

## RESUMEN

El proceso de curado es una operación importante en la manufactura de baterías, ya que es necesario para la oxidación del plomo metálico que depende directamente de la calidad de las placas y en particular de la masa activa después del proceso de empastado. La fase de curado determina la microestructura de los cristales de óxido de plomo que también son involucrados en la formación de baterías. La optimización de este proceso asegura una calidad excepcional de batería en términos de capacidad y ciclo de vida, así como la reducción de tiempos de producción y costos.

Actualmente se evidencia un 10% de placas curadas fuera de especificación (con un Plomo libre >2%) que son reprocesadas, cuando lo requerido y admitido por la compañía es un reproceso menor al 5%, el objetivo del presente proyecto es definir nuevos parámetros idóneos del proceso para su programación con el fin de mejorar la eficacia del proceso, para cumplir el objetivo planteado se sigue la metodología DMAIC en cada etapa del proyecto se hace uso de diferentes herramientas estadísticas para encontrar la causa raíz y así proponer soluciones que se evalúan previo a la implementación para ello se realiza un diseño de experimentos el cual permite contrastar los factores y evaluar así su efecto en la variable de respuesta (% Pb libre). Se propone diferentes parámetros que se evalúa por medio del diseño de experimentos, se analiza la mejor combinación y se implementa en la programación de los cuartos del curado, se reduce el reproceso a un 5%.

Palabras Claves: Plomo libre, Catalizador, Placas curadas

## **ABSTRACT**

*The curing process is an important step in the production of batteries, since it is necessary for the oxidation of metallic lead that depends directly on the quality of the plates and in particular of the active mass. After the pasting operation. The curing phase determines the microstructure of the PbO crystals that are also involved in the formation of batteries. The optimization of this process ensures exceptional battery quality in terms of capacity and life cycle, as well as the reduction of production times and costs.*

*Currently 10% of cured plates outside of specification (with a free Lead > 2%) are cured plates that are reprocessed, when required and admitted by the company is a reprocessing less than 5%, the objective of this project is to define new suitable parameters of the process for its programming in order to improve the efficiency of the process, to meet the goal set is followed DMAIC methodology at each stage of the project makes use of different statistical tools, focus the problem, the cause root, proposes different solutions, it is implemented for this work with DOE experimental design which allows to contrast the factors and thus evaluate its effect on the response variable (% free Pb). Different parameters are proposed that are evaluated by means of DOE, the best combination is analyzed and it is implemented in the programming of the curing rooms.*

*Keywords:*

*Free Lead, Cured plates, Catalyst*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema.....	3
1.1.1 Declaración del problema.....	4
1.1.2 Definición de variable.....	5
1.1.3 Alcance.....	5
1.1.4 Restricciones.....	6
1.2 Objetivos.....	6
1.2.1 Objetivo General.....	6
1.2.2 Objetivos Específicos.....	7
1.3 Marco teórico.....	7
1.3.1 Oxidación del Plomo.....	8
1.3.2 Recristalización de tribásicos y tetra básicos.....	8
1.3.3 Porosidad.....	8
1.3.4 Corrosión de rejilla.....	9
1.3.5 Mejora contacto pasta/rejilla.....	9
1.3.6 Secado.....	9
CAPÍTULO 2.....	10

2.	Metodología .....	10
2.1	Medición .....	10
2.1.1	Plan de Recolección de datos.....	10
2.1.2	Estratificación de Datos .....	11
2.1.3	Muestreo.....	12
2.1.4	Análisis de Capacidad .....	12
2.2	Análisis de Causas.....	20
2.2.1	Ishikawa.....	21
2.2.2	Priorización de causas.....	22
2.2.3	Plan de Verificación de causas .....	22
2.2.4	Análisis de verificación de causas .....	23
2.2.5	Análisis de Causa raíz (5WH).....	26
2.3	Mejora .....	26
2.3.1	Soluciones Propuestas .....	26
2.3.2	Evaluación y Selección de Soluciones.....	27
2.3.3	Plan de Implementación de Soluciones .....	28
CAPÍTULO 3.....		30
3.	Resultados.....	30
3.1	Resultados DOE (Diseño Factorial).....	30
3.2	Beneficios del Proyecto.....	32
3.3	Estimación de Costos.....	33
CAPÍTULO 4.....		35
4.	Discusión y Conclusiones.....	35
4.1	Conclusiones.....	35
4.2	Recomendaciones.....	35
BIBLIOGRAFÍA.....		36

APÉNDICE A.....	37
APÉNDICE B.....	40
APÉNDICE C.....	42



## ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
BA	Batería
HR	Humedad Relativa
SIPOC	Suppliers, Inputs, Process, Outputs and Customers Diagram
VOC	Voice of Customer
DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve, Control
WH	Por qué's
Fem	Fuerza Electromotriz
QFD	Quality function deployment
CTQ	Critical to quality
DOE	Design of experiments
ANOVA	Analysis of Variance
Ptos	Puntos
Ho	Hipótesis nula
H1	Hipótesis alternativa
CpK	Índice de habilidad de un proceso estable
Kwh	Kilovatio-hora
Ctv	Centavos

## SIMBOLOGÍA

Hrs	Horas
V	Voltio
X's	Factores
Y's	Variable de respuesta
SD	Desviación Estándar
n	Tamaño de muestra
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido Sulfúrico
PbO <sub>2</sub>	Dióxido de Plomo
PbSO <sub>4</sub>	Sulfato de Plomo
Pb	Plomo
PbO	Óxido de Plomo
H <sub>2</sub> O	Agua

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Macro mapa- Fabricación de Baterías.....	2
Figura 1.2 Vista interna de una Batería de Pb ácido .....	2
Figura 1.3 Proporción de Placas No Conformes .....	5
Figura 2.1 Layout por área vs Ubicación .....	12
Figura 2.2 Layout de ubicación de placas .....	13
Figura 2.3 Resultado de DOE Pb libre vs. Posición-Localidad-Cercanía .....	14
Figura 2.4 Pareto de los efectos estandarizados.....	15
Figura 2.5 Interacción de los factores.....	16
Figura 2.6 Curva de oxidación de Pb Cuarto #2.....	17
Figura 2.7 Curva de oxidación de Pb “área 1” .....	18
Figura 2.8 Curva de oxidación de Pb “área 3” .....	18
Figura 2.9 Curva de oxidación de Pb “área 6” .....	19
Figura 2.10 Curva de oxidación de Pb “área 4” .....	19
Figura 2.11 Diagrama de ISHIKAWA .....	21
Figura 2.12 Área 3 “Monitoreo de Temperatura y HR” .....	24
Figura 2.13 Área 2 “Monitoreo de Temperatura y HR” .....	24
Figura 2.14 Área 6 “Monitoreo de Temperatura y HR” .....	25
Figura 2.15 Parámetros Iniciales del Proceso de Curado .....	28
Figura 2.16 Parámetros propuestos al proceso.....	29
Figura 3.1 Pareto de efectos estandarizados .....	30
Figura 3.2 Gráfica de interacción de parámetros.....	31
Figura 3.3 Corrida de validación.....	32
Figura 3.4 Reducción del tiempo de ciclo menos 3 horas .....	33
Figura 3.5 Ahorro en reproceso de Placas Curadas.....	34

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Matriz QFD .....	3
Tabla 1.2 Árbol de CTQ's.....	4
Tabla 1.3 SIPOC .....	6
Tabla 2.1 Plan de Recolección de Datos.....	10
Tabla 2.2 Factores de Estratificación .....	11
Tabla 2.3 ANOVA Estratificación de data.....	11
Tabla 2.4 Análisis de capacidad por área.....	13
Tabla 2.5 Comportamiento de la oxidación de Pb .....	17
Tabla 2.6 Priorización de Causas.....	22
Tabla 2.7 Plan de Verificación de Causas Potenciales .....	23
Tabla 2.8 Análisis de Causa Raíz (5WH) .....	26
Tabla 2.9 Generación de soluciones por cada causa raíz.....	26
Tabla 2.10 Evaluación de Soluciones.....	27
Tabla 2.11 Plan de Implementación de Soluciones.....	28
Tabla 3.1 Costos del Proceso de Curado.....	34

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

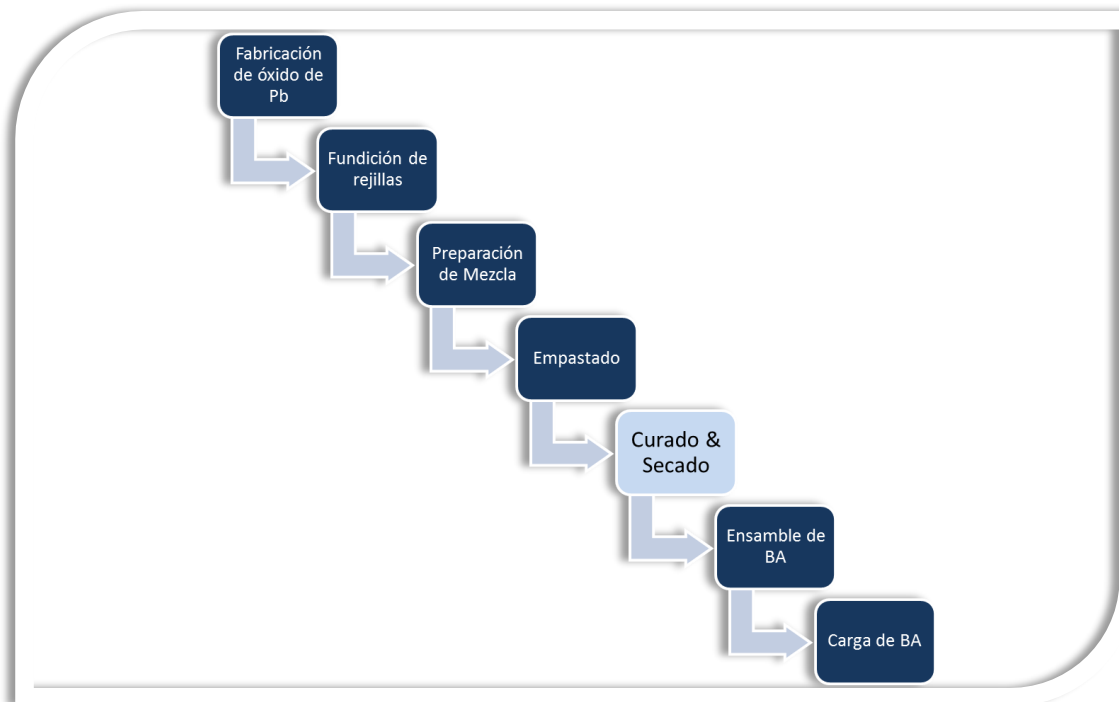
La Fabricación de baterías de plomo ácido se ha convertido en un estudio de mejora continua, integrado por una serie de operaciones que definen las características para su uso en la industria automotriz. Este estudio está enfocado en el proceso de curado de Placas positivas llamadas electrodos (+), los cuales desempeña dos funciones principales: almacenar energía y recarga de la misma mediante un proceso de conversión electroquímico con la finalidad de otorgar la característica especial de ser llamada batería de arranque.

El método de curado de placa de estudio es también conocido como proceso de Hydroset que consiste, en tomar las placas empastadas a la salida del horno colocarlas dentro de una cámara de alta humedad dejando que se complete su ciclo de curado que puede ir de 48 a 72 horas, controlando la tasa de secado dentro del periodo de tiempo previamente definido. Durante este proceso ocurren tres reacciones importantes: el plomo en la pasta es oxidado, los sulfatos de plomo básico se recristalizan y las placas se secan. Al finalizar el proceso se debe obtener un porcentaje de plomo oxidado mayor igual al 98% en el material activo y menos de 1% de humedad en la placa.

Los factores externos que intervienen en un proceso de curado son los siguientes: temperatura, humedad y tiempo, los mismos son controlados y programados. La presencia de humedad en la pasta durante la oxidación del plomo es necesaria para acelerar la reacción química, su función es de un catalizador donde las condiciones del entorno como el aire, oxígeno es provisto para la reacción química en la pasta.

Las características que se visualizan en Placas positivas completamente curadas es la siguiente: presentan un color característico anaranjado-rojo en la superficie inferior de forma no uniforme; pero la presencia de color verde oscuro indica que no se ha oxidado completamente la superficie de la placa lo que indica un reproceso.

