



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA NUEVA LÍNEA DE  
PRODUCCIÓN PARA LA PILA AA (R6) EN LA  
COMPAÑÍA TRONEX S.A.S**

Autor  
Laura Ortiz Aguirre

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería  
química  
Medellín, Colombia  
2021



Implementación de una nueva línea de producción para la pila AA (R6) en la compañía Tronex S.A.S

**Laura Ortiz Aguirre**

Informe de práctica como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniera Química**

Asesores:

Natalia Andrea Gómez Vanegas – Ingeniera química

Andrés Felipe Roldán López – Coordinador I+D+i

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería química.  
Medellín, Colombia  
2021.

## Tabla de Contenidos

Resumen .....	1
1. Introducción.....	3
2. Objetivos .....	4
General: .....	4
Específicos: .....	4
3. Marco Teórico .....	5
4. Metodología.....	14
4.1 Identificación del estado de las líneas 1 y2 de producción de la pila AA	14
4.2. Evaluación de las variables de control de la nueva línea .....	16
4.3 Información documentada del sistema de gestión de la calidad .....	16
4.4. Ensayos y seguimiento de control de calidad.....	17
5. Resultados y análisis .....	19
5.1. Identificación del estado de las líneas 1 y2 de producción de la pila AA .	19
5.2. Evaluación de las variables de control de la nueva línea de producción.....	23
5.3. Información documentada del sistema de gestión de la calidad .....	31
5.4. Ensayos y seguimiento de control de calidad.....	32
6. Conclusiones .....	37
7. Recomendaciones .....	39
8. Bibliografía.....	40

**Lista de tablas**

Tabla 1. Dimensiones dictadas por el reglamento.....	10
Tabla 2. Mínima duración promedio dictada por el reglamento .....	10
Tabla 3. Variables medidas en cada estación, instrumentos e indicaciones.....	14
Tabla 4. Desviación estándar de las variables principales línea 1 y 2.....	19
Tabla 5. Estadística peso de la mezcla para las líneas R6.....	27
Tabla 6. Estadística peso del sellante para las líneas R6.....	28
Tabla 7. Estadística altura de hombros para las líneas R6 .....	29
Tabla 8. Estadística altura total para las líneas R6 .....	30

## Lista de figuras

v

- Figura 1. Proceso de manufactura pilas zinc/carbón compañía Tronex S.A.S.....7  
Figura 2. Cantidad de pilas producidas y porcentaje de rechazos por cada producción .....33

# IMPLEMENTACIÓN DE UNA NUEVA LÍNEA DE PRODUCCIÓN PARA PILA AA (R6) EN LA COMPAÑÍA TRONEX S.A.S

---

## Resumen

La compañía Tronex S.A.S identificó la necesidad de implementar una nueva línea de producción de pilas AA, que representara mejoras con respecto a las otras dos que ya estaban en funcionamiento; bien fuera en la calidad de las pilas producidas, costos de producción, optimización de recursos, eficiencia y rechazos de producción, o tiempo de vida. El inicio de la línea implicó realizar un seguimiento que permitiera evidenciar el estado tanto de las estaciones involucradas en el proceso, como de las pilas producidas; para posteriormente implementar las mejoras en cada línea.

La etapa de diagnóstico consistió en ingresar un conjunto de vasos de zinc a las líneas, e irlos tomando cada que pasaran por cada estación, medir las variables principales en cada una de ellas, y observar su comportamiento, entre los diferentes días y en cada línea de producción; además se ingresaron un grupo de estas pilas a pruebas de descargas en el laboratorio de pilas de la compañía. Las variables estudiadas fueron: dimensiones de los vasos de zinc, peso y profundidad de la mezcla, profundidad del tuck washer, altura de celda; peso del sellante, altura de hombros y altura total.

La segunda etapa del proyecto, consistió en realizarle un seguimiento a las primeras diez producciones de la nueva línea, a las cuales se les realizó: chequeos de voltaje semanal, durante un mes, las respectivas autopsias a las pilas rechazadas en estos chequeos, que evidenciaran el defecto que produjo su rechazo, y pruebas de descargas en hornos de 45°C y 55°C. Las etapas del proyecto, involucran análisis estadísticos

por medio de la obtención de los parámetros estadísticos de los datos tomados en ellas: promedio, rango, mediana, desviación estándar, y los histogramas que mostrarán el comportamiento de los datos tomados.

Los resultados permitieron establecer que la estación que trabaja con menor control es la de inyección de la mezcla, y que las variables más controladas son el peso del sellante, y las alturas de hombros y total. Igualmente, se obtuvo que las primeras diez producciones de la nueva línea, se comportaban de forma irregular, en cuanto a la cantidad de rechazos y pilas producidas. Sin embargo, se pasó de tener un porcentaje de rechazos de 79,21% a 0,99%, que es igual al porcentaje con el que trabajan las líneas actuales, por lo que se obtiene que tener una profundidad menor de tuck washer, como con la de la décima producción es mejor. Se considera de esta manera que la línea está en condiciones para comenzar producción que pueda ser comercializada.

## 1. Introducción

Tronex S.A.S es una compañía especializada en la fabricación, comercialización y distribución de productos y servicios de portabilidad y respaldo energético; cuenta con la única fábrica de pilas independiente en América Latina, y el único laboratorio de pilas de Colombia certificado bajo la norma ISO 17025, que atiende clientes a nivel mundial. (TRONEX, 2020)

Para Tronex la innovación es un pilar, convirtiéndose en pieza clave dentro de la estrategia corporativa, por esto continuamente explora nuevas oportunidades y tecnologías para ofrecer productos y servicios que aportan al mejoramiento y sostenibilidad de los negocios (TRONEX, 2020), por lo que decidió implementar una nueva línea de producción de pilas AA, que mejoraran los indicadores de eficiencia, rechazos, y permitiera la optimización de los recursos. Sin embargo, antes de ponerla en funcionamiento, era importante realizarle un estudio que permitiera evidenciar el estado de las líneas de producción actuales, para saber en qué condiciones se encontraban, y que se requería mejorar; y, una vez fue posible obtener unas producciones de prueba de la nueva línea, se les realizaron una serie de pruebas que permitieron mostrar, como se comportaban estas pilas, con respecto a la de las otras líneas. En el presente informe se muestran los resultados, para los diferentes estudios involucrados en la implementación de la nueva línea de producción de pila AA.



## 2. Objetivos

### **General:**

Implementar el sistema de calidad en una nueva línea de producción para la pila AA dentro de la compañía TRONEX S.A.S, que represente mejoras con respecto a las anteriores (ya sea en calidad, costos de producción, optimización de recursos, eficiencia y rechazos de producción, tiempo de vida, etc)

### **Específicos:**

- Identificar el estado de las líneas de producción de la pila AA, mediante análisis estadísticos de las variables críticas, el cual permitirá evidenciar las debilidades y fortalezas del proceso actual.
- Evaluar las variables de control de la nueva línea de producción, comparándolas con los estándares establecidos y con las variables de las actuales líneas.
- Establecer las condiciones operacionales en el proceso de obtención de la pila AA basados en los hallazgos encontrados en las no conformidades.

### 3. Marco Teórico

La Pila es un dispositivo capaz de generar corriente eléctrica, su funcionamiento consiste en transformar la energía química de sus componentes en energía eléctrica, y es utilizada para el funcionamiento de muchos aparatos. Existen diversos tipos de pilas eléctricas, pero en cada una los detalles constructivos y los materiales utilizados para producir la corriente eléctrica tienen el mismo fundamento; y en todas se encuentran los siguientes elementos: electrodo positivo (elemento que se reduce), electrodo negativo (elemento que se oxida), y electrolito. Las pilas se pueden clasificar en primarias y secundarias; las primarias, se basan en reacciones químicas no reversibles, es decir, no se recargan; las secundarias, se basan en reacciones reversibles, es decir, pueden recargarse. (ConceptoDefinición, 2020) (Tronex, 2016)

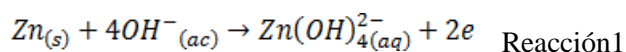
Uno de los tipos de pilas más empleados es el tipo zinc/carbón, estas convierten la energía química en eléctrica, mediante una reacción de óxido-reducción. El sistema electroquímico que emplean es zinc/dióxido de manganeso; donde el zinc es el electrodo negativo (ánodo), es decir, quien se oxida, y el dióxido de manganeso, es el electrodo positivo (cátodo), es decir, quien se reduce; el electrolito más empleado es el cloruro de zinc. Internacionalmente existe una designación para este tipo de pilas, y varía según su tamaño; inicia con la letra R en mayúscula, las R03 son las pilas AAA, las R6, las AA; y las R20 las pilas D. (Tronex, 2016)

Las reacciones en las que hay un cambio en las cargas de algunos o todos los reactivos se denominan reacciones de oxidación-reducción (redox), debido a que hay cambios en la carga, se pueden considerar reacciones con la inclusión de electrones que muestran el

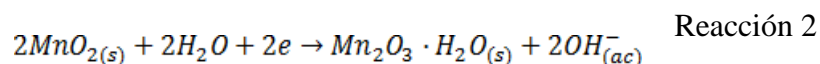
movimiento de electrones de un participante en la reacción a otro. Toda reacción química tiene una fuerza impulsora, una razón por la que procede como lo hace, se puede decir que la razón por la que proceden las reacciones de oxidación-reducción es porque un átomo está cediendo electrones y otro los acepta. (Jerome L. Rosenberg, 2013)

En el caso de las pilas zinc-carbón, que se fundamentan en la reacción de oxidación-reducción que se da entre el zinc metálico y el dióxido de manganeso, teniendo como electrolito el cloruro de zinc, en el ánodo, es decir, en el electrodo de polaridad negativa, se produce la oxidación del zinc (Zn) pulverizado; mientras que en el cátodo, es decir, en el electrodo de polaridad positiva, se produce la reducción del óxido de manganeso (IV) ( $MnO_2$ ), (que actúa como oxidante) para dar óxido de manganeso (III) ( $Mn_2O_3$ ). Las semirreacciones que se producen son: (Quimitube.com, 2020)

Ánodo: semireacción de oxidación:



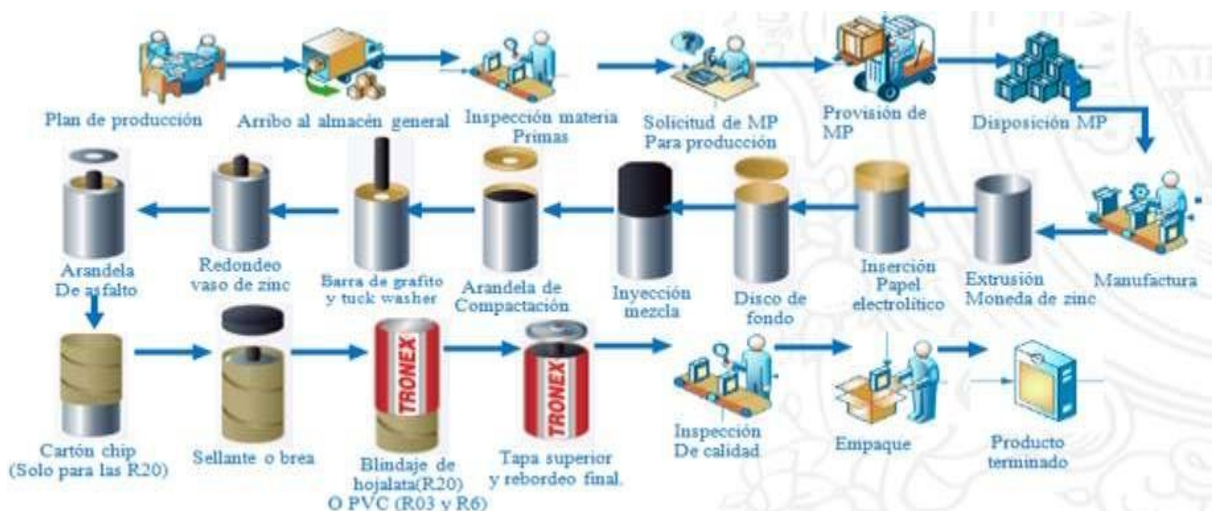
Cátodo: semireacción de reducción:



### **Proceso de manufactura de pilas en la compañía Tronex S.A.S**

En la compañía Tronex existe un protocolo de manufactura establecido para el tipo de pilas zinc/carbón, y es en general el mismo, para cualquiera de las tres referencias; el cual se muestra esquemáticamente en la figura 1. (Tronex, 2016)

Figura 1. Proceso de manufactura pilas zinc/carbón compañía Tronex SAS



La figura 1 muestra que los elementos principales dentro de una pila son:

1. **El vaso de zinc (Zn):** el vaso de zinc actúa en la pila como el ánodo o el elemento que se va a oxidar en la reacción de óxido-reducción; además, va a almacenar los componentes del cátodo. (Tronex, 2016)
2. **El papel electrolítico:** es un tipo de papel fibroso que separa los electros, permitiendo que el ánodo (zinc) y el cátodo (dióxido de manganeso) no estén en contacto directo, sino que va a permitir el paso de los electrones de la reacción. (Energizer, 2000)
3. **Mezcla:** la cual contiene 6 elementos principales:
  - **Dióxido de manganeso (MnO<sub>2</sub>):** actúa como cátodo, es decir que será el elemento que se reduzca en la reacción de óxido reducción, al reaccionar con el zinc. El dióxido de manganeso, es el óxido más importante del manganeso, se emplea en pinturas y barnices para pintar cristales y cerámica, en la obtención de cloro y yodos. (Tronex, 2016) (Cerámica Fandom)