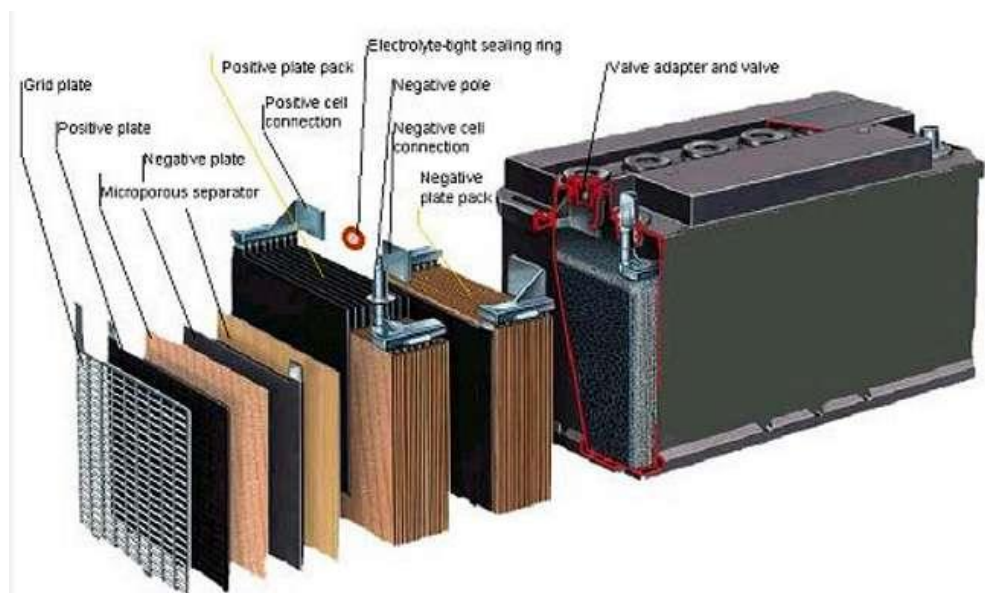
El desempeño y el ciclo de vida de una batería plomo ácido es fuertemente afectado por las propiedades de las rejillas y el material activo resultante del proceso de curado.



**Figura 1.1 Macro mapa- Fabricación de Baterías**

Fuente: Investigación de Campo, 2017.

Elaboración propia.



**Figura 1.2 Vista interna de una Batería de Pb ácido**

Fuente: Investigación internet

Elaboración privada

## 1.1 Descripción del problema

Se realiza un voice of customer con el fin de obtener los requerimientos y necesidades del cliente, para ello se realiza entrevistas individuales y grupales al personal del área de carga (cliente interno), análisis de quejas y retroalimentación del cliente externo. Para gestionar la información recopilada se usa la herramienta conocida como matriz QFD diseñada para desarrollos de productos la cual está compuesta principalmente por los Qué's (que requiere o desea el cliente) y los Cómo's (Características técnicas del producto) a continuación se presenta el matriz despliegue de función de calidad en la Tabla 1.1.

Los valores evaluados en la matriz tienen la siguiente relación:

Muy fuerte= 9ptos

Fuerte= 3ptos

Débil= 1pto

Tabla 1.1 Matriz QFD

		Cómo's				Importancia para la CIA	
		Qué's	Voltaje de descarga	Corriente de la BA	Aleación de rejilla		Estructura de masa activa
			1	2	3	4	
1	Mayor Capacidad		9	9	1	9	5
2	Mayor Duración		5	5	1	9	5
3	Poco Mantenimiento		3	3	5	3	5
4	Menor consumo de Agua		1	1	3	1	4
<b>DIFICULTAD (1 - 5)</b>							
Evaluación		ABSOLUTA	90	90	50	110	340
		RELATIVA(%)	26,47%	26,47%	14,71%	32,35%	
<b>PRIORIDAD</b>			2	3	4	1	

Fuente: Investigación de Campo, 2017.

Elaboración propia.

Se realiza un diagrama de árbol de CTQ's con la finalidad de transformar los requerimientos del cliente (VOC) en característica crítica de calidad definidas para el producto como se muestra en la tabla 1.2:

**Tabla 1.2 Árbol de CTQ's**

Voz del Cliente	Driver	CTQ'S
Mayor Capacidad	Voltaje de descarga Corriente de la BA	% Pb libre $\leq$ 2% % Humedad <1%
Mayor duración	Tiempo de descarga Capacidad de reserva Desempeño de arranque en frío	
Menor mantenimiento Menor consumo de agua	Aleación de la rejilla	-

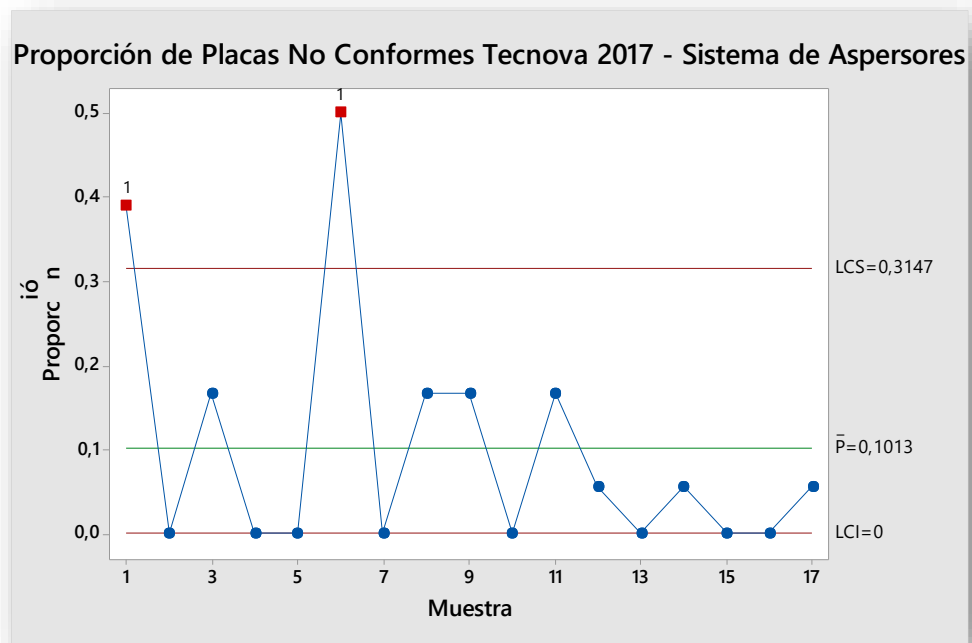
Fuente: Investigación de campo, 2017.

Elaboración propia.

### 1.1.1 Declaración del problema

Se evidencia un 10% de Placas positivas curadas fuera de especificaciones (Plomo libre > 2%) durante el primer trimestre del año 2017 en los cuartos de curado de la CIA: cuando el porcentaje de reproceso admitido por la compañía es menor a 5%. A continuación, se muestra en la figura 1.3 la proporción de placas No Conformes:





**Figura 1.3 Proporción de Placas No Conformes**

Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración propia.

### 1.1.2 Definición de variable

Nuestra variable analizar es el % de Placas curadas fuera de especificaciones técnicas ( $P_b > 2\%$ ), la cual se define de la siguiente manera:

$$Y = \frac{\text{Número de Placas fuera de especificación}}{\text{Total de placas muestreadas}}$$

### 1.1.3 Alcance

El alcance del proyecto inicia con el análisis de las condiciones de entrada de placas empastadas al proceso de curado hasta la liberación de placas. La propuesta de solución y su implementación, así como su seguimiento dentro de un periodo establecido. Para mayor detalle del flujo del proceso se muestra en la Tabla 1.3 SIPOC:

**Tabla 1.3 SIPOC**



Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración propia.

### 1.1.4 Restricciones

Las restricciones presentes en la implementación del proyecto son las siguientes:

- Capital: El financiamiento para la implementación del proyecto
- Tiempo: El tiempo necesario para la implementación del proyecto
- Tecnológico: La implementación de nueva tecnología en el proceso.
- Infraestructura: El espacio disponible para su rediseño en darse el caso.
- 

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo General

Definir los parámetros idóneos del proceso de curado para su programación con el fin de mejorar la eficacia del proceso.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Contrastar las variables que afectan la oxidación del Pb.
- Analizar los factores que influyen en el proceso de curado.

### 1.3 Marco teórico

La Batería de Plomo ácido utilizada en los automóviles, funciona como una fuente de poder de conversión de energía (química y eléctrica), la fuerza electromotriz ( $F_{em}$ ) de una batería cambia durante el uso debido a que varía la concentración de  $H_2SO_4$  con el grado de descarga de la celda, compuesta por electrodos (ánodo y cátodo) distribuidos uniformemente; el ánodo de cada celda está compuesto por plomo, el cátodo está compuesto de dióxido de plomo  $PbO_2$ , ambos electrodos están inmersos en ácido sulfúrico como medio electrolítico (portador de iones capaz de conducir corriente) para conectar las celdas. La recarga es posible debido al  $PbSO_4$  que se forma durante la descarga el cual se adhiere a la superficie de los electrodos. Así en la medida que una fuente externa (alternador del auto) conduce los electrones de un electrodo al otro, el  $PbSO_4$  se convierte en Pb en un electrodo y en  $PbO_2$  en el otro; éstos son los materiales de una celda completamente cargada.

La etapa final de formación de electrodos dentro de la fabricación de baterías es el proceso de Curado que está influenciado por factores externos e internos que se detallan a continuación:

Factores internos: Composición y características de la pasta

Factores externos: Humedad, temperatura, tiempo.

Los factores internos están fuertemente ligados a lo que desea la empresa en su producto y al proceso en sí mismo.

Los factores externos son los que se analiza para determinar los parámetros idóneos del proceso de curado.

El proceso de curado está compuesto de las siguientes etapas: humedad y secado, suceden los siguientes subprocesos:

- ✚ Oxidación del Plomo
- ✚ Recristalización de partículas tribásicos - tetrabásicos
- ✚ Corrosión de la rejilla
- ✚ mejora en el contacto de pasta y rejilla
- ✚ secado de pasta

### **1.3.1 Oxidación del Plomo**

La oxidación es un proceso exotérmico a mayor temperatura mayor velocidad de oxidación a una HR <81%, la presencia de H<sub>2</sub>O actúa como un catalizador, el calor liberado hace que la humedad se evapore a una temperatura entre 55°C < t < 75°C

La velocidad de oxidación de plomo depende de dos parámetros y una variable: temperatura, humedad, y la velocidad de evaporación de H<sub>2</sub>O es más intensa a una temperatura 40°C < t < 55°C.

### **1.3.2 Recristalización de tribásicos y tetra básicos**

En la preparación de pasta es donde empieza la caracterización a nivel molecular, dependiendo de los parámetros del proceso entre ellos la temperatura que forman cristales tribásicos (30°C < t < 60°C) y tetrabásicos (80°C < t < 95°C), durante el proceso de curado en la etapa de humedad empieza el crecimiento y alargamiento de los cristales; Si la pasta contiene cristales tribásicos paulatinamente se transforman en tetrabásicos a una temperatura de 80° < t < 95° y humedad relativa HR del 100%; si contiene tetrabásicos sufre el mismo efecto de crecimiento de tamaño dependiendo de las condiciones del proceso de curado.

### **1.3.3 Porosidad**

El sistema de porosidad de la masa empieza en la etapa de humedad a una HR del 40% los poros se abren completamente permitiendo el acceso de aire lo que da oportunidad a la oxidación completa del volumen de la placa es el segundo elemento que influye en el rendimiento de la batería.

#### **1.3.4 Corrosión de rejilla**

El proceso de corrosión indica cambios en la estructura de la rejilla, se presenta una capa de corrosión sobre la superficie, la oxidación del Pb empieza en base a la interface de la corrosión.

#### **1.3.5 Mejora contacto pasta/rejilla**

La fuerza de adhesión entre la pasta y la rejilla va en función del contenido de humedad, cuándo los poros están abiertos y el oxígeno entra en ellos la resistencia de adhesión está asociada con la formación de la corrosión en la rejilla mejorando el enlace entre pasta curada y rejilla que proporciona un contacto de masa activa de la red.

#### **1.3.6 Secado**

El objetivo del secado es mejorar la dureza y resistencia de la placa reduciendo el contenido de humedad  $<1\%$ , en el secado de pasta los poros con radio mayores son evacuados primero seguido de los menores, este comportamiento indica que la evaporación de humedad se comporta opuesto a la etapa de humedad del polvo de óxido de Plomo. Las partículas se interconectan en una masa porosa continua. Dando un efecto de contracción de la placa.

Diferentes programas se han probado en el proceso de curado de placas positivas de los cuales se ha obtenido las siguientes conclusiones.