- **Cloruro de zinc ( $ZnCl_2$ ):** junto con el zinc y el dióxido de manganeso son los tres elementos de la reacción de óxido reducción; pues la solución de cloruro de zinc en agua actuará como electrolito, es decir, como el medio de movimiento de los iones en la pila; también se encarga de llevar la corriente iónica al interior de la pila (Energizer, 2000)
- **Óxido de zinc ( $ZnO$ ):** es un aditivo modulador de las propiedades eléctricas, insoluble en agua, posee una alta movilidad de electrones; en el caso de las pilas, se emplea como regular del voltaje. (VadeQuímica, 2019)
- **Negro de acetileno (C):** o negro de carbón, es un tipo de carbón, de cadena larga; es un polvo negro poco denso, blando y empleado en aplicaciones industriales que requieren de alta conductividad eléctrica, en las pilas ayuda a que toda la mezcla tenga la misma conductividad. El dióxido de manganeso de mezcla con él para aumentar la conductividad eléctrica. (Lazaldea Reyes, 2013)
- **Nonilfenol ( $C_{15}H_{24}O$ ):** posee cualidades como emulsionante, desengrasante y humectante; al combinarse con un catalizador básico, produce un agente tensoactivo; en la pila al emplearse como humectante, ayuda a romper la tensión superficial, haciendo que los diferentes componentes se puedan mezcla. (Ernst, 2004)
- **Cloruro de amonio ( $NH_4Cl$ ):** es otro tipo de sal al igual que el cloruro de zinc, por ende, este también sirve como electrolito, es una sal cristalina blanca altamente soluble en agua; gracias a esto, cumple en la pila, la función de ser un reservorio de agua. (gobierno de España, 2007)

**4. Barra de grafito o carbón (C):** al estar rodeado por el dióxido de manganeso, permite conducir la electricidad a través de la pila, el grafito conduce muy bien la energía eléctrica que se produce en la pila (Aldebaran, 2016). La elaboración del grafito sintético se deriva de distintos recursos de origen inorgánico y mineral como el coque de petróleo y la brea, los cuales se mezclan para formar una especie de pasta. A partir de esta materia se elaboran barras mediante procesos de extrusión, moldeo e isomoldeo. Posteriormente pasan por un proceso de carbonización y grafitación a temperaturas alrededor de los 3000°C para darle al material sus propiedades finales.

**5. Sellante:** el sellante empleado es una brea.

Tronex S.A.S se rige bajo estándares altos de calidad, no solo nacionales, sino internacionales; que permiten que sus productos cumplan con los requerimientos exigidos por los clientes y las normas. En Colombia, el ministerio de comercio, industria y turismo; y el de ambiente y desarrollo sostenible, en la resolución número 0721 de 18 de abril de 2018; expide el **“Reglamento técnico para pilas Zinc-Carbón y alcalinas que se importen o fabriquen nacionalmente para su comercialización en Colombia”**; el cual la compañía marca como referente fundamental en cada uno de sus procesos. Dicho reglamento delimita los requisitos generales, descritos en el numeral 6, que deben cumplir las pilas Zinc-Carbón (en este caso) que se fabriquen nacionalmente para su comercialización en Colombia, los cuales son: (Reglamento técnico de pilas Zinc-Carbón y Alcalinas, 2018)

- Rotulado: debe contener: designación, fecha de vencimiento, país de origen, polaridad del borne positivo, tensión nominal, y marca del producto
- Etiquetado: debe contener: cantidad de pilas, nombre del productor nacional o importador, sistema electroquímico y marca comercial
- Aspecto físico: es una inspección visual que le realiza un ente calificador, buscando que no se presenten defectos físicos como: fuga, golpes o magulladuras que deformen o alteren las dimensiones de la pila, presencia de corrosión, o deterioro en el rótulo
- Dimensiones: las pilas producidas deben cumplir con unas medidas específicas de diámetro y altura, tales parámetros de dimensiones se muestran en la tabla 1, las delimitan en el numeral 7.1.

*Tabla 1. Dimensiones dictadas por el reglamento*

<b>Tipo</b>	<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Altura (mm)</b>
R03	9,8 - 10,5	43,3 - 44,5
R6	13,7 - 14,5	49,5 - 50,5
R20	32,3 - 34,2	59,5 - 61,5

- Tensión nominal: es el valor aproximado utilizado para identificar la tensión de una pila, el reglamento especifica que debe ser igual o menor a 1,725V.
- Mínima duración promedio: es el valor mínimo prefijado para la duración media de un grupo de pilas sometido a ensayos de descarga, según el numeral 7.3 es, en la tabla 2, se muestran los valores que este debe tener:

*Tabla 2. Mínima duración promedio dictada por el reglamento*

<b>TIPO</b>	<b>Condiciones de descarga</b>			<b>MAD</b>
	<b>R (<math>\Omega</math>)</b>	<b>Periodo diario (h)</b>	<b>EV (V)</b>	
R03	5,1	1	0,8	0,5h
R6	3,9	1	0,8	1,08h
R20	2,2	1	0,8	5,5h

- Designación: se hace tomando en cuenta el sistema electroquímico de la pila, en este caso Zinc-Carbón, que se designa con una R; y el tamaño de la pila, si son AA (R6), AA (R03) o D(R20), según el reglamento numeral 7.4.

En la pila se pueden presentar una serie de defectos, que son reflejo de una falla en su fabricación, los principales son: (Reglamento técnico de pilas Zinc-Carbón y Alcalinas, 2018)

- **Arandela de compactación ladeada:** puede provocar un contacto entre la mezcla que contiene el dióxido de manganeso, y el vaso de zinc, o la tapa de zinc; lo que puede provocar un corto.
- **Bajo peso:** puede observarse por la presencia de grietas, mala compactación o un espacio en la parte superior de la mezcla.
- **Brea o sellante insuficiente:** se evidencia con espacios en el sello de asfalto, da mayor extensión que las burbujas; no permite un aislamiento total dentro de la pila, permitiendo el ingreso de oxígeno, sulfatando, secando o produciendo un corto; y por ende, descargando la pila.
- **Carbón flojo:** defecto que puede presentarse por mala compactación de la mezcla o sequedad en la misma, por ende, el carbón no se ajusta bien.
- **Carbón quebrado:** puede generar un mal o menor voltaje de la pila, pues no hay una correcta transferencia de los electrones entre el zinc y el dióxido de carbono.
- **Corto inducido:** cuando no se evidencia un defecto que haya provocado una caída en el voltaje, o una falla en la pila, se le atribuye a un corto inducido, es decir; cortos que se producen dentro de las líneas, provocadas por contacto



entre los bornes

- **Disco de fondo ladeado:** si el disco de fondo está levemente mal posicionado, no afecta el funcionamiento de la pila, sin embargo, si es muy pronunciado, puede llegar a dejar al descubierto la mezcla, permitiendo el contacto entre la mezcla y el vaso de zinc; y, por ende, generar un corto.
- **Eclosión:** fenómeno por el cual se evidencia la salida de la bobina, es un desprendimiento total de la tapa del vaso de zinc
- **Expulsión de sellante:** fenómeno por el cual se observa la salida del sellante por la tapa.
- **Liqueo:** fenómeno en el cual el electrolito (solución corrosiva de cloruro de zinc) se sale a través del sello y puede observarse como un líquido.
- **Papel corto:** el papel electrolítico no tiene la altura suficiente para evitar el contacto en la parte superior entre la mezcla con el vaso de zinc.
- **Papel doblado:** puede también, ser un doblez mínimo que no descubra la mezcla, pero sea un punto en donde se presente mayor absorción de humedad.
- **Papel hundido:** el papel electrolítico, se observa arrugado hacia la parte de abajo del vaso de zinc, dejando al descubierto la mezcla en la parte superior, y permitiendo que entren en contacto la mezcla, y el vaso de zinc, produciéndose un corto.
- **Papel sobre la brea o el sellante:** se observa como una mancha de sellante (de apariencia celulosa) en el borde del papel.

- **Papel expuesto:** el tuck washer no alcanza a atrapar al papel electrolítico, para poder doblarlo; este defecto está asociado en ocasiones con el tuck washer ladeado.
- **Pila sulfatada:** es una forma de corrosión. Cuando se habla propiamente de sulfatación, se reconoce por la formación de una pasta blanca con presencia en el vaso de zinc, acompañada de humedad en la tapa.
- **Sin sellante:** como se indica, es la falta total del sellante que cierra totalmente la pila, al adherirse con la tapa; este defecto se debe a errores en la máquina selladora, y rara vez se ve.
- **Sin tuck washer:** el principal problema que se deriva de este defecto, es el hecho de que no se tendrá un soporte para el sellante.
- **Tuck washer ladeado:** tuck washer mal posicionado o que no dobla el papel electrolítico.





## 4. Metodología

### 4.1 Identificación del estado de las líneas 1 y2 de producción de la pila AA

En esta primera etapa del proyecto lo que se buscaba era obtener un diagnóstico sobre el estado de las líneas actuales de producción de la pila AA, y poder compararlas con la condición en la que comienza la nueva línea. En las líneas, el proceso de producción de la pila AA, se puede dividir en las 5 máquinas mostradas en la tabla 3, a las cuales se les toman las dimensiones de las variables principales, en cada estación, como se muestra a continuación:

*Tabla 3. Variables medidas en cada estación, instrumentos empleados e indicaciones.*

MÁQUINA	VARIABLE	INSTRUMENTO EMPLEADOS	INDICACIÓN
EXTRUSIÓN	Peso del vaso (g)	Balanza analítica	
	Altura del vaso (mm)	Pie de rey	
	Espesor de fondo (mm)	Comparador de carátula	
	Espesor lateral (mm)	Comparador de carátula	
	Diámetro (mm)	Pie de rey	
PLM	Peso de mezcla (g)	Balanza analítica	
	Profundidad de mezcla (mm)	Pie de rey	
CRIM	Altura de celda (mm)	Pie de rey	

			
	Profundidad de tuck washer (mm)	Pie de rey	
SELLADORA	Peso de sellante (g)	Balanza analítica	
	Altura de hombros (mm)	Pie de rey	
BOTTOM	Altura de hombros (mm)	Pie de rey	
	Altura total (mm)	Pie de rey	

El procedimiento detallado se presenta en el ANEXO 1. Por medio de un análisis estadístico, empleando el programa EXCEL, se realizaron los histogramas que permitieron visualizar el comportamiento de los datos, y analizarlos; así como la obtención de los parámetros estadísticos principales como lo son: desviaciones estándar, valor promedio de los datos, límites, y rango, se pudo completar el análisis estadístico.

El sistema que emplea el laboratorio de pilas, entregará las curvas de descarga que representan el voltaje por minuto, reportan el amperaje por hora y la duración de cada una de las pilas a las que se les realizaron las pruebas según la tabla del ANEXO 1.

Además, se obtienen los resultados de las pilas que se les realiza el Target, que no es más que una prueba que mide el voltaje en circuito abierto (VCA), voltaje en circuito cerrado (VCC), y corriente en circuito cerrado (CCC), de pilas que se dejan durante el tiempo estipulado en la tabla del ANEXO 1, en el horno de 45°C para el target en alta, y a temperatura ambiente, para el target en ambiente.

#### **4.2. Evaluación de las variables de control de la nueva línea**

Lo que se realizó en esta etapa fue recopilar información del estado de las estaciones que hacen parte de la nueva línea de producción de las pilas AA, línea R6-3, para hacer una comparación con el estado de las líneas actuales; por ende, se siguió el mismo procedimiento descrito en el numeral anterior, haciendo la salvedad, de que sólo se tomaron vasos de zinc del extrusor 1, pues en un primer momento se piensa emplear vasos solo de éste extrusor en la línea; además, porque el estudio del estado del proceso de extrusión quedó cubierto cuando se estudiaron las líneas 1 y 2.

La diferencia final con el procedimiento seguido en el numeral 1, es que como se le está realizando estudio a una sola línea de producción, que es la nueva (R6-3), es necesario, tomar los 80 vasos de zinc totales para pasarlos por ella.

#### **4.3 Información documentada del sistema de gestión de la calidad**

Se hizo una revisión minuciosa de cada uno de los documentos que hacen parte del Sistema Integrado de Gestión “SIG”, con el fin de actualizarlos, adaptarlos o modificarlos, y así poder aplicarlos a la nueva línea de producción. Dichos documentos se pueden consultar en la red de la compañía, dentro de la cual se encuentran:

registros, planes operativos, fichas de especificaciones, documentos de apoyos, hojas de seguridad, instructivos, y procedimientos.

#### **4.4. Ensayos y seguimiento de control de calidad**

Habiendo puesto en funcionamiento la nueva línea de producción de pilas AA (denominada R6-3), en su fase de ensayos y pruebas de producción; se tomaron las 10 primeras producciones, y se les realizaron las siguientes pruebas:

- Añejamiento durante 1 semana y **chequeo** por máquina etiquetadora con un set de voltaje de 1,65V (No etiquetarlas).
- Añejamiento durante 1 semana más, **chequeo** por la máquina etiquetadora (aquí si se etiquetan).
- Autopsias al total de pilas rechazadas en las dos pruebas anteriores.
- Añejamiento 2 semanas más (para un total de 4), **chequeo** por máquina etiquetadora, teniendo en cuenta, que se debe pasar las pilas por el mismo set de voltaje de las anteriores.
- Toma de voltajes a las pilas que quedaron buenas y a las rechazadas, del punto anterior.
- Realizar histograma de los voltajes anteriores.
- Autopsias a las pilas rechazadas en el chequeo pasados 30 días.
- Pareto del total de defectos encontrados en las autopsias, por cada chequeo realizado.

Se emplea una metodología cuantitativa, midiendo el voltaje de las pilas producidas por la nueva línea, y realizando un análisis de los datos por medio de histogramas que

muestran su comportamiento, distribución y tendencia; se procede mediante cálculos estadísticos a obtener las variables principales como la desviación estándar, el promedio, el rango y demás; así como la identificaciones de las variables significativas que sean concluyentes, o aquellas que sigan un patrón, como la determinación del defecto que más se presente en las pilas; además se emplean metodologías cuantitativas, como la inspección del estado físico de las pilas, las características físicas de las pilas producidas en la nueva línea con respecto a las otras dos.