*“La preparación de pasta con cristales tribásicos curadas a  $90^{\circ}\text{C}$  convirtiendo en cristales tetrabásicos presentan un buen rendimiento de potencia de salida en la batería, sin embargo, el clico de vida es más corto aproximadamente en 30% que las baterías con pasta tetrabásicos.*

*La preparación de pasta con cristales tetrabásicos curadas a temperatura  $50^{\circ}<t90^{\circ}$  presentan una larga vida útil de la batería, pero menor potencia”(Pavlov, 2001).*

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

En este capítulo se detalla la metodología a seguir en el desarrollo del proyecto para ello se sigue la metodología DMAIC la cual está compuesta por 5 etapas: Definición, Medición, Análisis, Mejora, Control. A continuación, se detalla las actividades que se realiza en cada etapa.

### 2.1 Medición

#### 2.1.1 Plan de Recolección de datos

Se realiza un plan de recolección de datos, la data a medir es el porcentaje de Pb libre en placas curadas este tipo de dato es continuo ya que tienen la característica de ser medido en una escala que puede ser dividida infinitamente, la medición se realiza por medio de una prueba química; a continuación, se muestra en la Tabla 2.1:

**Tabla 2.1 Plan de Recolección de Datos**

Plan de Recolección de Datos							
Datos		Definición Operacional	Cómo medir	Quién mide	Frecuencia de medición	Muestreo	Dónde se Registra
Qué	Tipo de dato						
% Pb libre en óxido	Continuo	Mezcladora	Análisis Químico	Operario	Cada Parada	Se registra toda la información en cada elaboración de mezcla	Registro de Calidad
% de humedad en Placas salidas del horno		Horno de secado	Equipo Analizador de Humedad	Operario	Cada Hora	Aleatorio Estratificado	Registro de Calidad
% Pb libre en Placas Curadas		Curado de Placas	Análisis Químico	Inspector	Finalizar el Proceso de Curado	Aleatorio Estratificado	Registro de Calidad
% de humedad en Placas Curadas		Curado de Placas	Equipo Analizador de Humedad	Inspector	Finalizar el Proceso de Curado	Aleatorio Estratificado	Registro de Calidad

Fuente: Investigación de campo, 2017.

Elaboración propia.

## 2.1.2 Estratificación de Datos

Se realiza una estratificación de datos con el objetivo de focalizar el problema, se segregó la data por: tipo de placa, por número de cuarto y por ubicación del rack dentro del cuarto; como se muestra en la Tabla 2.2:

**Tabla 2.2 Factores de Estratificación**

Preguntas	Y	Estratificación	Medida	Existe Data?	La Data ayuda a predecir Y	Herramienta	Valor p
En que se diferencian los tipos de Placa	% Pb libre	Por tipo de Placa	Peso	YES	NO	ANOVA	0,221
El Sistema de Curado es el mismo para todos		Por cuarto de Curado	% Placa No Conforme	YES	NO	ANOVA	0,038
La ubicaciones dentro del cuarto reciben el mismo tratamiento		Por Ubicación	% Pb libre por ubicación	YES	SI	DOE	0,004

Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración propia.

Se realiza un análisis estadístico ANOVA la data recolectada como se detalla en el plan de recolección, a continuación, se muestra los resultados en la Tabla 2.3:

## Análisis de Varianza

**Tabla 2.3 ANOVA Estratificación de data**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Type Plate	8	0,004423	0,000553	9,15	0,221
UCC	5	0,001044	0,000209	3,46	0,004
Room	2	0,000117	0,000059	0,97	0,380
Error	587	0,035474	0,000060		
Falta de ajuste	97	0,011305	0,000117	2,36	0,000
Error puro	490	0,024169	0,000049		
Total	602	0,040647			

Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración propia.

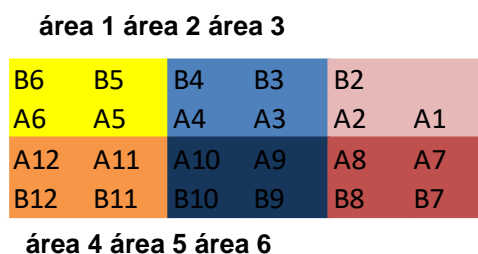
El resultado relevante es la estratificación por ubicación de rack con un valor  $P < 0,05$  por lo que se rechaza  $H_0$  y se concluye que existen diferencias significativas en el tratamiento de placas curadas por ubicación dentro del cuarto.

### 2.1.3 Muestreo

El Muestreo que se realiza es aleatorio estratificado el cual consiste en segregar la data por categoría que posean homogeneidad en el mismo estrato o alguna característica, el objetivo es asegurar que la data de interés esté representada adecuadamente en la muestra tomada.

### 2.1.4 Análisis de Capacidad

Se comparan la voz del proceso (variación) respecto a la voz del cliente (límites de especificación), midiendo la frecuencia con que las placas estén dentro de la especificación técnica nos ayuda a determinar la variabilidad de la característica de calidad ( $P_b \text{ libre} \leq 2\%$ ). Para ello se dividió la superficie del cuarto en 6 áreas, se tomaron muestras de tamaño  $n=10$  para monitorear el tratamiento de curado en cada área.

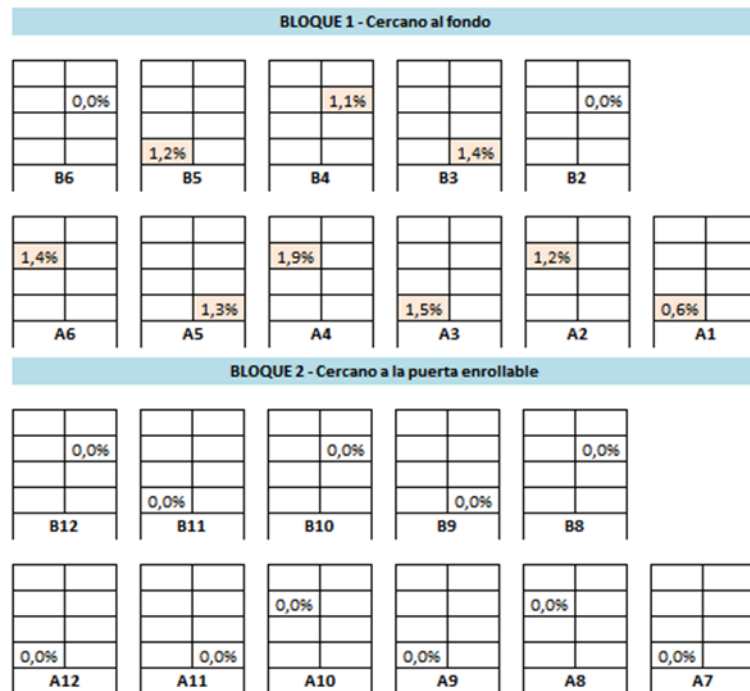


**Figura 2.1 Layout por área vs Ubicación**

Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración propia.





**Figura 2.2 Layout de ubicación de placas**

Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración Privada.

Para el análisis de capacidad se asume que el proceso se encuentra sometido únicamente a causas comunes de variación. A continuación, se muestra los resultados en la Tabla 2.4:

**Tabla 2.4 Análisis de capacidad por área**

área	CPk
área 1	0,24
área 2	0,35
área 3	0,19
área 4	0,55
área 5	0,20
área 6	0,24

Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración propia.

Para ver el análisis estadístico de capacidad del proceso ir al (Apéndice A).

Se observa que el área 4 presenta un mejor Cpk de 0,55 por el contrario, el área que presenta menor desempeño es el área 3 con un Cpk de 0,19. Se realiza un DOE en el que se define tres factores referentes a la posición del rack dentro del cuarto cada uno con dos niveles que se detallan a continuación:

Posición: A fila baja- B Fila alta

Localidad: Izquierda – Derecha

Cercanía: cercano al fondo (Back) – cercano a la puerta (Adelante).

A continuación, se muestra los resultados del análisis estadístico en la figura 2.3:

### Regresión factorial: %Pb libre vs. Posición. Localidad. Cercanía

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	0,000701	0,000100	3,14	0,066
Lineal	3	0,000176	0,000059	1,84	0,218
Posición	1	0,000033	0,000033	1,04	0,339
Localidad	1	0,000005	0,000005	0,16	0,701
Cercanía	1	0,000138	0,000138	4,32	0,071
Interacciones de 2 términos	3	0,000520	0,000173	5,43	0,025
Posición*Localidad	1	0,000068	0,000068	2,13	0,182
Posición*Cercanía	1	0,000001	0,000001	0,02	0,898
Localidad*Cercanía	1	0,000452	0,000452	14,14	0,006
Interacciones de 3 términos	1	0,000005	0,000005	0,16	0,701
Posición*Localidad*Cercanía	1	0,000005	0,000005	0,16	0,701
Error	8	0,000255	0,000032		
Total	15	0,000957			

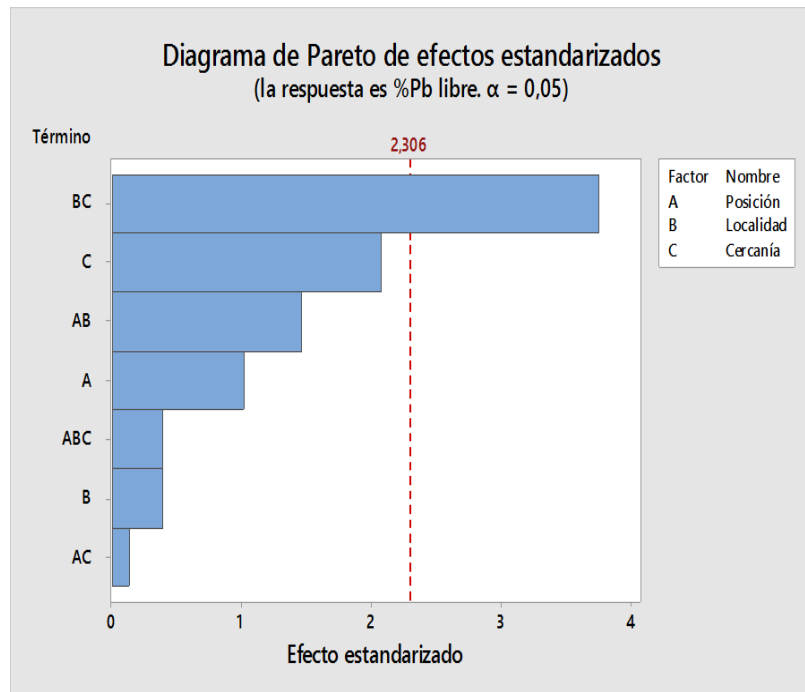
**Figura 2.3 Resultado de DOE Pb libre vs. Posición-Localidad-Cercanía**

Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración software Minitab.

Se observa que la interacción Localidad\* Cercanía tiene un valor  $P < 0,05$  por lo que se rechaza  $H_0$  y se concluye que existen diferencias significativas en la interacción de los factores Localidad\*cercanía en el tratamiento de curado de placas.

A continuación, se muestra la figura 2.4 el diagrama de Pareto de efectos estandarizados.



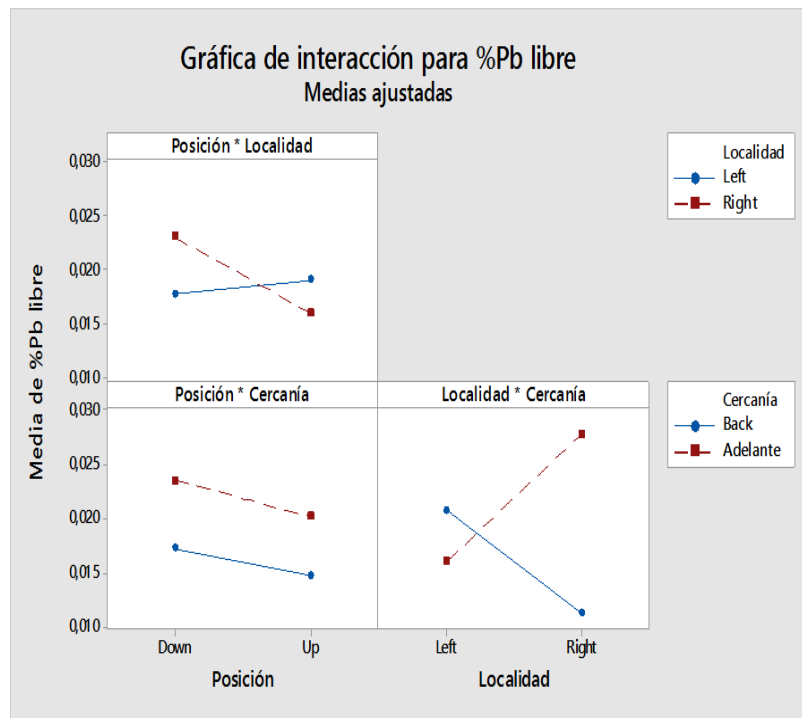
**Figura 2.4 Pareto de los efectos estandarizados**

Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración software Minitab.