## 5. Resultados y análisis

### 5.1. Identificación del estado de las líneas 1 y 2 de producción de la pila AA

En la tabla 4, se muestran las desviaciones estándar, y el rango para las variables estudiadas en las líneas 1 y 2 de producción de pilas R6 (AA); sin tener en cuenta la estación de extrusión, pues esta es una estación fuera de las líneas, un paso previo donde se producen los vasos de zinc que ingresaran a las líneas; y, por ende, las desviaciones estándar de las dimensiones de los vasos de zinc se determinaron por extrusor y no por línea.

Tabla 4. Desviaciones estándar de las variables de control principales de las líneas 1 y 2.

Máquina	variable / especificación	Desviación estándar		Rango	
		Línea 1	Línea 2	Línea 1	Línea 2
PLM (Paper Linner Machine- Máquina de papel)	peso de la mezcla (g) $9.5 \pm 0.15$ g	0,242	0,202	1,590	1,75
	profundidad de la mezcla (mm)	0,764	0,436	3,820	1,935
CRIM (Carbon Rod Insertion- inserción de varilla de carbón)	altura celda (mm) $49.6 \pm 0.2$ mm	0,120	0,107	0,560	0,480
	profundidad tuck washer (mm) $4.0 \pm 0.5$ mm	0,171	0,182	0,880	0,990
SELLADORA	peso sellante (g) $0.25 \pm 0.03$ g	0,016	0,035	0,148	0,137
	altura de hombros (mm)	0,106	0,115	0,620	0,640
BOTTOM (fondo metálico)	altura hombros (mm) $47.6 - 0.2 / + 0.3$ mm	0,083	0,101	0,500	0,600
	altura total (mm) $50,0 - 0.5 / + 0.3$ mm	0,097	0,070	0,500	0,400

En la tabla 4, se observa que la estación que funciona con mayor variabilidad en ambas líneas es la de inyección de la mezcla, debido a que presenta las mayores desviaciones estándar y rangos de operación, tanto para el peso, como para la profundidad de la mezcla. Adicional, se advierte, que de las variables de control mostrada en la tabla 4,



la que presenta una menor variabilidad en sus datos, y menores rangos de operación, es el peso del sellante, esto se debe, a que el sellante es una brea líquida, a la cual se le fija su peso al arrancar la producción de la línea, y este no se varía, además de que su valor no es relativo, sino fijo y fácil de medir, empleando la balanza analítica; además, durante la realización del estudio, se observó que la diferencia entre los datos tomados cada día variaban muy poco entre ellos, y que se intentaba manejar el mismo peso de sellante todos los días, de estos aspectos se deriva el hecho de la baja desviación estándar de esta variable.

Se observa, además que las dimensiones que son relativamente más difíciles de medir, que no tendrán un valor fijo, si se tomase en diferentes puntos de la pila, sino que son un promedio o un valor tomado en un solo punto; tales como la profundidad de la mezcla y del tuck washer; presentarán la mayor de las desviaciones tanto de la estación, como en la línea en general.

Las variables medidas en la estación Bottom, las cuales son la altura de hombros y la altura total, son las dimensiones con menor desviación estándar, después del peso de sellante, esto se debe a que, estas están muy controladas en la línea, pues de esta máquina es de donde salen las pilas terminadas, por ende deben cumplir con las especificaciones dictadas no solo por la empresa, sino por el reglamento técnico, para que el producto puede ser funcional, de allí, lo alto de su control; además, como estas son dimensiones que si se toman en diferentes puntos de la pila, tendrán sino el mismo, valores muy próximos entre sí; esto deriva en la baja desviación.

De las 8 variables de la tabla 4, se observa que en 4 la mayor variabilidad la presenta la línea 1: peso y profundidad de la mezcla, altura de celda, y altura total; y en los 4 restantes, la mayor variabilidad la presenta la línea 2: profundidad de tuck washer, peso de sellante, altura de hombros en la selladora y en la bottom. Lo que no permite concluir si uno de las líneas funciona mejor que las otras, pues en ambas la PLM está fuera de control, y las demás estaciones tienen un comportamiento similar, siendo mejor controlado.

En los ANEXOS 2 y 3, se muestran los histogramas de los datos tomados para el peso de la mezcla de las líneas 1 y 2, respectivamente; y en los ANEXOS 4 y 5, los histogramas para el peso del sellante de las líneas 1 y 2 respectivamente. Al comparar los histogramas de los ANEXOS 2 y 4, se observa la diferencia en la desviación de los datos entre el peso de la mezcla y el del sellante para la línea 1, igual muestra la comparación entre los histogramas de los ANEXOS 3 y 5, para la línea 1; en los del peso de la mezcla, no se observa una distribución característica de los datos, la mayoría son datos únicos, pues es difícil encontrarse dos pilas con igual peso de mezcla, además se observa que en la línea 1 el 31,25% de los datos, está por encima de 9,65g, y el 23,33% está por debajo de 9,35g; que es la especificación. En el caso de la línea 2, el 38,75% de los datos están por encima de la encima de la especificación, y 11,25%, por debajo; para un total de 54,58% y 50,00% de los datos están por fuera de la especificación, en la línea 1 y 2, respectivamente; esto deriva directamente en que la desviación estándar de la línea 1 sea mayor que la de la línea 2.

Por su parte, los histogramas de los ANEXOS 4 y 5, muestran la baja desviación estándar de los datos, muestra unos picos más pronunciados, y un rango de operación más cerrado; además muestra una distribución, aunque bien es bimodal, no es tan irregular como en el peso de la mezcla. Ya que solo el 5,96% del total de los datos de la línea 1, está por fuera de la especificación, contrario al 45,57% que lo están para la línea 2; la desviación estándar es menor en la línea 1 que en la 2, para esta variable.

### **TARGETS:**

#### **SEMANA 1 TARGET ALTA:**

Loa ANEXOS 6 y 7, muestran los resultados para los voltajes en circuito abierto (VCA), voltaje en circuito cerrado (VCC) y corriente en circuito abierto (CCC); para las 10 baterías (o pilas) de la línea 1 y 2, respectivamente, de la primera semana del estudio, que se sometieron a la prueba de target en alta (al sacarlas del horno de 45°C).

#### **SEMANA 1 TARGET AMBIENTE:**

Los ANEXOS 8 y 9, muestran los resultados para los voltajes en circuito abierto (VCA), voltaje en circuito cerrado (VCC) y corriente en circuito abierto (CCC); para las 10 baterías (o pilas) de la línea 1 y 2, respectivamente, de la primera semana del estudio, que se sometieron a la prueba de target en ambiente.

#### **SEMANA 2 TARGET ALTA:**

Los ANEXOS 10 y 11, muestran los resultados para los voltajes en circuito abierto (VCA), voltaje en circuito cerrado (VCC) y corriente en circuito abierto (CCC); para las 10 baterías (o pilas) de la línea 1 y 2, respectivamente, de la segunda semana del estudio, que se sometieron a la prueba de target en alta (al sacarlas del horno de 45°C).

**SEMANA 2 TARGET AMBIENTE:**

Los ANEXOS 12 y 13, muestran los resultados para los voltajes en circuito abierto (VCA), voltaje en circuito cerrado (VCC) y corriente en circuito abierto (CCC); para las 10 baterías (o pilas) de la línea 1 y 2, respectivamente, de la segunda semana del estudio, que se sometieron a la prueba de target en ambiente.

**SEMANA 3 TARGET ALTA:**

Los ANEXOS 14 y 15, muestran los resultados para los voltajes en circuito abierto (VCA), voltaje en circuito cerrado (VCC) y corriente en circuito abierto (CCC); para las 10 baterías (o pilas) de la línea 1 y 2, respectivamente, de la tercera semana del estudio, que se sometieron a la prueba de target en alta (al sacarlas del horno de 45°C).

**SEMANA 3 TARGET AMBIENTE:**

Los ANEXOS 16 y 17, muestran los resultados para los voltajes en circuito abierto (VCA), voltaje en circuito cerrado (VCC) y corriente en circuito abierto (CCC); para las 10 baterías (o pilas) de la línea 1 y 2, respectivamente, de la tercera semana del estudio, que se sometieron a la prueba de target en ambiente.

## **5.2. Evaluación de las variables de control de la nueva línea de producción**

La nueva línea de producción de pilas AA, línea R6-3, presenta diferencias muy significativas en su diseño, con respecto a las líneas que la anteceden, dichas diferencias se citan a continuación.

Diseño general:

- ✓ La nueva línea R6-3, tiene una banda sincrónica de poliuretano, que es la encargada de transportar las pilas a través de la línea; en las líneas R6-1 y 2, la banda transportadora es una cadena de acero.
- ✓ En la línea R6-3, se disminuyó la distancia entre pila y pila en la banda transportadora, pasaron de estar a una distancia de aproximadamente 38 mm a 20 mm, lo que hace que, en el mismo espacio, se transporten mayor cantidad de pilas.
- ✓ La línea R6-3, tiene mayor cantidad de sensores tanto a la salida de las estaciones, como en las partes encargadas de suministrar la materia prima; los cuales hacen que la línea se detenga en caso de que una de las estaciones de la línea se quede sin pila, o sin materia prima, o en caso de un atascamiento

#### Máquina PLM VS. PAP:

- ✓ En las líneas R6-1 y 2, la primera máquina es llamada PLM, por paper line mix, y era la encargada de insertar el papel electrolítico, el disco de fondo, la mezcla y la arandela de compactación; en la nueva línea R6-3, la primera máquina es llamada PAP, por ser la estación del papel electrolítico, en ésta se le inserta el papel electrolítico, y el disco de fondo al vaso de zinc.
- ✓ En el caso de los rollos alimentadores del papel, en la línea R6-3, se emplea un pequeño motoreductor con sensores, que son los encargados de suministrar el papel a la máquina; las líneas R6-1 y 2, emplean un sistema de rapid-air, que hala el cartón con aire, lo cual es ruidoso, y requiere mayor mantenimiento.

#### Máquina CRIM VS. MAC:

- ✓ En las líneas R6-1 y 2, la segunda máquina es llamada la CRIM (Carbon Rod Insertion Machine), y es la encargada de insertar la barra de grafito o carbón, de

medir el voltaje, e insertar el tuck washer; en la línea R6-3, la segunda máquina es la MAC, por mix and carbón, y por ende es la encargada de inyectar la mezcla, insertar la arandela de compactación y el carbón; y medir el voltaje, el tuck washer vendrá en la próxima estación.

- ✓ En el caso de la línea R6-3, el receptor de las pilas para la inyección de la mezcla, es de tipo neumático, emplea un cilindro de aproximadamente 10 cm; en las líneas R6-1 y 2, el receptor es mecánico, es un resorte grande, que por ende requiere mayor mantenimiento, y va perdiendo sus propiedades físicas con el tiempo.
- ✓ En la nueva línea, el tanque que contiene la mezcla, es de una sola pieza y es fabricado en polietileno de alta densidad; en las líneas R6-1 y 2, es un tanque de varias unidades, de acero, por ende, se corroe más fácilmente al estar en contacto con la mezcla, y al ser de varios cuerpos genera fugas.

#### Máquina SELLADORA VS. TMB:

- ✓ En la máquina selladora de las líneas R6-1 y 2, la pila ya lleva el tuck washer, en la selladora se le agrega el sellante, se tapa, cierra, se le coloca el fondo y se rebordea; en el caso de la línea R6-3, en la TMB, se le inserta el tuck washer (T), y el fondo (Metal Bottom). Una estación pone el fondo y luego se cierra, en las R6-1 y 2, primero se cierra y luego se pone el fondo.
- ✓ La diferencia principal entre las líneas R6-1 y 2, y la línea R6-3; es el Nordson, que es la máquina encargada de inyectar el sellante. En el caso de la nueva línea, el Nordson emplea una bomba más pequeña, que permite un mejor control sobre la dosificación de la cantidad de sellante.

Máquina BOTTOM VS. TOP:

- ✓ En la nueva línea no hay máquina Bottom, pues la función de ésta ya la cumplió la TMB, en su “reemplazo”, está la TOP, que es la encargada de colocar la tapa y rebordear finalmente la pila.
- ✓ En la TOP, se cierra la pila en tres puestos, progresivamente, los tres tienen fondos planos, lo que permite que todas las pilas se cierren a la misma altura y con el mismo rebordeo; a diferencia, de las líneas R6-1 y 2; donde el rebordeo de cada pila, se hace en uno de los 16 puestos, que tienen diferentes diámetros y profundidad, lo que genera una variabilidad en el rebordeo.

Para corroborar que dichos cambios, representan una mejoría, se le realizó un estudio de variabilidad a la línea R6-3, similar al que se les realizó a las líneas 1 y 2, descrita en el ANEXO 1.

De las 4 máquinas que conforman las líneas R6-1 y 2: PLM, CRIM, selladora y BOTTOM; y las 4 máquinas que conforman la línea R6-3: PAP, MAC, TMB y TOP, se considera que las estaciones que presentan un cambio más significativo entre una y otra línea son:

- ✓ Estación de inyección de mezcla: con su diferencia significativa en el recibidor
- ✓ Selladora: con la diferencia en la bomba del Nordson.
- ✓ Estación final: en las R6-1 y 2, es la Bottom donde la pila se cierra y pone el fondo, mientras que en la R6-3, la pila trae el fondo desde la máquina TMB y en la TOP se cierra.

Por ende, se procede a hacer una comparación de las líneas teniendo en cuenta las variables de las tres estaciones con mayor cambio.

✓ **Estación de inyección de mezcla: PESO DE LA MEZCLA:**

En la tabla 5, se muestran los resultados para las variables estadísticas determinadas para el peso de la mezcla, comparando las 3 líneas.

*Tabla 5. Estadística peso de la mezcla para las líneas R6.*

<b>ESPECIFICACIÓN</b>	<b>9.5 ± 0.15 g</b>		
<b>Medida</b>	<b>Peso mezcla (g)</b>		
<b>Línea</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Promedio</b>	9,54	9,59	9,66
<b>Desviación</b>	0,24	0,20	0,10
<b>Límite inferior</b>	8,86	9,05	9,42
<b>Límite superior</b>	10,45	10,80	9,95
<b>Rango</b>	1,59	1,75	0,52
<b>Mediana</b>	9,55	9,59	9,66

Esta es la variable de control de las líneas R6, que presenta mayor desviación estándar.

Al comparar las tres líneas, es evidente que la que presenta la menor desviación estándar y el menor rango de operación es la 3, esto debido a que solo se pudo hacer el estudio con un total de 80 datos, mientras que en las líneas 1 y 2, se tenían aproximadamente 240 datos; lo que podría influir en mayor desviación. Sin embargo, la cantidad de datos que están por fuera de la especificación no varía mucho, y no depende de la cantidad de datos; pues en las tres líneas supera o es igual el 50% del total de los datos, en la línea 1, el 54,58% del total de los datos está por fuera de la especificación; en la línea 2 el 50,00% y en la línea 3 el 54,00%.

En este sentido lo que hace que la desviación sea mayor en la línea 2 que en la 3, es el



rango; pues este es mayor en la 2 que en la 3, y tanto el límite superior como el inferior están por fuera de la especificación; a diferencia de la línea 3, donde solo el límite superior está por encima de la especificación, haciendo que el rango sea menos que en la 2.

✓ **Estación selladora: PESO DEL SELLANTE:**

En la tabla 6, se muestran los resultados para las variables estadísticas determinadas para el peso del sellante, comparando las 3 líneas.

*Tabla 6. Estadística peso del sellante para las líneas R6.*

<b>ESPECIFICACIÓN</b>	<b>0.25 ± 0.03 g</b>		
<b>Medida</b>	<b>Peso sellante (g)</b>		
<b>Línea</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Promedio</b>	0,25	0,22	0,28
<b>Desviación</b>	0,02	0,03	0,01
<b>Límite inferior</b>	0,20	0,15	0,27
<b>Límite superior</b>	0,45	0,29	0,34
<b>Rango</b>	0,25	0,14	0,07
<b>Mediana</b>	0,25	0,23	0,28

Esta es la variable de control de las líneas R6, que presenta menor desviación estándar, en las tres líneas. Al compararlas, es evidente que la que presenta la menor desviación estándar y el menor rango de operación es la 3, esto debido a que, como ya se dijo tiene menor cantidad de datos. Sin embargo, el porcentaje de datos que están por fuera de la especificación no depende de la cantidad de datos; pues en este caso, la línea 3 por ejemplo, tiene mayor porcentaje de datos por fuera de la especificación, que en la línea 1, en la línea 3 el 20,00% de datos está por fuera de la especificación, mientras que en la 1, solo lo 5,96%; sin embargo, lo que provoca que la desviación estándar de la línea 3 sea menor, es que solo el límite superior está por fuera de la especificación, a diferencia de las otras dos líneas donde ambos límites lo están; por ende el rango de la línea 1 es mayor, y la desviación estándar también lo es. En el caso de la línea 2; 45,57% del total de datos está por fuera de la especificación, y ya esto determina que su desviación estándar sea mayor que la de la línea 3, sumado con lo ya mencionado.

✓ **Estación final: ALTURA DE HOMBROS:**

En la tabla 7, se muestran los resultados para las variables estadísticas determinadas para la altura de hombros de las pilas que ya salen de las líneas, comparando las 3 líneas.

*Tabla 7. Estadística altura de hombros para las líneas R6.*

ESPECIFICACIÓN	47.6 - 0.2 / + 0.3 mm		
Medida	Altura de hombros (mm)		
Línea	1	2	3
Promedio	47,8	47,8	47,7
Desviación	0,08	0,10	0,07

<b>Límite inferior</b>	47,6	47,5	47,5
<b>Límite superior</b>	48,1	48,1	47,9
<b>Rango</b>	0,5	0,6	0,4
<b>Mediana</b>	47,8	47,8	47,7

En los estudios para la línea 1 y 2, analizados anteriormente, se observó que las variables de altura de hombros y total tenían una baja desviación estándar y esto se percibe en la tabla 7, adicional a esto, la menor entre las tres líneas es la de la línea 3, pues como ya se mencionó tiene menor cantidad de datos que las demás líneas. Ninguno de los 80 datos tomados para la línea 3, están por fuera de la especificación; para la línea 1, el 13,60% de los datos están por encima de la especificación y en la línea 2, el 18,35,00% también lo están; lo que deriva en que la mayor de las desviaciones estándar y rango los tenga la línea 2, y el menor la 3.

✓ **Estación final: ALTURA TOTAL:**

En la tabla 8, se muestran los resultados para las variables estadísticas determinadas para la altura total de las pilas que ya salen de las líneas, comparando las 3 líneas.

*Tabla 8. Estadística altura de total para las líneas R6.*

<b>ESPECIFICACIÓN</b>	<b>50,0 - 0.5 / + 0.3 mm</b>		
<b>Medida</b>	<b>Altura total de pila</b>		
<b>Línea</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Promedio</b>	50,2	50,2	50,1
<b>Desviación</b>	0,10	0,07	0,05
<b>Límite inferior</b>	50,0	50,0	50,0
<b>Límite superior</b>	50,5	50,4	50,3
<b>Rango</b>	0,5	0,4	0,3

<b>Mediana</b>	50,3	50,2	50,1
----------------	------	------	------

En los estudios analizados anteriormente, se observó que las variables de altura de hombros y total tenían una baja desviación estándar y esto se percibe en la tabla 8, adicional a esto, la menor entre las tres líneas es la de la línea 3, pues como ya se mencionó tiene menor cantidad de datos que las demás líneas. Ninguno de los datos tomados para las tres líneas, están por fuera de la especificación; la razón por la que la desviación estándar es mayor para la altura total, que, para el peso del sellante, es que los rangos de operación de la primera, son mayores que para el segundo.

- ❖ **PLAN DE PRUEBAS:** no se alcanzaron a obtener resultados para estas, sin embargo, si se ingresaron, se espera tener información sobre ellas más adelante; y que sean de utilidad para la empresa.

### 5.3. Información documentada del sistema de gestión de la calidad

Después de la revisión a los documentos que hacen parte del SIG-Tronex, de realizar un plan maestro para identificar cada uno de los documentos que tienen relación con los demás, encontramos que solo se debía hacer modificación a dos de ellos, uno es un registro y el otro es un plan operativo.

- ✓ **Registro de control de variables línea R6:** en el ANEXO 18, se muestra el documento al cual se le añadieron las seis casillas correspondientes a la toma de registro de las variables de la línea R6-3, las cuales se encierran en un cuadro; además, se modifica la especificación para la altura total de pila de las tres líneas, pues se encontró que anteriormente la especificación que tenía la empresa, estaba por fuera de la dictada

por el reglamento técnico de pilas, la especificación reportada en el registro era de 49.8 - 0.6 / + 0.7 mm, y según la norma la altura total de la pila debe ir de 49,5 y 50,5; por lo que, en el nuevo registro, la especificación de la altura de la pila es: 50,0 -0,5/+0,3mm.

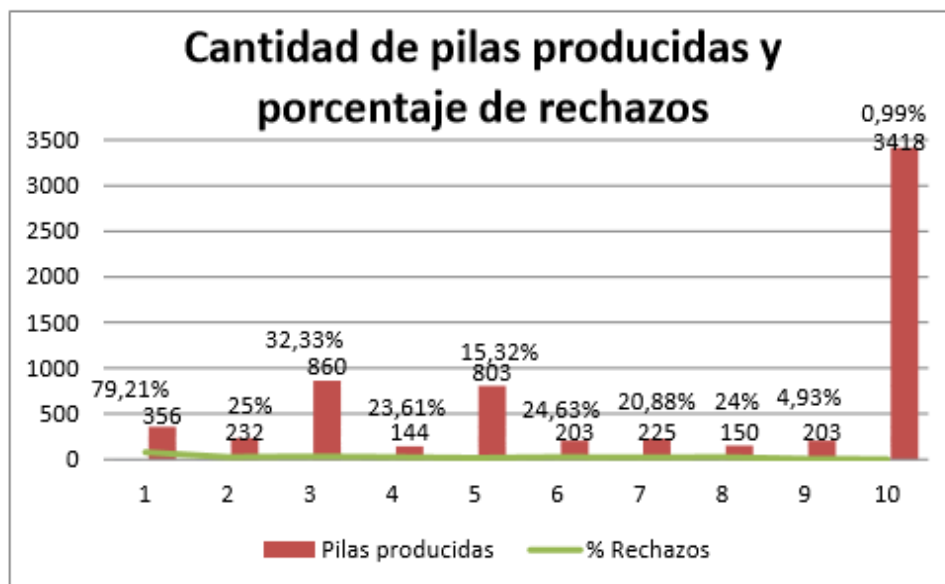
- ✓ **Plan operativo inserción fondo metálico (R6):** en el ANEXO 19, se muestra el documento al cual se le añade el nombre de la última máquina de la línea R6-3, la cual es la TOP; y se modifica igual que en el documento anterior, la especificación de la altura total de la pila.

#### **5.4. Ensayos y seguimiento de control de calidad**

En el ANEXO 20, se muestra la tabla con los datos de las 10 producciones de la nueva línea R6-3, a las cuales se les hizo el seguimiento. Se evidencia en ella, la disminución tan significativa en el porcentaje de rechazos entre la producción 1 y la 10, más relevante, teniendo en cuenta que la producción 1 fue de 356 pilas, mientras que la 10, de 3418 pilas; lo que hace más importante el descenso en el porcentaje de rechazos. En la producción 10, se le hace una modificación a la profundidad de tuck washer, pasando de 4 mm a 2 mm; lo que se podrá observar que deriva en una mejoría.

La figura 2 permite visualizar y comparar, los datos reportados en la tabla del ANEXO 20, para: la cantidad de pilas producidas, versus el porcentaje total de rechazos como un acumulado.

Figura 2. Cantidad de pilas producidas y porcentaje de rechazos por cada producción



Del total de las pilas rechazadas en todas las producciones, que suman 970; 713, presentaban sellante insuficiente al momento de realizarles las autopsias, es decir el 73,51% del total de pilas rechazadas lo fueron por insuficiencia en el sellante; las demás presentaron otro tipo de defecto de los ya mencionados en el marco teórico, como: corto inducido, disco de fondo ladeado, papel doblado, bajo peso, sin sellante, papel expuesto, carbón quebrado, papel corto, entre otros; es decir que a la estación de sellado se le debe prestar mucha más atención e intentar controlar su funcionamiento; se hace una acotación, y es que, esta fue la estación que más problemas presentó en el proceso de arranque de la línea, lo que se refleja en el seguimiento realizado a las producciones.

Contrario a lo que se puede suponer, de que a mayor cantidad de pilas producidas, mayor cantidad de pilas de rechazo, los gráficos 2 y 3, muestran que el valor más alto de rechazos no corresponde a la mayor producción de pilas; ni a la menor producción corresponde, un menor porcentaje de rechazos; lo que reflejan las gráficas, es el

proceso de mejora continuo que tuvo la línea, hasta llegar a alcanzar el porcentaje de rechazos, que presentan las líneas actuales R6-1 y 2, que es de 1%. Entre la producción 1 y la 10 pasó mes y medio, en cuyo tiempo, todas las acciones de mejora que se le realizaron a la línea vieron su resultado; señalando que entre las mejoras más significativas fue que se pasó de una profundidad de tuck washer de 4 mm a 2mm, en la producción 10.

### **SEGUIMIENTO EN HORNOS**

- ✓ **PRODUCCIÓN 5 VS PRODUCCIONES LÍNEAS R6-1 Y R6-2:** Se tomaron 50 pilas de la producción 5 de la línea R6-3, junto con 50 pilas producidas en la misma fecha en las líneas R6-1 y R6-2. 25 de las pilas tomadas de cada línea se llevan al horno de 45°C y las otras 25 al horno de 50°C. Se les realiza seguimiento semanal. En el horno de 45°C, a la semana tres, una pila de la producción 5 de la línea R6-3, sufrió eclosión; de la producción de la línea R6-1, a la segunda semana, 3 pilas eclosionaron; mientras que para las pilas de la línea R6-2; a la segunda semana, 1 sufrió eclosión, y a la semana 3, una más.

En el horno de 55°C, solo una pila de la producción 5 de la línea R6-3, presentó fallas por eclosión pasadas dos semanas; de las pilas de la línea R6-1, una sufrió eclosión a la primera semana, y de la producción de la línea R6-2, una pila sufrió expulsión de sellante, también desde la primera semana.

Se observa primero que todo, que las pilas se comportan mejor en el horno de 55°C, que en el de 45°C, esto puede deberse, a que cuando el sellante se inyecta a la pila, se hace a alta temperatura, al ser un tipo de brea y necesitar mantenerse en estado líquido;

cuando la pila está en el horno de 55°C, esta temperatura puede permitir que el sellante continúe un poco más líquido que en el de 45°C, es decir a condiciones similares de cuando se inyecta; además permite que la gasificación que se da dentro de la pila, tenga más lugar para ocupar, que al estar no tan líquido sino secándose en el horno de 45°C, el gas provocará mayor fuerza a la tapa, al no tener lugar para ocupar; lo que provoca que la eclosión se de más en el horno de 45°C que en el de 55°C.