El diagrama de Pareto nos ayuda a determinar la magnitud y la importancia de los efectos. Como se observa el factor de interacción BC (Localidad\*Cercanía) cruzan la línea de referencia lo que significa que son estadísticamente significativos en un nivel de 0.05.

A continuación, se muestra la figura 2.5 gráfica de interacción de factores:



**Figura 2.5 Interacción de los factores**

Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración propia.

Esta gráfica indica una interacción entre Localidad, cercanía y posición. La placa curada tiene un porcentaje de Pb libre más bajo su ubicación es: Localidad Izquierda y cercanía adelante de la puerta.

#### 2.1.4.1 Tasa de Oxidación de Plomo en el proceso de Curado.

Se analiza la tasa de oxidación del Pb para ello se realiza una medición desde las condiciones de entrada de la placa empastada hasta el proceso de curado en el cuarto #2 como se muestra en la tabla 2.5:

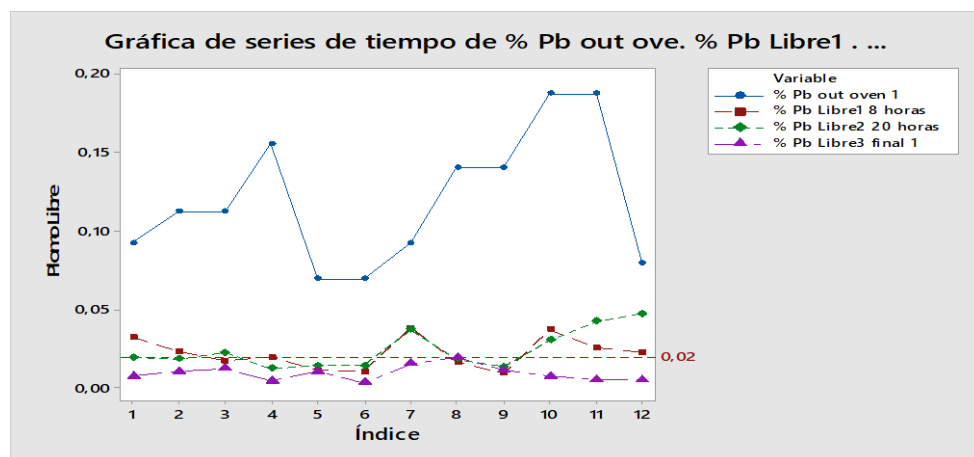
**Tabla 2.5 Comportamiento de la oxidación de Pb**

#Burro	Hora	Ubicación	%Pb óxido 1	%Pasta 1	% Pb salida del horno	% Pb Libre1 8 Hrs	% Pb Libre2 20 Hrs	% Pb Libre3 final 1	Placa	área
14	22:30	B11	26,8%	20,6%	9,20%	3,2%	1,9%	0,7%	M50Sb	4
12	21:15	A11	25,2%	11,6%	11,20%	2,3%	1,8%	1,0%	M60SSb	4
11	20:50	A12	25,2%	11,6%	11,29%	1,7%	2,2%	1,2%	M60SSb	4
10	20:20	B2	27,7%	18,4%	15,50%	1,9%	1,2%	0,4%	M60SSb	3
8	19:10	A1	25,8%	12,1%	6,90%	1,1%	1,4%	1,0%	M60SSb	3
7	18:50	A2	25,8%	12,1%	6,90%	1,0%	1,4%	0,3%	M60SSb	3
4	17:30	B5	26,8%	13,6%	9,20%	3,8%	3,7%	1,5%	M60SSb	1
2	16:50	A5	26,3%	19,0%	14,00%	1,6%	1,8%	1,9%	M60SSb	1
1	16:30	A6	26,3%	19,0%	14,00%	0,9%	1,3%	1,1%	M60SSb	1
19	1:15	B8	30,3%	17,5%	18,70%	3,7%	3,0%	0,7%	M50Sb	6
18	0:40	A7	30,3%	17,5%	18,70%	2,5%	4,2%	0,5%	M50Sb	6
17	0:00	A8	26,0%	11,5%	7,90%	2,2%	4,7%	0,5%	M50Sb	6

Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración propia.

Se realiza una gráfica de oxidación del Pb en cada una de las siguientes etapas de medición: óxido principal, pasta, placas salidas del horno, a las 8 horas del proceso de curado, a las 20 de horas del proceso, al finalizar el programa de curado. A continuación, se muestra en la figura 2.6:

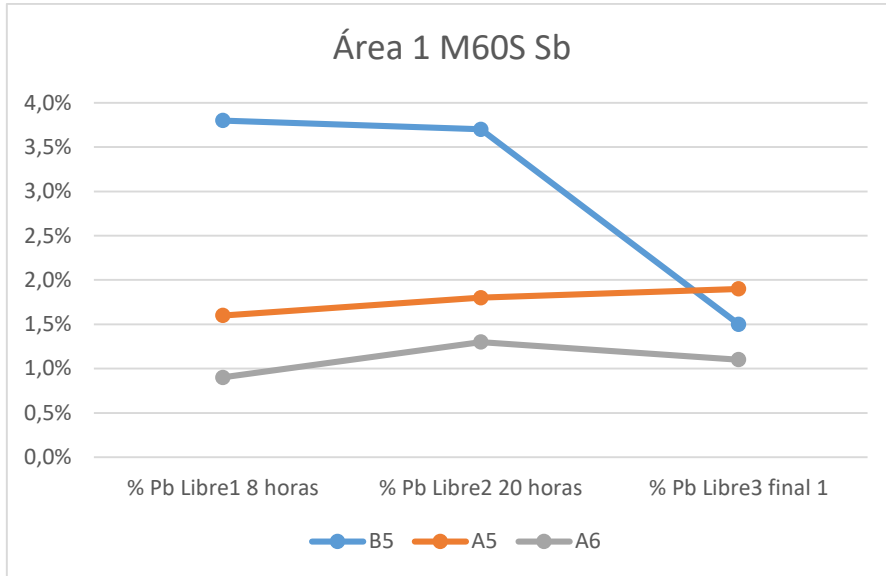


**Figura 2.6 Curva de oxidación de Pb Cuarto #2**

Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración software Minitab.

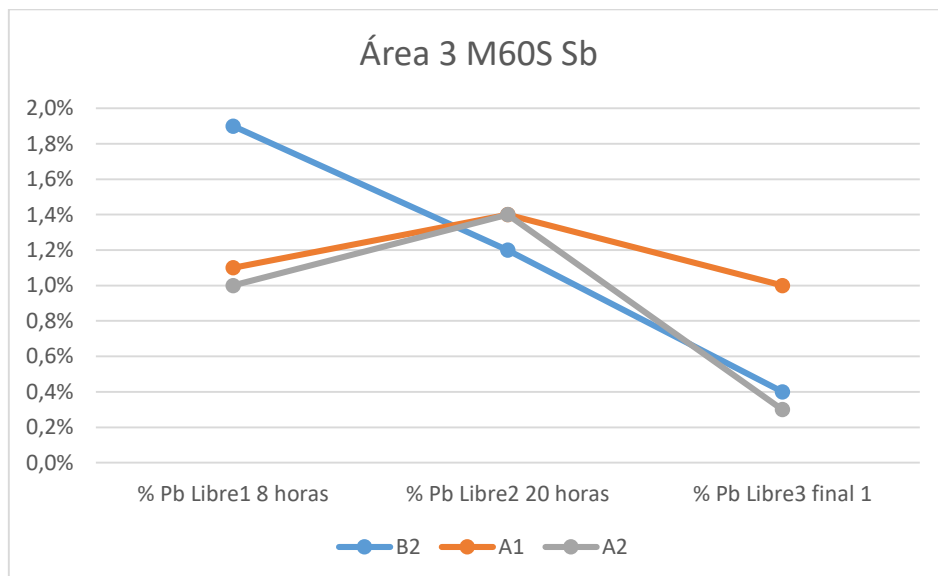
Se realiza gráficas de oxidación de Pb para las seis áreas definidas anteriormente dentro del cuarto en la figura 2.1:



**Figura 2.7 Curva de oxidación de Pb “área 1”**

Fuente: Investigación de campo, 2107.

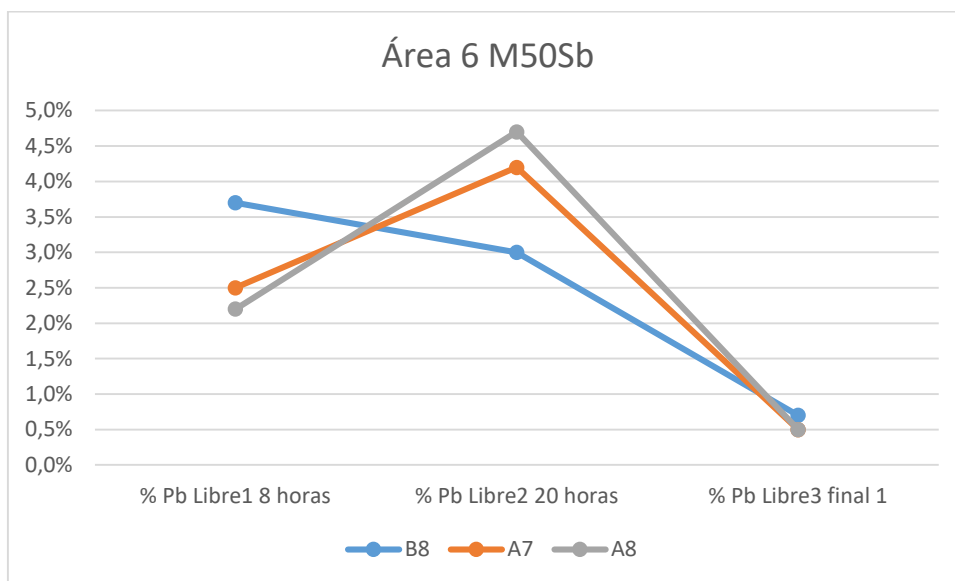
Elaboración software Excel.



**Figura 2.8 Curva de oxidación de Pb “área 3”**

Fuente: Investigación de campo, 2107.

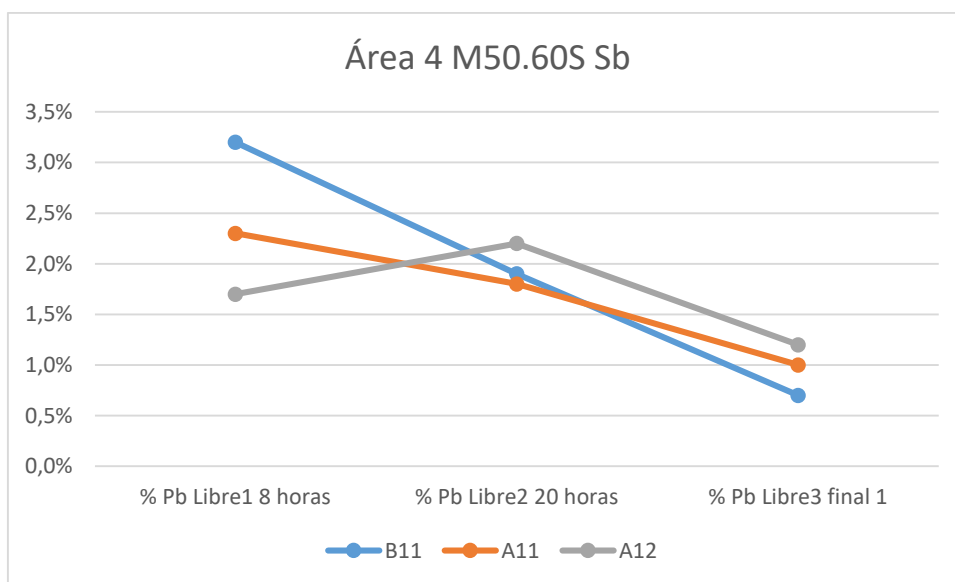
Elaboración software Excel.



**Figura 2.9 Curva de oxidación de Pb “área 6”**

Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración software Excel.



**Figura 2.10 Curva de oxidación de Pb “área 4”**

Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración software Excel.

## **2.2 Análisis de Causas**

En la etapa de análisis de causas se inicia con una lluvia de ideas en conjunto con el personal del proceso para definir las causas potenciales del problema definido en la sección 1.1.