Las pilas producidas por la línea R6-3 se comportan mejor en el horno de 45°C, que las de las líneas R6-1 y 2; lo que puede deberse al mismo motivo expuesto en el párrafo anterior, y es que al estar la línea R6-3, presentando problemas de sellante insuficiente, el problema de eclosión generado en el horno de 45°C, disminuye. Para las pilas ingresadas en el horno de 55°C, su comportamiento es el mismo sin importar la línea; lo que no constituye un factor determinante en el estudio.

✓ **ÚLTIMA PRODUCCIÓN DEL 2020 VS. PILAS ENSAYO (producidas el mismo día):**

Se toman 20 pilas de la última producción del año 2020, junto con 20 pilas del estudio realizado a la línea R6-3 (descrito en el apartado 2 de la metodología). Se ingresan la mitad de cada una al horno de 45°C y la otra mitad al de 55°C. Ninguna de las pilas que se ingresaron al horno de 55°C, presentó novedad durante las 4 semanas de seguimiento, para ninguna de las dos producciones. En el horno de 45°C de las pilas del estudio 3 presentaron eclosión pasadas 2 semanas, y 2 más presentaron eclosión a las 3 semanas; de las de la última producción ninguna presento novedades.



Que eclosionaran las pilas del estudio y no las de la última producción, se debe en gran medida, a que las del ensayo, no fueron etiquetadas, pues se ingresaron el mismo día de su producción a los hornos, mientras que las otras si estaban etiquetadas; la etiqueta genera un mayor sellamiento y refuerza el cierre de las pilas. Adicional a esto, puede generarse mayor variabilidad al proceso de fabricación de las pilas, al estar extrayendo e ingresando las pilas estación por estación; lo que se hace muy evidente con el hecho de que, de 10 pilas ingresada, 5 eclosionaron.

✓ **ÚLTIMA PRODUCCIÓN DEL 2020 VS. PRODUCCIÓN 10: la diferencia en tiempo de producción es de 15 días.**

Se toman 50 pilas de la última producción del año 2020, junto con 50 pilas de la producción 10. Se ingresan la mitad de cada una al horno de 45°C y la otra mitad al de 55°C. Ninguna de las pilas que se ingresaron a ninguno de los dos hornos, presentó novedad durante las 4 semanas de seguimiento, para ninguna de las dos producciones. Lo que hace concluir, que pasada la producción 10, la línea se ha estabilizado.

## 6. Conclusiones

No es posible asegurar si entre las líneas 1 y 2, una de las dos funciona mejor que la otra, esto debido a que en cada una existe una estación que presenta mayor variabilidad que en la otra, pero las demás estaciones se comportan de igual forma; ambas líneas tienen fallas aisladas que se evidencian en alguno de los días que se realizó el estudio, pero que fueron solucionados con prontitud.

De las cuatro variables estudiadas para las tres líneas, siempre la que obtuvo una mayor desviación estándar fue la del peso de la mezcla; de los datos tomados por día, más de la mitad de ellos estaban por fuera de la especificación, esto se debe, a que al ser la mezcla una sustancia pulverulenta, es más difícil hacer que siempre las pilas contengan la misma cantidad de mezcla, adicional a esto, la máquina presenta un desgaste de las diferentes partes, por abrasión, y corrosión por ser la que tiene mayor contacto directo con la mezcla; además mientras la mezcla se va consumiendo, la estación inyectará menor cantidad.

El proyecto, permitió evidenciar, la importancia de: primero, la correcta toma y registro de los datos, que se registren solo las medidas tomadas y no las que se consideren son correctas; y segundo, la importancia dentro de cualquier compañía, de llevar una adecuada trazabilidad, de los datos, para que, en el momento, de un cambio inusual en alguno de ellos, se sepa a qué se debe y las medidas que se deben tomar para corregirlas; lo que permite ser más predictivos y menos correctivos.

El funcionamiento de la nueva línea de producción de las pilas R6 es mejor que el de las anteriores, debido a la baja variabilidad que presentan las variables estudiadas en esta línea; sin embargo, esto no se puede asumir con total certeza, pues debido a demoras en el arranque de la nueva línea, solo se pudo realizar el estudio en esta un solo día, a diferencia de los 6 días en los que se estudiaron la líneas R6-1 y 2. Podría ser que efectivamente la nueva línea R6-3, presente menor variabilidad, sin embargo, se requiere que se realice el estudio por más días, los mismo que en el caso de las otras dos líneas y poder comparar los resultados.

Los puntos que requieren un mayor control y atención en de la línea R6-3, es el peso del sellante, y de la mezcla, el primero por los resultados en las autopsias de las pilas rechazadas en cada producción, donde la mayoría de rechazos son por sellante insuficiente y la segunda por la alta variabilidad de esta.

Las medidas tomadas con el fin de mejorar el funcionamiento de la nueva línea, derivaron en menos rechazos entre la primera y a la décima producción estudiadas.

Ante problemas con el Nordson es mejor trabajar el tuck washer más alto, pues esta fue la forma en que se presentó una mejora entre las producción 1 a 9 y la 10 de la línea R6-3; puesto que se pasó de trabajar a una profundidad de tuck washer de 4mm, a 2 mm para la producción 10; lo que derivó en disminuciones significativas en los porcentajes de rechazos, se sugiere de éste modo, realizar ensayos con tuck washer a diferentes alturas, a las mismas condiciones, y comprobar a que altura se comportan mejor las pilas producidas.

## **7. Recomendaciones**

Se le recomienda a la compañía tener un mayor seguimiento a la estación de inyección de mezcla, en las tres líneas; intentar controlar mucho más el rango de operación del peso de la mezcla, y tener un correcto mantenimiento de sus diferentes partes; posiblemente los cambios generados en esta estación en la nueva línea, puedan derivar en una disminución en la variabilidad y el funcionamiento tan descontrolado que se tiene de ella; pero solo la continuación del estudio que se le realizó a la línea lo podrá comprobar, pues este único estudio da indicios de que pueda ser así.

Continuar con el estudio realizado a las estaciones de las líneas de producción de las pilas AA, no solo a la nueva, que se le hizo en un solo día, sino a las otras dos, con el fin de evidenciar, si las medidas tomadas para tener un mayor control sobre las variables, ha surgido efecto; además para detectar otras fallas en las estaciones o simplemente para llevar un registro constate sobre el funcionamiento de ellas.

Realizar capacitaciones a todos los miembros de la compañía, sobre la importancia de la calidad en las materias primas, el proceso y el producto terminado, sobre el efecto que pueden tener en las pilas los diferentes defectos que se pueden generar durante el proceso de producción, y sobre la importancia de mantener las variables de control dentro de las especificaciones.

## 8. Bibliografía

- Aldebaran. (3 de mayo de 2016). *Aldebaran sistemas*. Obtenido de <https://www.aldebaransistemas.com/usos-y-aplicaciones-del-cloruro-de-amonio/>
- Cerámica Fandom. (s.f.). *Fandom*. Obtenido de [https://ceramica.fandom.com/oxido\\_de\\_manganeso\\_\(IV\)](https://ceramica.fandom.com/oxido_de_manganeso_(IV))
- ConceptoDefinición. (16 de agosto de 2020). *ConceptoDefinición*. Obtenido de: <https://conceptodefinicion.de/pila/>
- Energizer. (2000). *Energizer*. Obtenido de <https://www.energizer.eu/es/batteries-work>
- Ernst, R. (2004). "Diccionario de la técnica industrial. Inglés Español". En R. Ernst, *"Diccionario de la técnica industrial. Inglés Español"* (pág. 870). Barcelona: Herder.
- Fundación secretos para contar. (2011). *secretos para contar*. Obtenido de <http://www.secretosparacontar.org/Lectores/Contenidosytemas/Elgrafito.aspx?Cu rrentCatId=391#:~:text=El%20grafito%20conduce%20muy%20bien,prenda%20y%20otros%20aparatos%20funcionen.>
- gobierno de España. (noviembre de 2007). *PRTR*. Obtenido de <http://www.prtr.es/es/Nonifenol-y-Etoxilatos-de-nonifenol,15651,11,2007.html>
- Jerome L. Rosenberg, L. M. (2013). Oxidation-reduction. *Mcgraw-Hill Education*, Capítulo 11.
- Lazaldea Reyes, A. R. (2013). Biología y química. En *contribuciones y ciencia*. México. *Quimitube.com*. (23 de abril de 2020). Obtenido de <https://www.quimitube.com/reaccion-redox-funcionamiento-pila-alcalina/>
- Reglamento técnico de pilas Zinc-Carbón y Alcalinas. (Abril de 18 de 2018). *Resolución 0721 de 2018*. Colombia.
- Tronex. (2016). Pilas zinc/carbón. *Universidad Tronex*, 7-14.
- Tronex. (2019). *SIG Tronex*. Obtenido de <http://sig.tronex.com/>
- TRONEX. (14 de agosto de 2020). *TRONEX*. Obtenido de <http://www.tronex.com/es-es/NUUESTRA-COMPA%C3%91%C3%8DA/QUIENES-SOMOS>
- VadeQuímica. (2019). *Vadequímica*. Obtenido de <https://www.vadequimica.com/cloruro-de-zinc-25kg.html>

## ANEXOS

### ANEXO 1. Procedimiento seguido para el estudio del estado de las líneas

#### 1. Extrusores

- 1.1. Se tomaron 40 vasos de cada uno de los extrusores
- 1.2. 20 de cada extrusor se llevaron a la línea 1, y 20 a la línea 2.
- 1.3. Se les tomó el **peso** a cada uno de los 80 vasos
- 1.4. Ahora, se tomaron todas las dimensiones de los vasos de zinc: **espesor lateral, y espesor de fondo** con el comparador de carátula.
- 1.5. **La altura y el diámetro** con el pie de rey; la medida del diámetro se hará en el centro del vaso en dos caras opuestas (dos medidas) y se promediará.

#### 2. Máquina PLM

- 2.1. Se vació el contenedor alimentador de vasos de zinc de la línea 1, ya que no se puede apagar.
- 2.2. Se tomaron los 40 vasos que en el paso anterior se dijo se iban a llevar a la línea 1 se introducen directamente en el vibrador de vasos de zinc se vació, esto con el fin de que no se traslape una pila que no hace parte del ensayo.
- 2.3. Se detuvo el contener de los vasos de zinc de la línea 2 (este si se puede detener)
- 2.4. Se vació por completo el bowl de los vasos de zinc de la línea 2 y se ingresaron los 40 vasos que en el paso anterior se dijo se iban a llevar a la línea 2, introducen directamente en el bowl o vibrador de vasos de zinc.
- 2.5. De acá en adelante se hace el mismo procedimiento tanto para línea 1 como 2, como la 3.

2.6. Se esperó hasta que todas las pilas tengan el papel electrolítico, el disco de fondo, la mezcla y la arandela de compactación, y se sacaron de las líneas.

**2.7.** Se llevaron las 40 pilas (de cada línea) y se les tomó **peso**

2.7.1. Se deseaba conocer es el **peso de la mezcla**, por lo que se tomó, un vaso de zinc, con un papel electrolítico, y la arandela de compactación y se pesa, y tara.

2.7.2. Después de haber tarado con este sistema, se comenzó a pesar una a una cada pila tomadas de la línea en el numeral 2.3.

2.7.3. El peso dado por la balanza es exactamente el peso de la mezcla.

2.8. Ahora, se procedió a medir la **profundidad** de la mezcla para lo que se empleó el pie de rey, más específicamente la sonda de profundidad de este; tomando la profundidad en dos lados opuestos de la pila; después estas medidas se promediarán.

### **3. Varilla de carbón y tuck washer.**

3.1. Se tomaron las pilas del paso anterior que tienen el hasta la arandela de compactación y se regresaron a las líneas a la entrada de la estación donde se le coloca la varilla de carbón.

3.2. Se esperó hasta que las pilas pasen por las líneas y tengan la varilla de carbón y el tuck washer y se sacan.

3.3. Se les tomó el **peso** a cada una, que es el **PESO INICIAL**.

3.4. Se les midió la **altura de celda**, empleando el pie de rey. Se debe tener en cuenta que se le puede generar un corto a la pila, por lo que se le debe poner cinta aislante al pie de rey

y tarar para poder realizar esta medida; tener en cuenta que una vez se termine de tomar los datos se debe quitar la cinta aislante y volver a tarar.

3.5. Ahora, se procedió a medir la **profundidad del tuck washer**, para lo que se empleó el pie de rey, más específicamente la sonda de profundidad de este, tomando la profundidad en dos lados opuestos de la pila, después estas medidas se promediaron.

#### **4. Selladora**

4.1. Se tomaron las pilas del paso anterior que tenían hasta el tuck washer y se regresaron a las líneas a la entrada de la estación donde se le adiciona el sellante y se tapa la pila.

4.2. Se esperó hasta que las pilas pasaran por las líneas y tuvieran el sellante y la tapa, y se sacaron.

4.3. Se le tomó el **peso** a cada una. Este fue el **PESO FINAL**.

4.4. Lo que se buscaba, era calcular el **peso del sellante** con el cual están trabajando las líneas.

4.4.1. Se tomaron 20 tapas, se pesaron y se les calculó el promedio para dichos pesos.

4.4.2. El peso del sellante se calculará como: el peso final (4.3) menos el peso inicial (3.3) más el promedio de los pesos de las tapas (4.4.1).

4.5. A las mismas 80 pilas (40 de cada línea), se les midió la **altura de hombros**, en este caso de la selladora. para lo que se emplea el pie de rey, tomando la altura de hombros en dos lados opuestos de la pila, después estas medidas se promediaron.