Se realiza una representación gráfica de las causas que explican el problema obtenido en la lluvia de ideas por medio de un Diagrama de Ishikawa, A continuación, se muestra en la figura 2.12:



## 2.2.1 Ishikawa

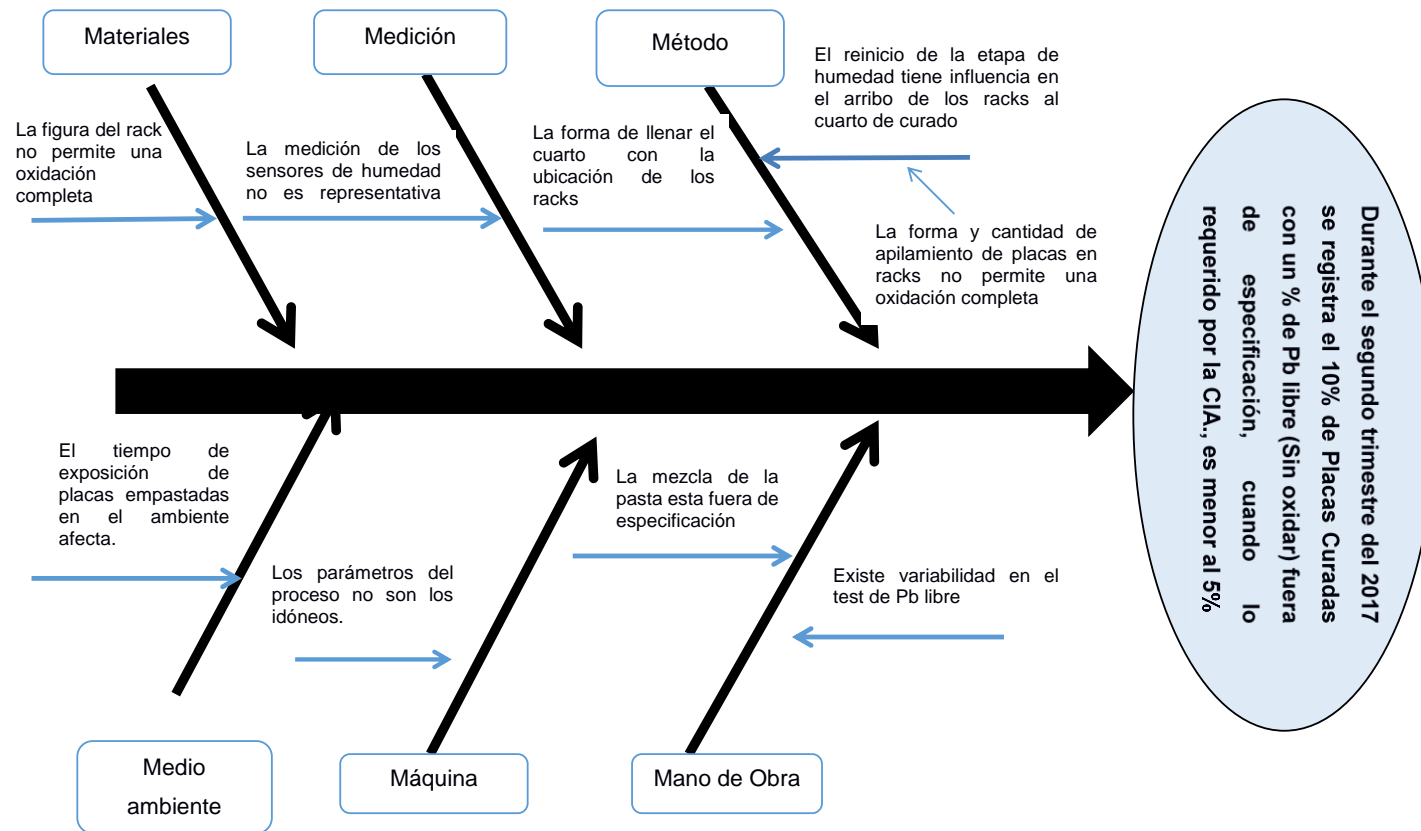


Figura 2.11 Diagrama de ISHIKAWA

Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración privada.

### 2.2.2 Priorización de causas

Se realiza una matriz de Impacto vs Control para clasificar las causas según su grado de efecto en la variable de respuesta (porcentaje de plomo libre) como se muestra en la Tabla 2.6:

**Tabla 2.6 Priorización de Causas**

La posición de los racks dentro del cuarto tiene diferente tratamiento. Los parámetros del proceso no son los idóneos Existe variabilidad en el test de Pb libre	El reinicio de la etapa de humedad tiene influencia en el arribo de los racks al cuarto de curado  La mezcla de pasta esta fuera de especificaciones
El tiempo de exposición de placas empastadas en el ambiente afecta. La medición de los sensores no es representativo para todo el espacio físico del cuarto	La figura del rack no permite un oxidación completa La forma y cantidad de apilamiento de racks no permite un oxidación completa

Fuente: Investigación de campo, 2017.  
Elaboración propia.

### 2.2.3 Plan de Verificación de causas

Se analiza las causas situadas en el área verde de la matriz de priorización, ya que tienen la característica de tener un alto impacto en el problema y mayor control por parte de la empresa.

Se realiza un plan de verificación de las causas potenciales como se detalla a continuación en la tabla 2.7.

**Tabla 2.7 Plan de Verificación de Causas Potenciales**

<b>N.-</b>	<b>Causas Potenciales</b>	<b>Impacto</b>	<b>Herramienta de verificación</b>	<b>Estado</b>
1	La Ubicación de los racks tiene diferente tratamiento de curado	De acuerdo a la localización de los racks dentro del cuarto, la velocidad del proceso de oxidación difiere.	Instrumento de medición	Completo
2	Los parámetros del proceso no son los idóneos	Los parámetros influyen directamente en el proceso	Teoría Química	Completo
3	Variabilidad en la prueba de Pb libre	Al no existir un procedimiento estandarizado de la prueba, no existe confiabilidad de la data	Gemba	Completo

Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración propia.

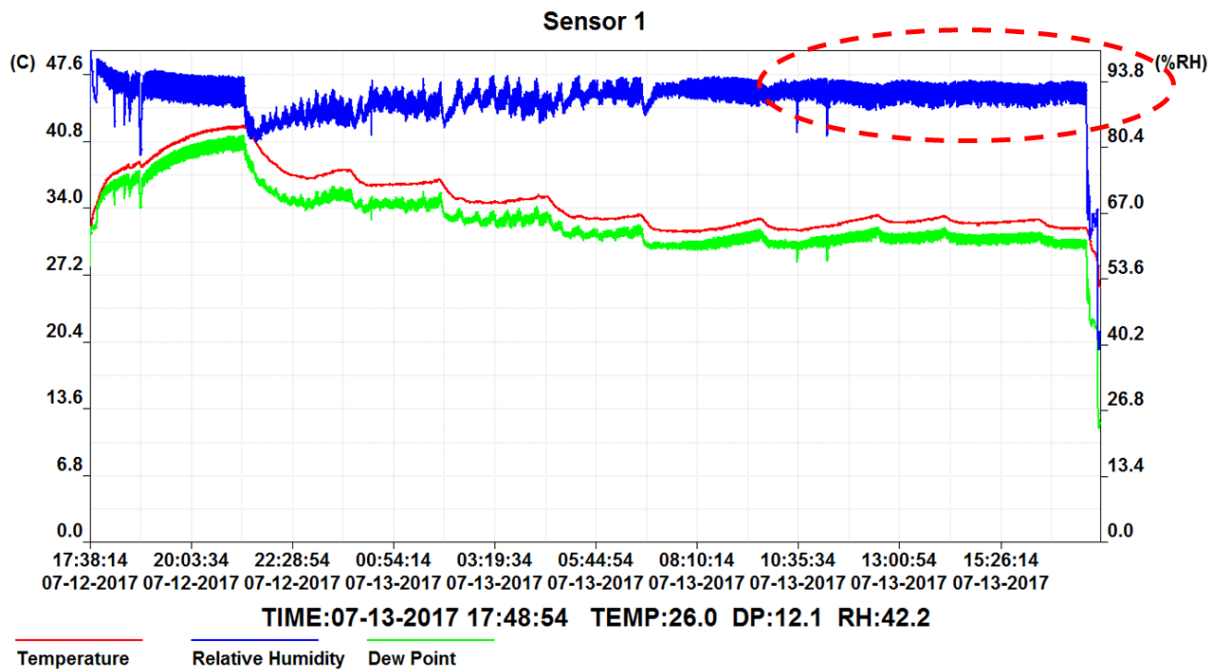
#### **2.2.4 Análisis de verificación de causas**

Se verifica las causas detalladas en la Tabla 3.2 Plan de Verificación de Causas Potenciales:

a) La Ubicación de los racks tiene diferentes tratamientos de curado.

Para verificar la causa se mide la temperatura y humedad relativa en diferentes puntos dentro del cuarto para corroborar si existe variabilidad en las mediciones; para ello se hizo uso de sensores de temperatura y humedad que registran las mediciones cada 10 segundos.

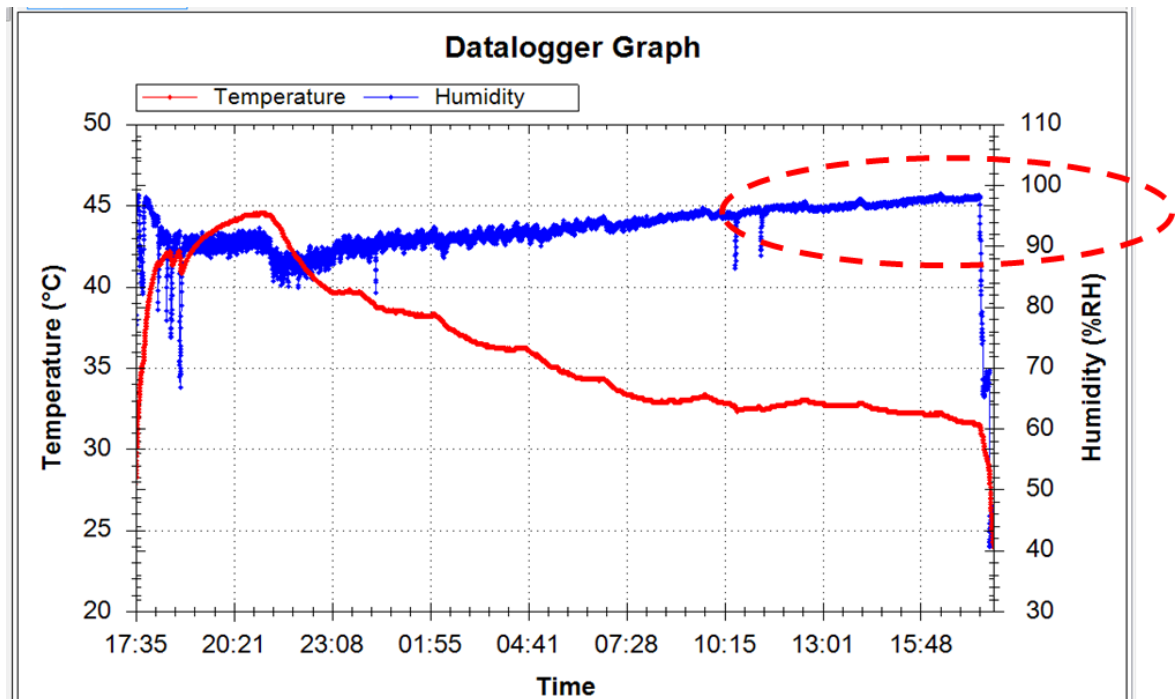
A continuación, se muestra en las figuras 2.13 - 2.14 - 2.15 la curva de los monitoreo de parámetros temperatura y humedad relativa en diferentes puntos dentro del cuarto.



**Figura 2.12 Área 3 “Monitoreo de Temperatura y HR”**

Fuente: Investigación de campo, 2107.