## 5. Bottom

- 5.1. Se tomaron las pilas del paso anterior que tienen la tapa y el sellante, luego se regresaron a las líneas a la entrada de la bottom.
- 5.2. Se pusieron las pilas en la banda transportadora de la entrada en orden numérico.
- 5.3. Se esperó hasta que las pilas pasaran por las líneas se preformen, tengan el fondo y se sacaron.
- 5.4. Se procedió a tomarles la **altura de hombros**, para lo que se emplea el pie de rey, tomando la altura de hombros en dos lados opuestos de la pila; después estas medidas se promediaron.
- 5.5. Después, se procedió a tomarles la **altura total a la pila**, pues ya en este punto, se tiene la pila completa. Para lo que se empleó el pie de rey, después estas medidas se promediaron.

## 6. Toma de voltajes.

7. Se tomaron las pilas del paso anterior que están completamente armadas, se almacenaron en el laboratorio durante 7 días para que cumplieran el añejamiento.

8. Pasados 7 días se etiquetaron

## 9. Horno de 55°

- 9.1. 10 de estas pilas finales (10 de cada línea) se ingresaron en el horno de 55° durante 5 días.
- 9.2. Se les realizó cada día una inspección para evidenciar si presentan liqueo, eclosión, expulsión de sellante, o se encuentran bien.
- 9.3. Después de sacarlas se les tomó nuevamente el voltaje; este es el **OCV final**.

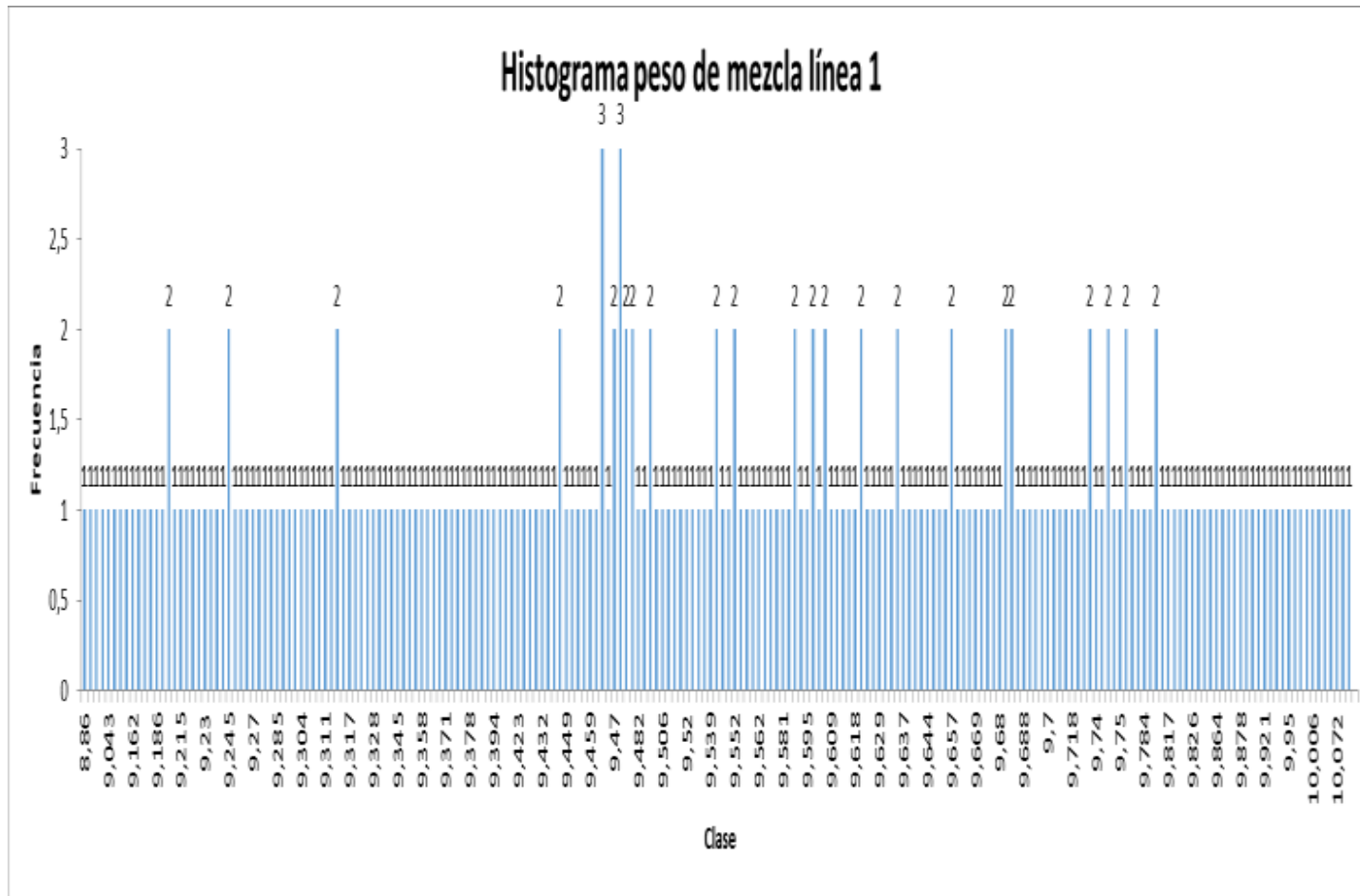
9.4. Se les tomó **altura de hombros final**, por lo que se emplea el pie de rey.

9.5. Finalmente, se procedió a tomarles la **altura total final**, empleando el pie de rey.

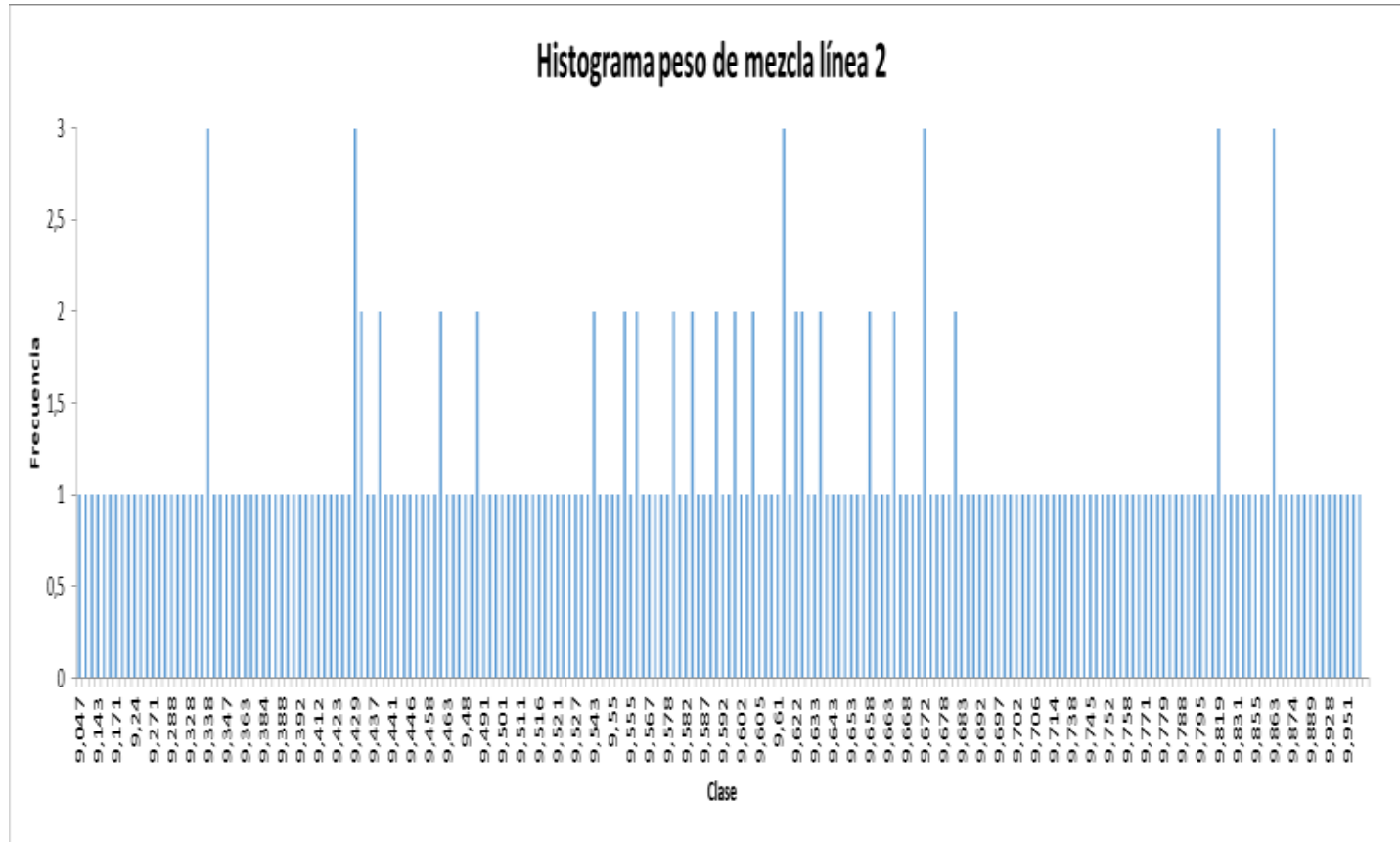
10. El resto de las pilas se llevaron al laboratorio de pilas a hacerles pruebas de descarga y target según el plan de pruebas estipulado, el cual se muestra en la siguiente tabla

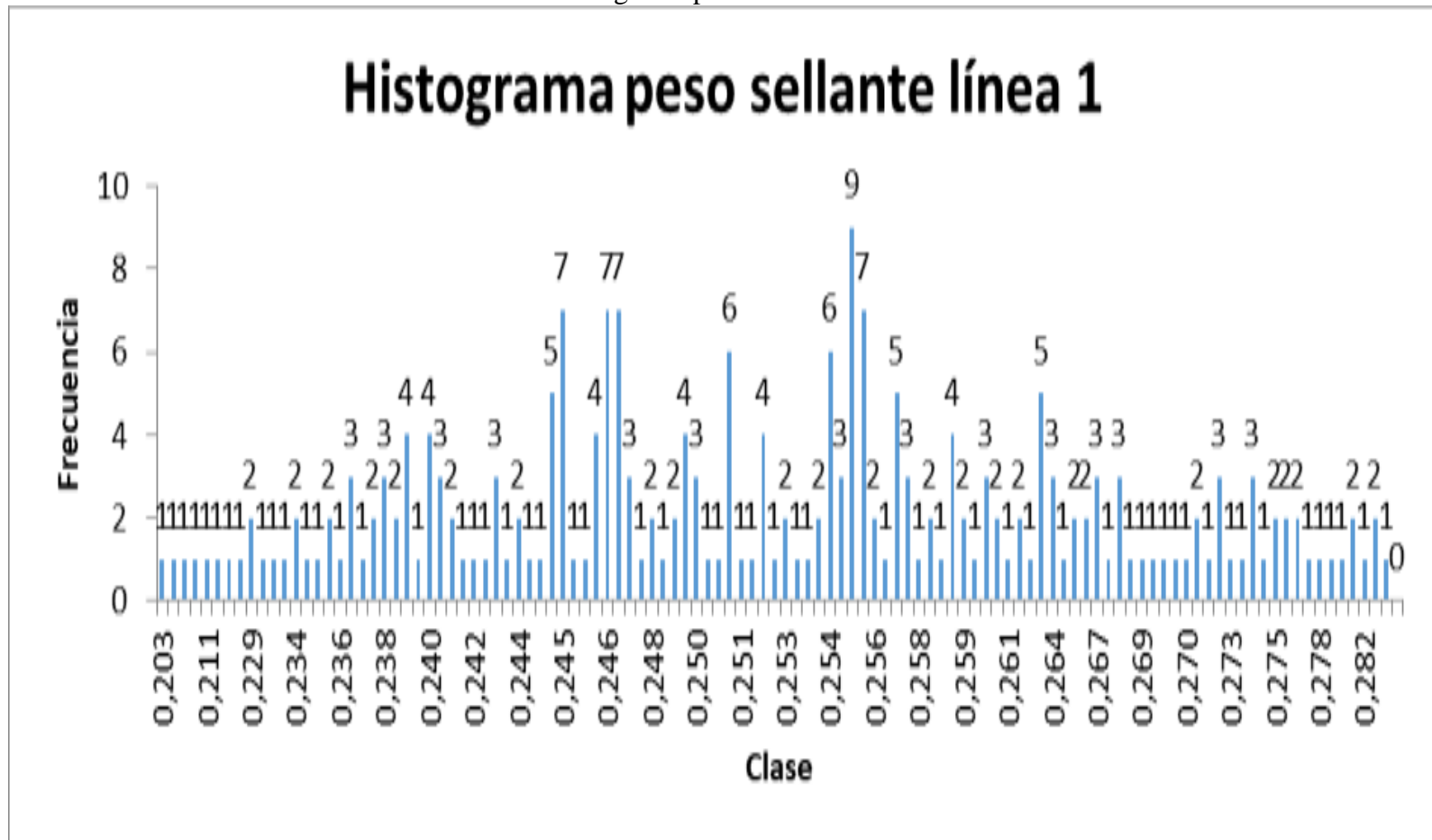
Plan de pruebas para ensayo							
Prueba	Resistencias	Temperatura	Frecuencia	Periodo	Semana 1	Semana 2	Semana 3
Descarga	3,9 $\Omega$	Ambiente	1h/12h	0	6	6	6
Descarga	10 con $\Omega$	Ambiente	23h /24h	0	6	6	6
Descarga	10 int $\Omega$	Ambiente	1h/12h	0	6	6	6
Descarga	39 $\Omega$	Ambiente	4h/12h	0	6	6	6
Descarga	10	Alta	1h/12h	0,5	6	6	6
Descarga	10	Alta	1h/12h	1	6	6	6
Target		Ambiente	-	0; 0,5; 1; 2	10	10	10
Target		Alta	-	0; 0,5; 1;2	10	10	10
Horno 55°C		Alta	Diaria	1,2,3,4,5	10	10	10