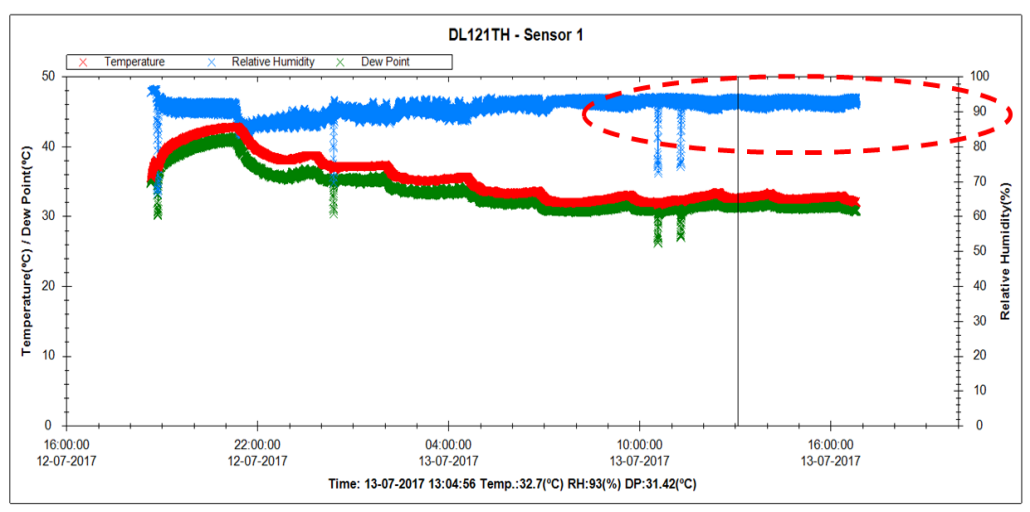
Elaboración Software.



**Figura 2.13 Área 2 “Monitoreo de Temperatura y HR”**

Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración Software.



**Figura 2.14 Área 6 “Monitoreo de Temperatura y HR”**

Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración Software.

Se puede observar que existe variabilidad con respecto al HR de  $\pm 2\%$  en la posición izquierda de los racks.

b) Los parámetros del proceso no son los idóneos.

Para validar esta causa potencial se utilizó de referencia el texto de manufactura de baterías Pb ácido, con el mismo se corroboró que la temperatura y humedad para un proceso de curado en fase húmeda debe ser:

*“Una temperatura que oscile entre  $40^{\circ}\text{C} < T < 45^{\circ}\text{C}$  y humedad relativa  $85\% < \text{HR} < 90\%$  en la etapa de recristalización, en la etapa de oxidación lo ideal es una temperatura de  $40^{\circ}\text{C} < T < 45^{\circ}\text{C}$  y humedad relativa  $75\% < \text{HR} < 86\%$ ” (Pavlov, 2001).*

c) Variabilidad en el test de Pb libre:

Se comprobó en el piso de producción el test de Pb libre ejecutada por el personal de calidad debidamente capacitado, la prueba tiene un procedimiento estandarizado para su realización, así mismo los

instrumentos de medición llevan controles de calibración al día, Para ver evidencias de validación de la causa ir al (Apéndice C).

### 2.2.5 Análisis de Causa raíz (5WH)

Se realiza una lluvia de ideas de 5 Por qué's en conjunto al personal del proceso para identificar la causa raíz como se detalla en la Tabla 2.8:

**Tabla 2.8 Análisis de Causa Raíz (5WH)**

	1er Por qué	2do Por qué	3er Por qué	4to Por qué	5to Por qué
<b>Máquina</b>	Los parámetros del proceso no son los idóneos	No hay un criterio definido para el establecimiento de parámetros			

Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración propia.

## 2.3 Mejora

Basado en las causas identificadas en Análisis se procede a desarrollar soluciones para mitigar o erradicar las causas del problema

### 2.3.1 Soluciones Propuestas

Se realiza una lluvia de soluciones de mejora para eliminar la causa raíz o por defecto controlar, como se muestra en la tabla 2.9:

**Tabla 2.9 Generación de soluciones por cada causa raíz**

Y Enfocada	Causa raíz	Solución	
% Placas fuera de especificación	No hay un criterio definido para el establecimiento de parámetros	Implementación de un nuevo sistema de curado	1
		Relocalización de racks	2
		Rediseño del Cuarto de Curado	3
		Definir parámetros en base un criterio e implementarlo	4

Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración propia.

### 2.3.2 Evaluación y Selección de Soluciones

Se realiza una tabla de ponderación para evaluar cada solución propuesta junto al personal del proceso.

Los valores evaluados en la matriz siguen la siguiente relación:

Muy fuerte= 9ptos

Fuerte= 3ptos

Débil= 1pto

A continuación, se muestra la tabla 2.10:

**Tabla 2.10 Evaluación de Soluciones**

Soluciones		Qué's				Importancia para la CIA	
		Implementación de un Nuevo sistema de curado	Rediseño del Cuarto	Relocalización de racks por tipo de placa	Establecimiento de nuevos parámetros		
		1	2	3	4		
1	Fácil	1	1	9	3	5	
2	Rápido	1	1	9	3	5	
3	Económico	1	3	3	9	5	
4	Optimiza el proceso	9	9	1	9	5	
DIFICULTAD (1 - 5)		5	4	1	2		
Evaluación de soluciones		ABSOLUTA	60	70	110	120	360
		RELATIVA (%)	16,67%	19,44%	30,56%	33,33%	100%

Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración propia

### 2.3.3 Plan de Implementación de Soluciones

Tabla 2.11 Plan de Implementación de Soluciones

Causa raíz X's	Qué	Por qué	Cómo	Dónde	Quién	Cuánto	Cuándo	Estado
No hay un criterio definido para el establecimiento de parámetros	Establecimiento de nuevos parámetros	Asegurar que el proceso se desempeñe con los parámetros correctos	Realizar un prueba con los siguientes parámetros t=45°C en la etapa de humedad por un tiempo de 12 horas	Cuarto de Curado	P. Villamar	Sin costo	15-ago-17	Complete

Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración propia

Para la implementación de soluciones se considera los parámetros referidos en el libro de (Pavlov, 2001). A continuación, se muestra en figura 2.16 – 2.17 el cambio realizado en el programa de curado del antes y después.

Initial parameters				
Step	Step	Current	Time hrs	HR
		Temperture		
1	Mositure	35°	21	95
2	Moisture	38°	4	85
3	Drying	40°	4	60
4	Drying	95°	19	0
	Total time		48	

Figura 2.15 Parámetros Iniciales del Proceso de Curado

Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración privada



Test Parameters				
Step	Step	Current	Time hrs	HR
		Temperature		
1	Mositure	40°	21	95
2	Moisture	45°	4	85
3	Drying	40°	2	60
4	Drying	95°	18	0
	Total time		45	

**Figura 2.16 Parámetros propuestos al proceso**

Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración privada.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS

En este capítulo se muestra el resultado obtenido posterior a la etapa de mejora en la metodología DMAIC. Comprobar y demostrar la mejoría del proceso en conjunto a los beneficios del proyecto (tangible e intangible).

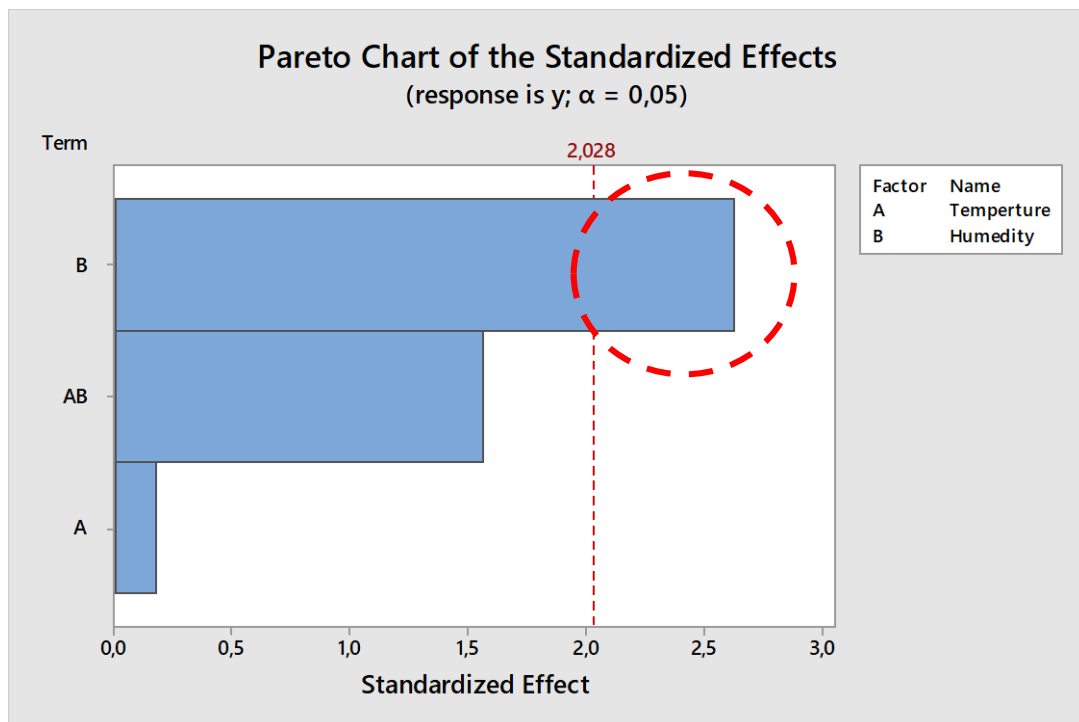
### 3.1 Resultados DOE (Diseño Factorial)

Se realiza un diseño factorial  $2^f$  tomando como referencia los parámetros sugeridos en (Pavlov, 2001)

- Temperatura con dos niveles: 35°C, 45°C
- Humedad relativa con dos niveles: 85%, 95%

**Número de réplicas =10**

A continuación, se muestra en la figura 3.1 un diagrama de Pareto de los efectos estandarizados de los factores definidos anteriormente.



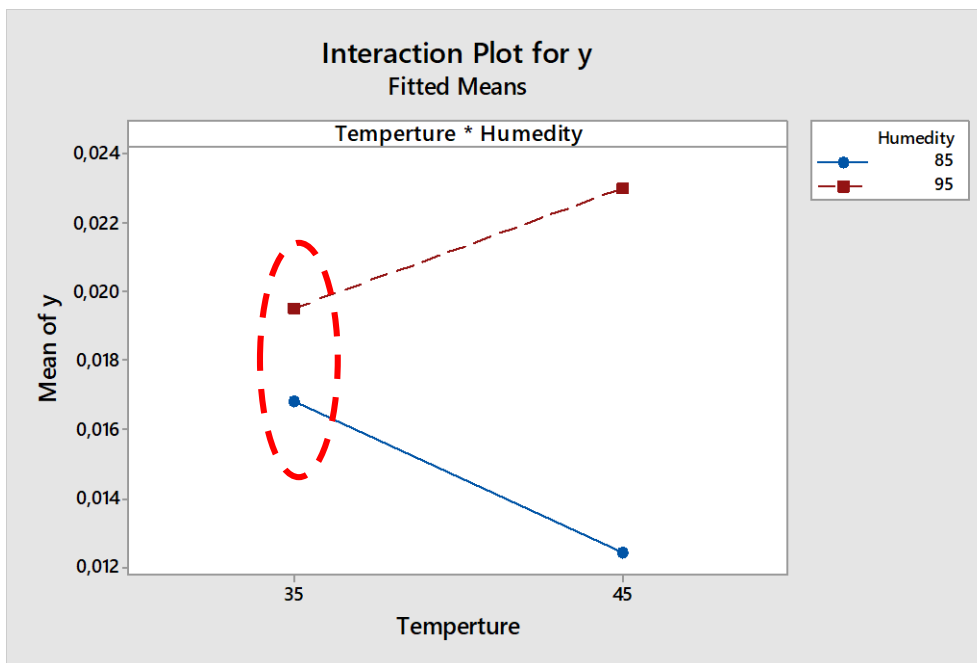
**Figura 3.1 Pareto de efectos estandarizados**

Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración propia

Como se observa el factor B de humedad) cruzan la línea de referencia lo que significa que son estadísticamente significativos en un nivel de confianza de 95% 0.05.

A continuación, se muestra la figura 3.2 gráfica de interacción de factores:



**Figura 3.2 Gráfica de interacción de parámetros**

Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración software Minitab

Esta gráfica indica la interacción entre temperatura y humedad. Como se observa existe menor porcentaje de Pb libre cuando se mantiene los siguientes parámetros: humedad relativa de 85% con una temperatura de 35°C. Para ver resultados de DOE de parámetros ir (Apéndice B).