## ANEXO 2. Histograma peso de mezcla línea 1

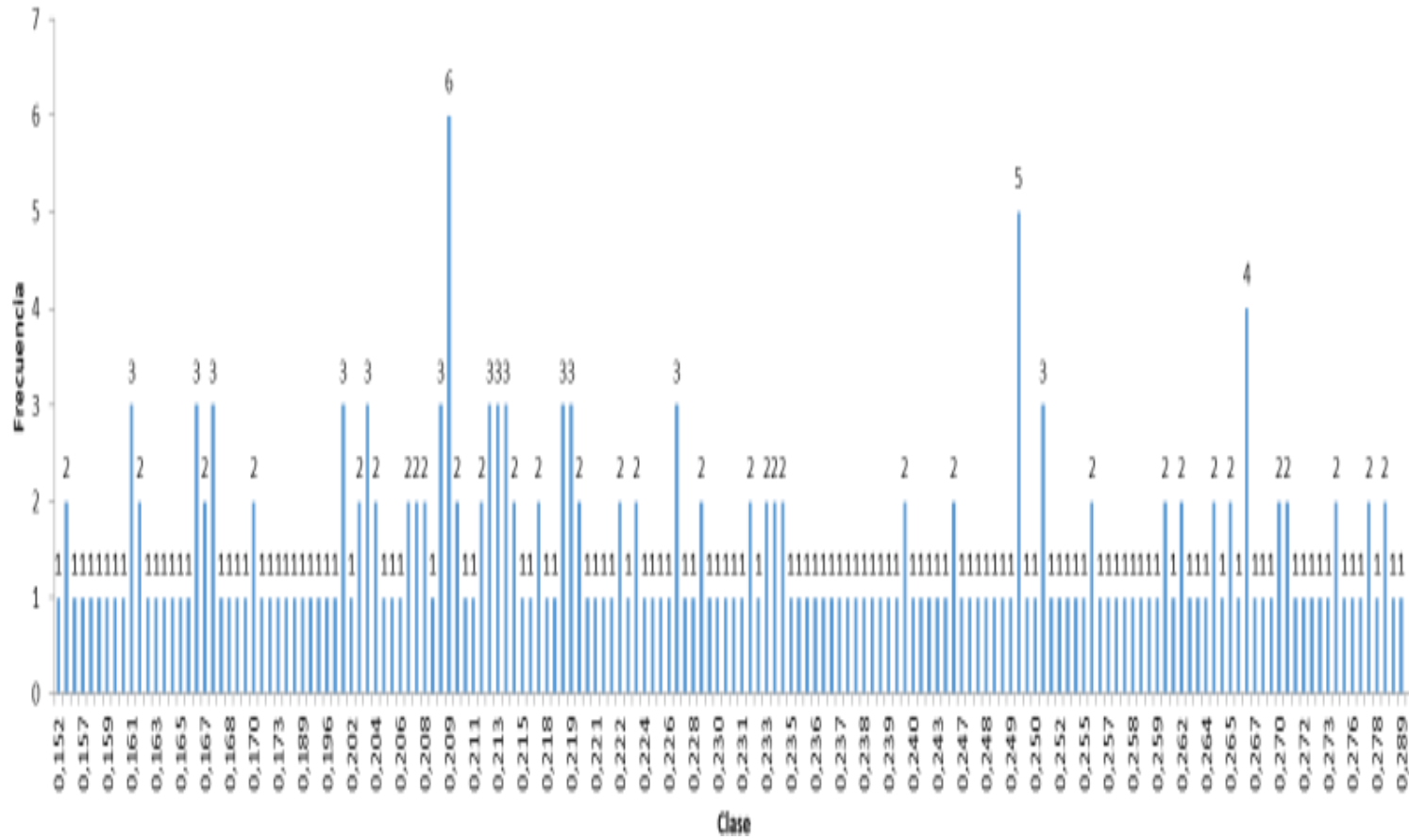


### ANEXO 3. Histograma peso de mezcla línea 2

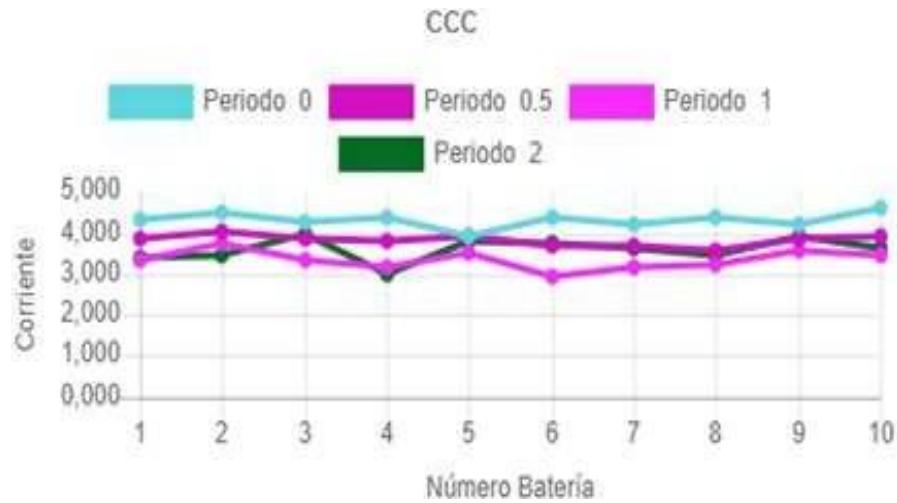
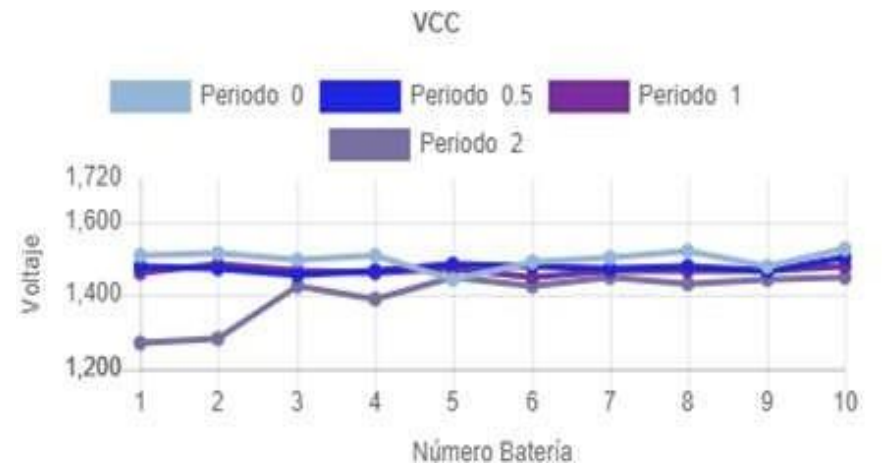
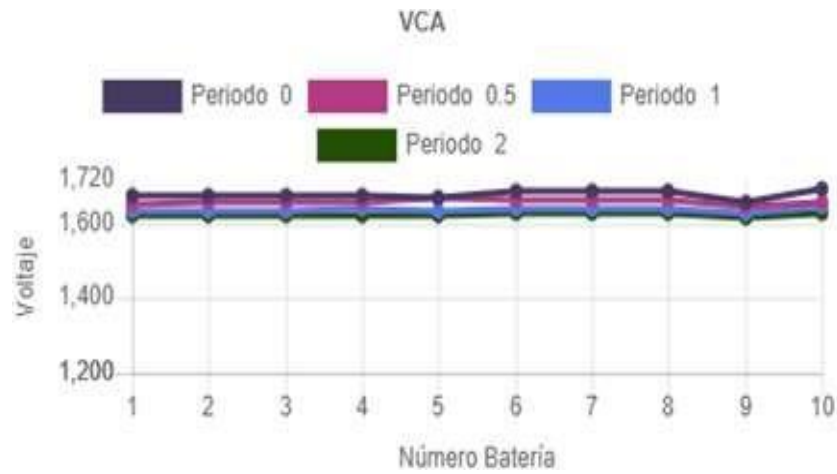




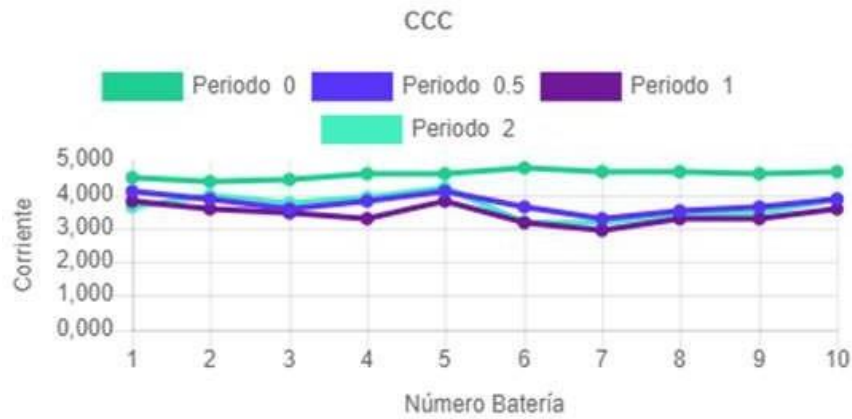
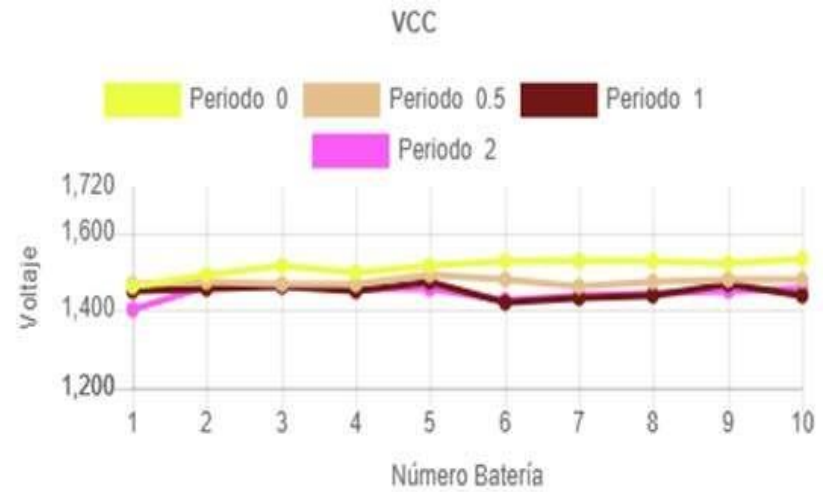
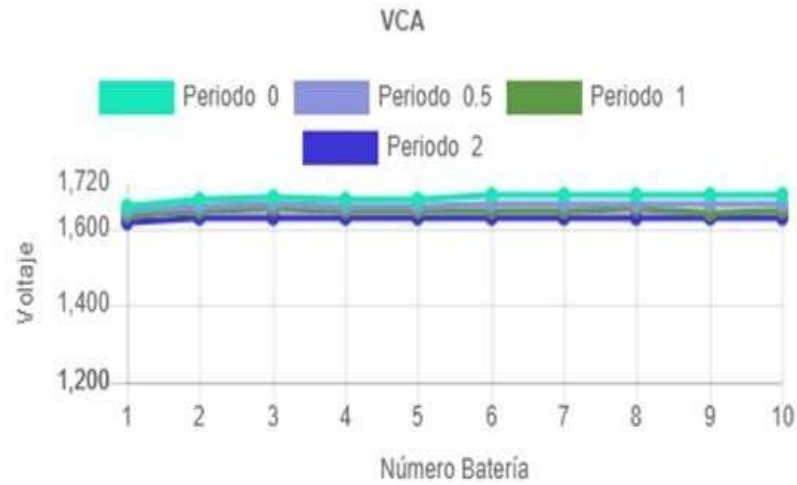
### Histograma peso de sellante línea 2



ANEXO 6. Gráficos obtenidos para VCA, VCC y CCC del Target en alta de la semana 1 de la línea 1.