Se realiza 3 corridas con los nuevos parámetros definidos:

✚ HR=85%

✚ T=45°C

A continuación, se muestra la corrida de validación con los resultados en la figura 3.3:

MUESTREO Y LIBERACIÓN DE CUARTOS DE CURADO						
Control de Calidad	Cuarto de Curado:		2	Límite de %Pb Libre:		2,0%
	Liberado por: Angel Johnson					
Semana	Tipo de Óxido	Tipo de Placa	Ubicación en CC.	% Plomo Libre	% Humedad	Coloración
34	Barton	M50SB	A1	1,4%	0,05%	Normal
34	Barton	M50SB	A2	1,4%	0,13%	Normal
34	Barton	M50SB	B2	1,3%	0,05%	Normal
34	Barton	L45SB	A3	2,0%	0,11%	Normal
34	Barton	M50SB	B3	1,7%	0,06%	Normal
34	Barton	L45SB	A4	1,9%	0,10%	Normal
34	Barton	M50SB	B4	2,0%	0,07%	Normal
34	Barton	L45SB	A5	1,9%	0,05%	Normal
34	Barton	L45SB	B5	2,0%	0,10%	Normal
34	Barton	L45SB	A6	2,0%	0,05%	Normal
34	Barton	M50SB	B6			
34	Barton	M50SB	A7	0,8%	0,08%	Normal
34	Barton	M50SB	A8	0,9%	0,09%	Normal
34	Barton	M50SB	B8	1,4%	0,08%	Normal
34	Barton	M50SB	A9	0,9%	0,08%	Normal
34	Barton	M50SB	B9	1,3%	0,08%	Normal
34	Barton	M50SB	A10	1,5%	0,07%	Normal
34	Barton	M50SB	B10	1,5%	0,07%	Normal
34	Barton	M50SB	A11	1,9%	0,07%	Normal
34	Barton	M50SB	B11	1,9%	0,06%	Normal
34	Barton	L45SB	A12	1,7%	0,10%	Normal
<b>Promedio</b>				1,6%	0,08%	
<b>Valor Mínimo</b>				0,8%	0,05%	
<b>Valor Máximo</b>				2,0%	0,13%	

**Figura 3.3 Corrida de validación**

Fuente: Investigación de campo, 2107.

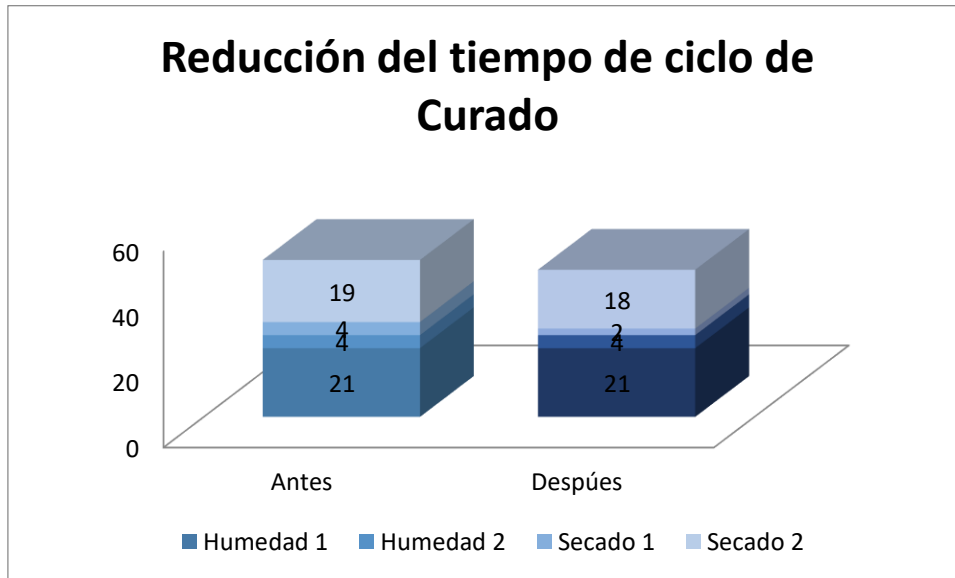
Elaboración privada.

Como se observa en la corrida de validación los resultados de Pb libre en placas curadas están dentro del rango  $\leq 2\%$  con un promedio de 1,6% del total de placas muestreadas.

### 3.2 Beneficios del Proyecto.

Con los nuevos parámetros definidos y corroborados se obtienen los siguientes beneficios:

- ✚ Reducción de tiempo del ciclo de Curado (Figura 3.4)
- ✚ Disminución de costos (Tabla 3.1)



**Figura 3.4 Reducción del tiempo de ciclo menos 3 horas**

Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración software Excel.

Con los cambios de parámetros de temperatura de 35°C a 45° tiene un efecto de aceleramiento en el proceso exotérmico de oxidación de Pb en la placa, dando lugar la reducción del tiempo de ciclo de 48 a 45 horas,

### 3.3 Estimación de Costos

Se realiza un análisis de costos incurridos en el proceso de curado que se detallan a continuación:

#### Costos

- Consumo de electricidad: \$Kwh= 0,091ctvs
  - Blower =\$ 32,58
  - Resistencias= \$45,86
  - Banco de resistencias= \$82,50
  - Compresor= \$16,27
- Consumo de agua:
  - Atomizador= \$3
- Sueldos Inspector por test de Pb libre= \$4,16
- Materiales para Prueba de Pb libre = 0,15 ctvs

**Tabla 3.1 Costos del Proceso de Curado**

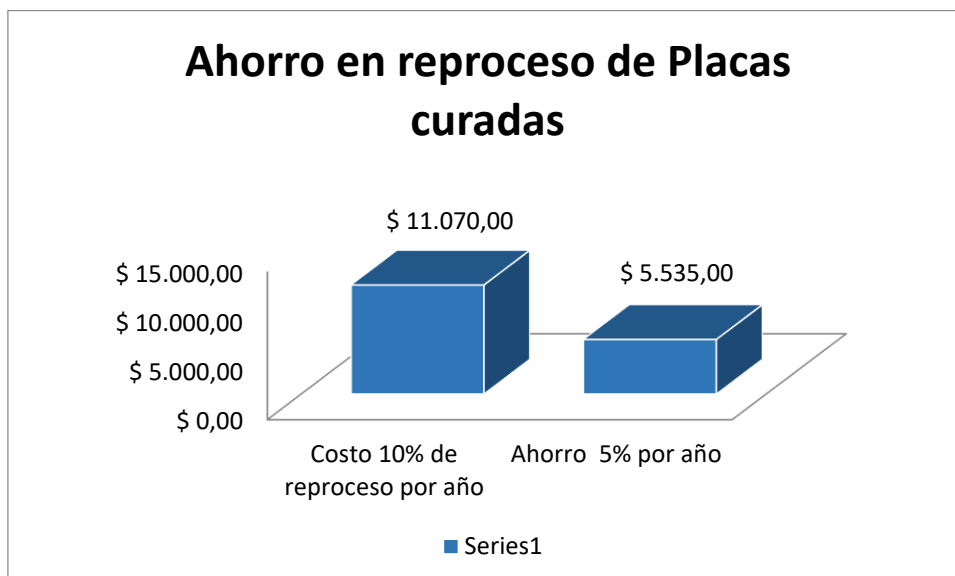
Costos Fijos	Por corrida del proceso de curado	Por burro	Reproceso (10%burros)
Sueldo	\$4,16	\$0,231ctvs	
Electricidad	\$177,21	\$9,84	
Agua	\$3,00	\$0,16ctvs	
Materiales	\$0,15ctvs	\$0,0008ctvs	
<b>Total de costos fijos</b>	<b>\$184,52</b>	<b>\$10,25</b>	<b>\$20,50</b>
<b>Total de costos por cuarto</b>	<b>\$8,301</b>	<b>\$461,25</b>	<b>\$922,5</b>
<b>Total de costo por mes</b>	<b>\$99,612</b>	<b>\$5,535</b>	<b>\$11,070</b>

Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración privada.

Costo ahorrado por reducción de reproceso de 10 a 5%= \$5,535 anual

A continuación, se muestra en la figura 3.5 las comparaciones de antes y después:



**Figura 3.5 Ahorro en reproceso de Placas Curadas**

Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración software Excel.

# CAPÍTULO 4

## 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este capítulo se realiza la discusión de los resultados presentados en la implementación del proyecto contrarrestando con el objetivo propuesto al inicio del mismo.

El proyecto se fundamenta con los estudios de (Pavlov, 2001). Los resultados obtenidos indica que en conjunto a un sistema de control de las condiciones de entrada de placas empastadas y el establecimiento de parámetros adecuados se da un proceso de curado eficaz.

### 4.1 Conclusiones

- ✚ Se corroboró que los parámetros que tiene mayor influencia en la fase de húmeda del proceso de curado, son la humedad relativa y temperatura.
- ✚ Se reduce el reproceso de Placas curadas No Conformes en un 5%.
- ✚ Se reduce el tiempo de ciclo del proceso de curado de 48 a 45 horas.

### 4.2 Recomendaciones

- ✚ Mantener las condiciones iniciales de entrada de placas empastadas en la gestión de carga de racks al cuarto, para asegurar un proceso de curado eficaz.
- ✚ Establecer un nuevo programa de curado definido por etapas de reacción química en la placa empastada.

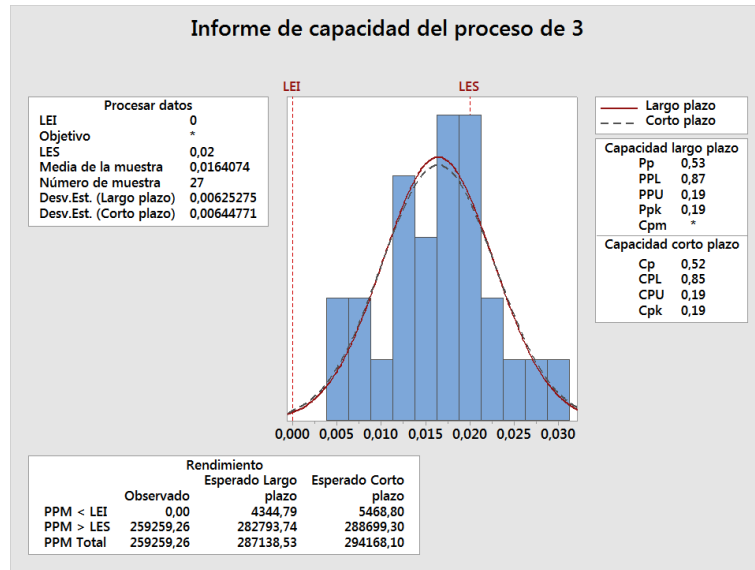
# BIBLIOGRAFÍA

- ANTONIO, S. S. (2009). Implementación de la gestión de procesos para mejorar el curado de placas para baterías de plomo ácido en Tecnova s.a. Guayaquil, Guayas, País: Universidad Guayaquil.
- Bosch. (s.f.). *Manual Bosch*. Recuperado el 1 de Agosto de 2017, de <http://serverwin.autonauticasur.com/Uploads/Bosch-NT-DC002%20Baterias%20Jun14.pdf>
- Brown-Lemay-Bursten. (1993). *Química- La Ciencia Central*. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A.
- DAVID, A. C. (2015). Diseño de sistema de producción para optimizar el tiempo del proceso de hidrofijación de placas de baterías en Tecnova S.A. Guayaquil, Guayas, Ecuador: Universidad Guayaquil.
- Faraday, M. (2010). *On Electrical Decomposition*. Philosophical Transactions of the Royal Society. Recuperado el 1 de Agosto de 2017, de Conocimiento con todos y para todos: <https://www.ecured.cu/Electrodo>
- GONZALO, M. S. (2014). Minimizar las pérdidas de escoria que se generan en la elaboración de rejillas de baterías automotrices de la empresa Tecnova S.A. Guayaquil, Guayas, Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- Hehner, N., & Orsino, J. A. (1986). *Storage battery Manufacturing manual III* (3 ed.). West Covina, California, USA: IBMA.
- Pavlov, D. (2001). *Lead-Acid Batteries Science and Technology* (1 ed.). Amsterdam, Netherlands: Elsevier.
- Rojas, A. R.-F. (2009). *Despliegue de la función de calidad (QFD)*. Madrid.



# APÉNDICE A

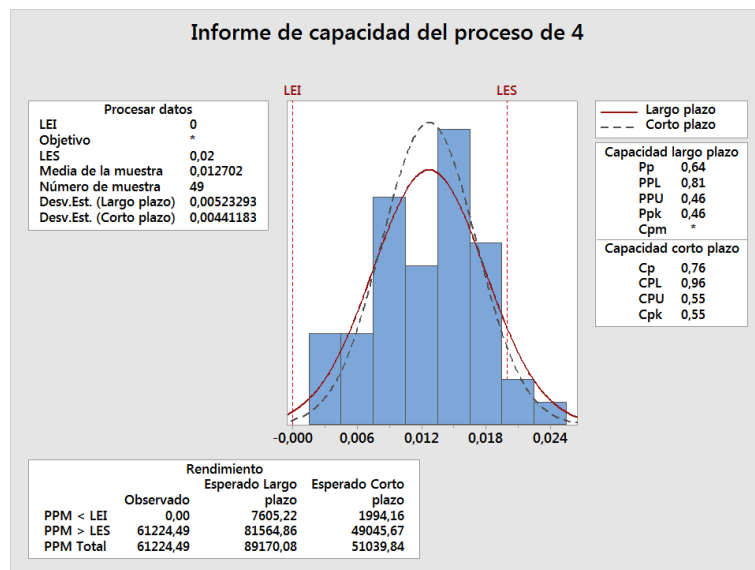
## Análisis de Capacidad por área dentro cuarto de curado: Área 3



Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración software Minitab.

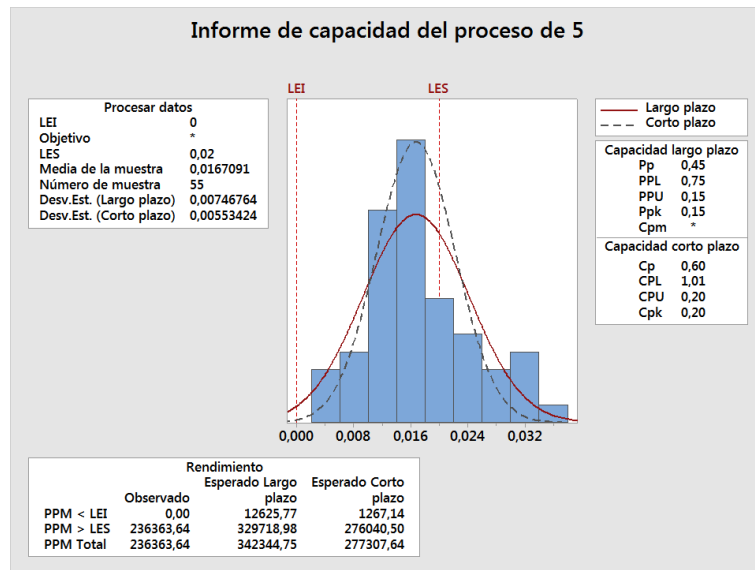
## Área 4



Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración software Minitab.

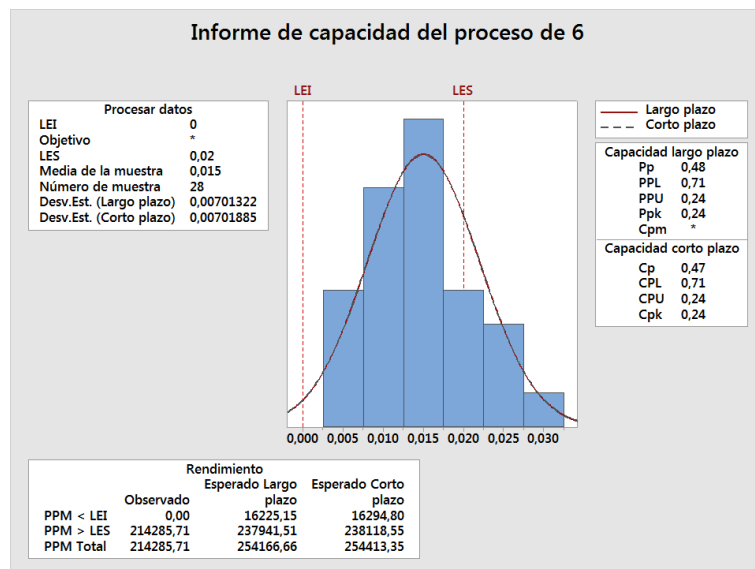
## Área 5



Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración software Minitab.

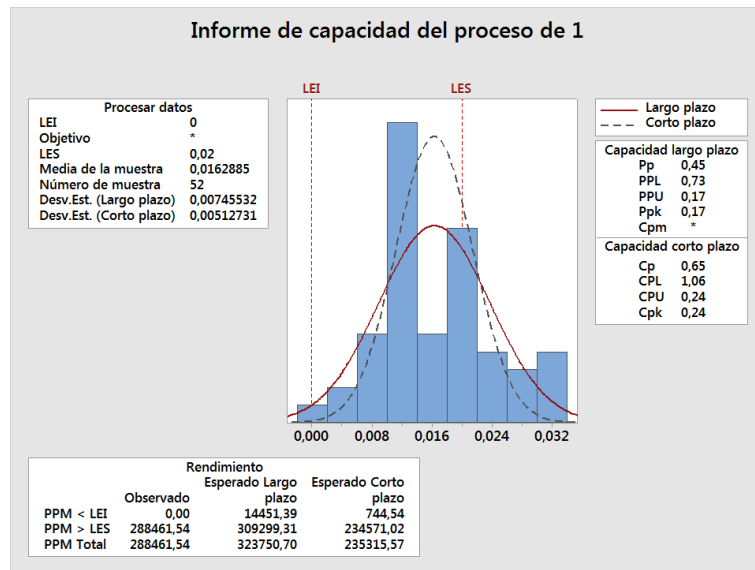
## Área 6



Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración software Minitab.

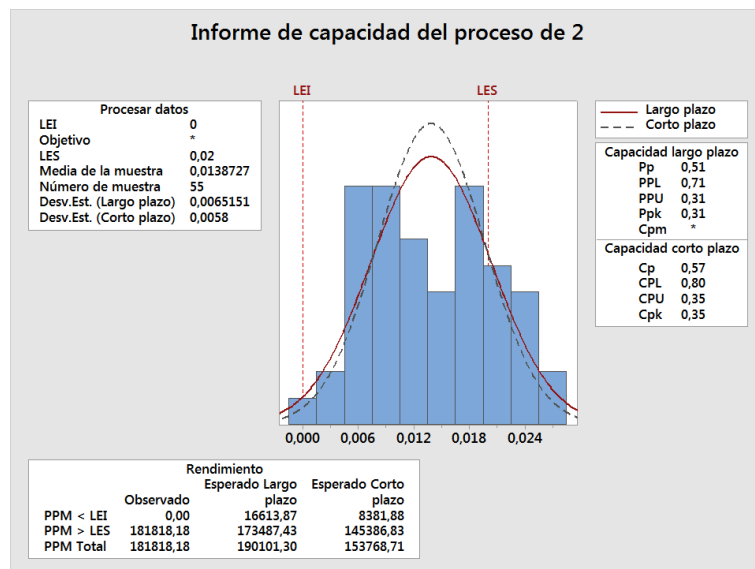
## Área 1



Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración software Minitab.

## Área 2



Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración software Minitab.

# APÉNDICE B

## Diseño de experimentos de parámetros Factorial Regression: y versus Temperture; Humedity

### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	0,000600	0,000200	3,11	0,038
Linear	2	0,000444	0,000222	3,45	0,042
Temperture	1	0,000002	0,000002	0,03	0,860
Humedity	1	0,000442	0,000442	6,88	0,013
2-Way Interactions	1	0,000156	0,000156	2,43	0,128
Temperture*Humedity	1	0,000156	0,000156	2,43	0,128
Error	36	0,002315	0,000064		
Total	39	0,002915			

### Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0080182	20,59%	13,98%	1,97%

### Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		0,01793	0,00127	14,14	0,000	
Temperture		-0,00045	0,00022	-0,18	0,860	1,00
Humedity		0,00665	0,00332	2,62	0,013	1,00
Temperture*Humedity		0,00395	0,00198	2,00	0,128	1,00

### Regression Equation in Uncoded Units

$y = 0,244 - 0,00716 \text{ Temperture} - 0,00250 \text{ Humedity} + 0,000079 \text{ Temperture*Humedity}$

### Alias Structure

#### Factor Name

A Temperture  
B Humedity

### Aliases

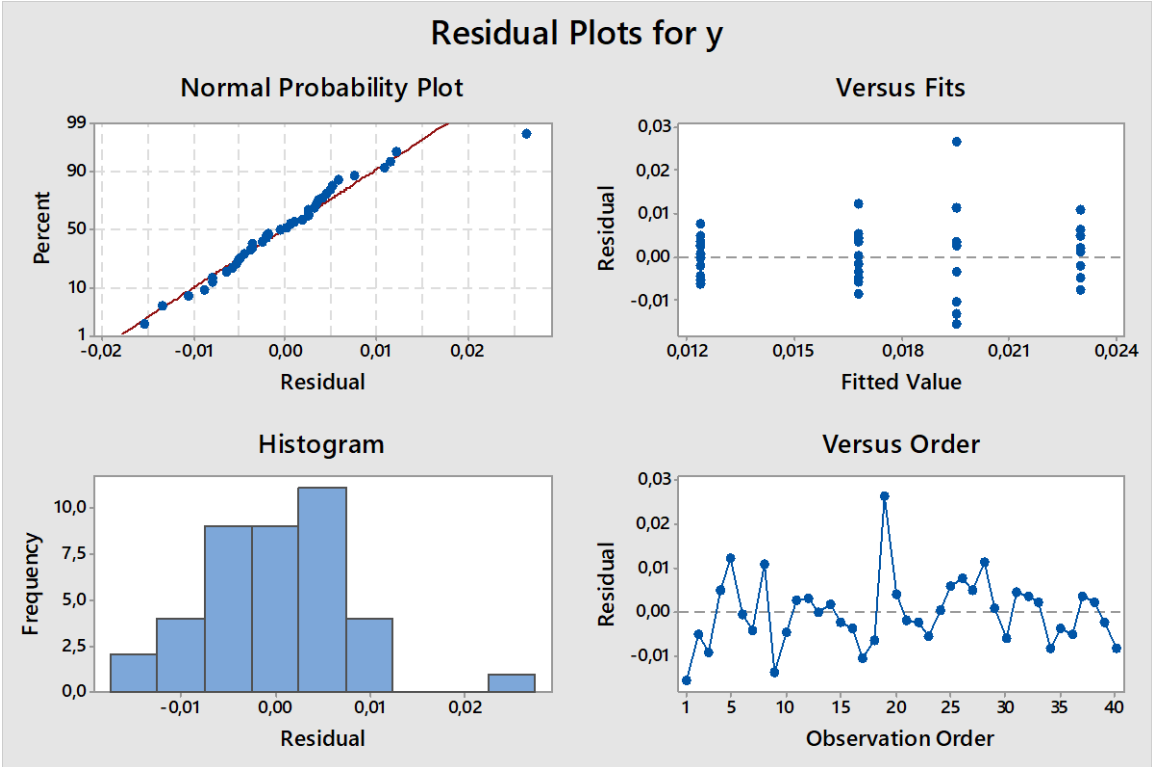
I  
A  
B  
AB

### Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	y	Fit	Resid	Std Resid
1	0,00400	0,01950	-0,01550	-2,04 R
19	0,04600	0,01950	0,02650	3,48 R

R Large residual

A continuación, se muestra la gráfica de residuos para comprobar que los residuos están distribuidos aleatoriamente con una varianza constante.



Fuente: Investigación de campo, 2107.

Elaboración software Minitab

# APÉNDICE C

## Sensores de Temperatura y humedad



## Test de Pb Libre



## Procedimiento estandarizado del test de Pb Libre

**Instrucción de Trabajo**  
9-64 Porcentaje de Plomo Libre en Placas y Obleas de Plomo

**Característica Especial**  
A. de Proceso: 100

**Propósito**  
Determinar la eficiencia del proceso de Curado, así como el proceso de fabricación de Obleas de Plomo.

**Alcance**  
Este procedimiento es aplicable a plomadas metálicas (plomo libre) en la masa sobre de placas, Obleas de Plomo que van a formar (Pb) o curadas.

**Equipo**

- Balanza con divisiones de 0.01 gramos (precisar entre de cada uno)
- Trazo de producción
- Material
- Muestra aleatoria

**Reactivos**

- Solución de Ácido Acético Glacial (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>) al 20%
- Agua ionomermolada
- Alcohol

**Procedimiento**

1. Preparación Solución Ácido Acético 20%
  - Para hacer una litada de capacidad de 2.5 litros, se realizan 2 preparaciones de 1,250 ml y una de 500 ml.
  - Cada preparación de 1,250 ml se realiza de la siguiente manera:  
En una probeta de 1,250 ml de capacidad se agrega 200 ml de ácido acético glacial 99.8+0.02 en el agua ionomermolada con la concentración 1 litro de solución al 20%.
2. LA PREPARACIÓN DE 500 ml se realiza de la siguiente manera:  
Se agrega en la probeta 500 ml de ácido acético glacial + 400 ml de agua ionomermolada, se obtiene aproximadamente 300 ml de solución al 20%.
3. Los muestra de bruto analítico, se colocan en platos, son depositados en un recipiente plástico para luego ser entregados al operador de la Planta de Tratamiento de aguas Residuales (PTAR), para su disposición final.

## Certificados de Calibración de equipos de medición