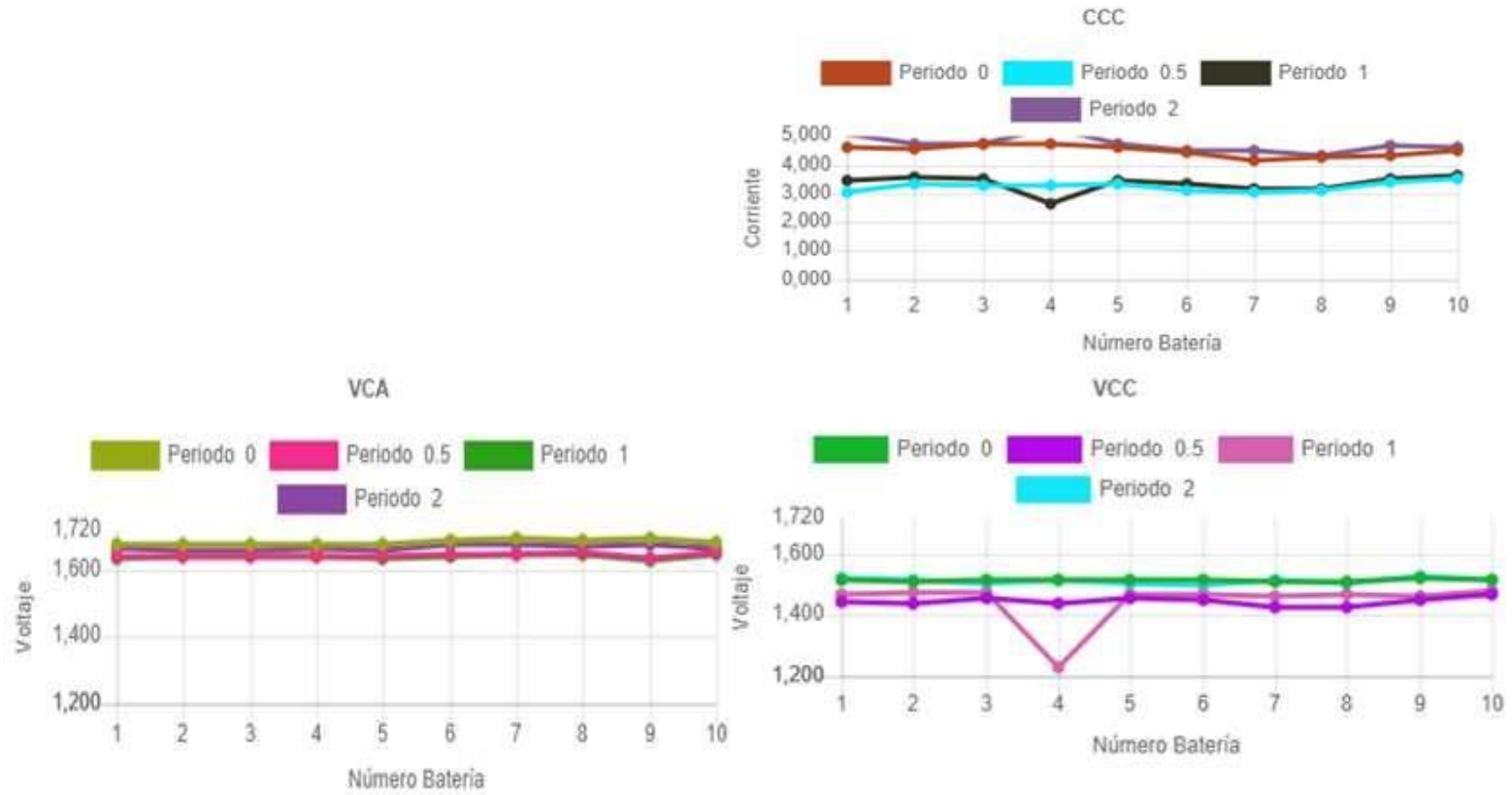


ANEXO 7. Gráficos obtenidos para VCA, VCC y CCC del Target en alta de la semana 1 de la línea 2.

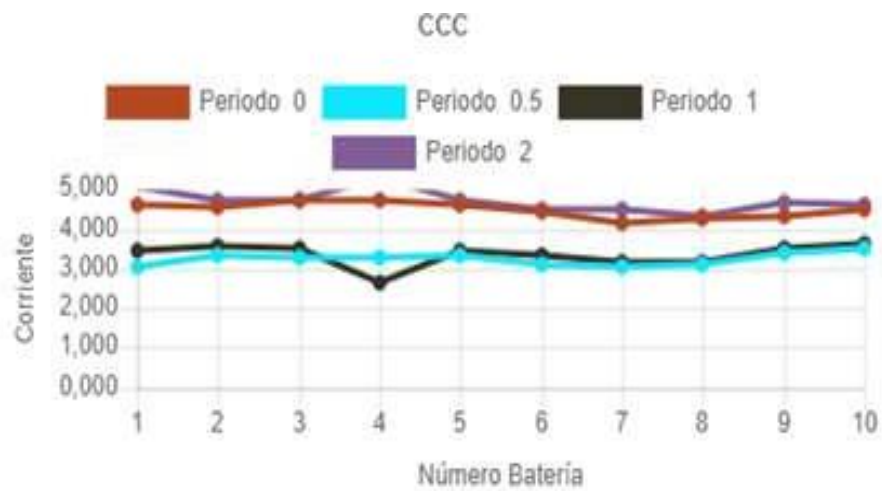
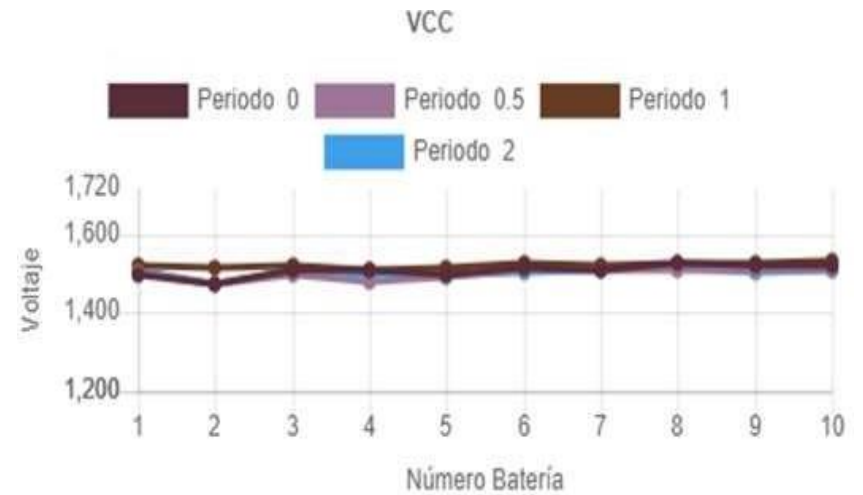
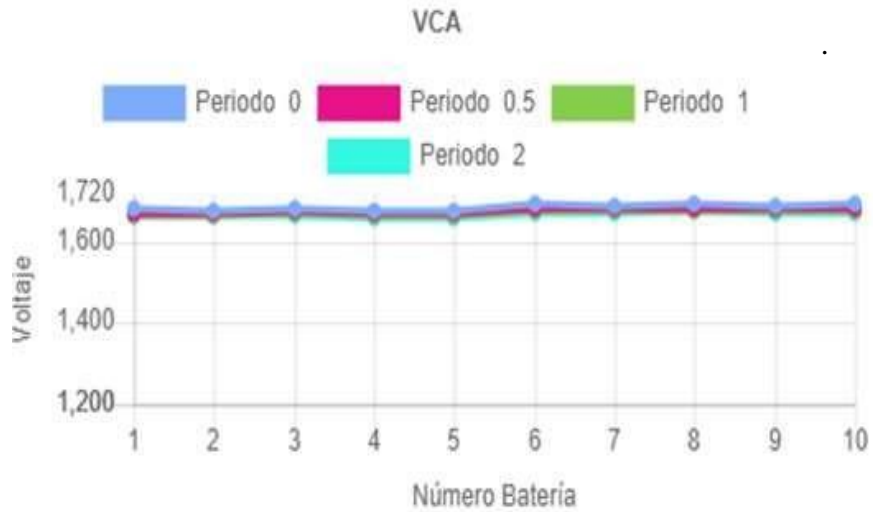




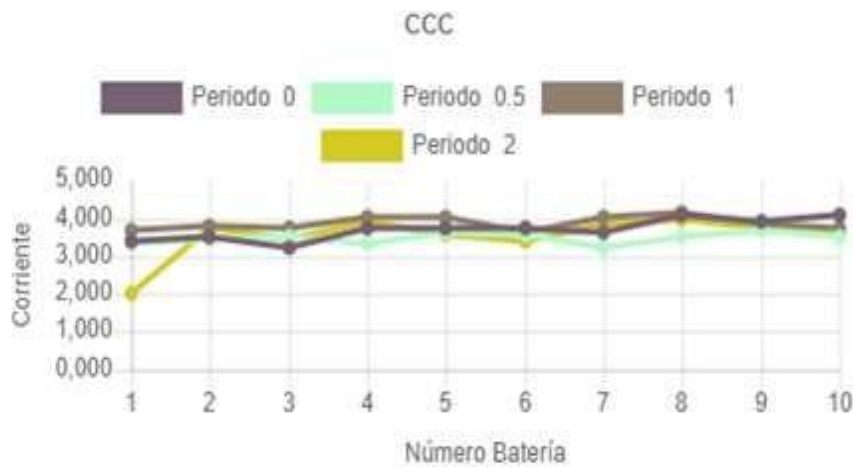
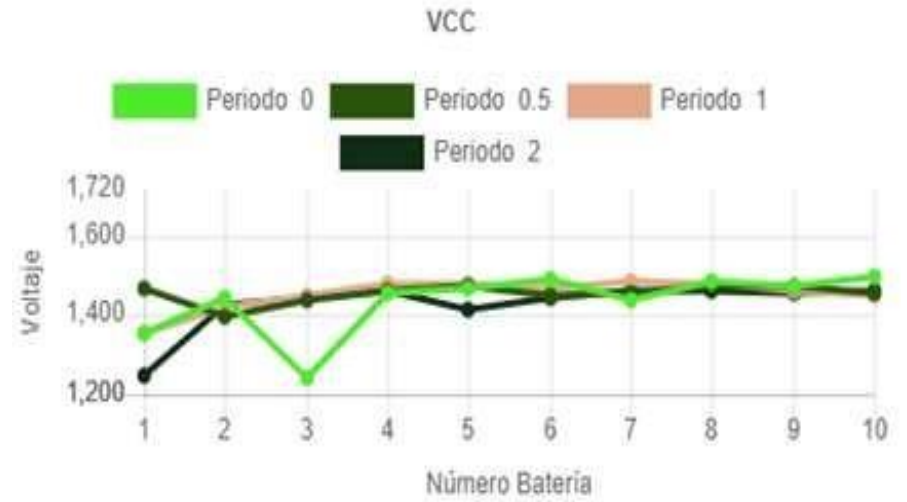
ANEXO 8. Gráficos obtenidos para VCA, VCC y CCC del Target en ambiente de la semana 1 de la línea 1.



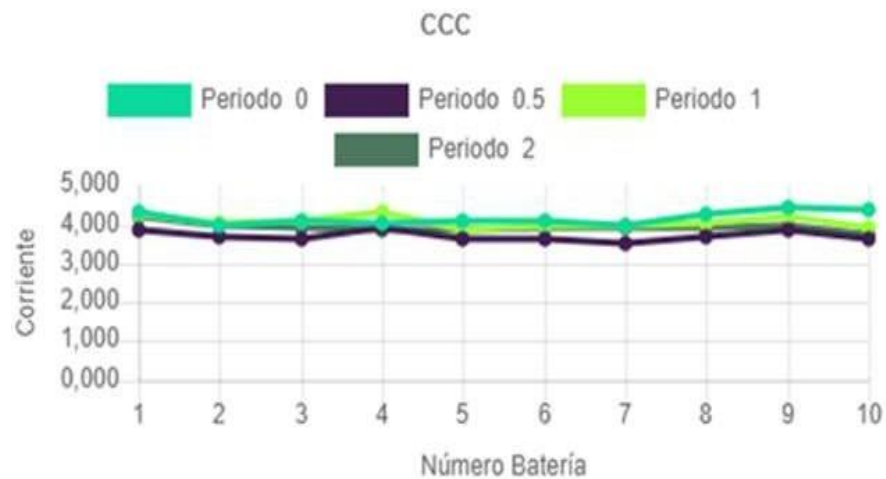
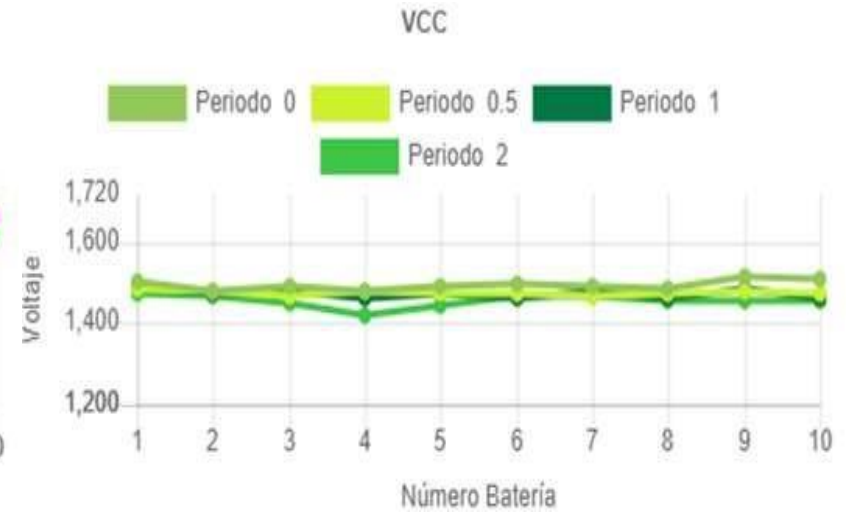
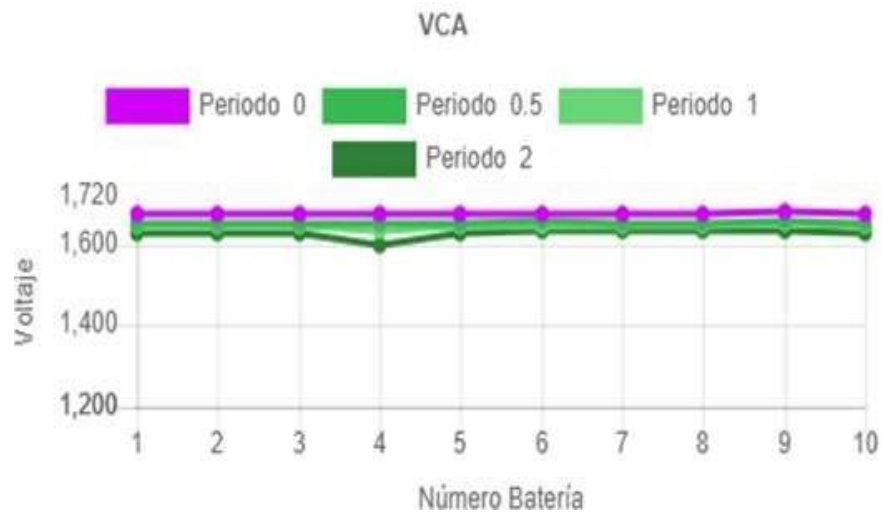
ANEXO 9. Gráficos obtenidos para VCA, VCC y CCC del Target en ambiente de la semana 1 de la línea 2



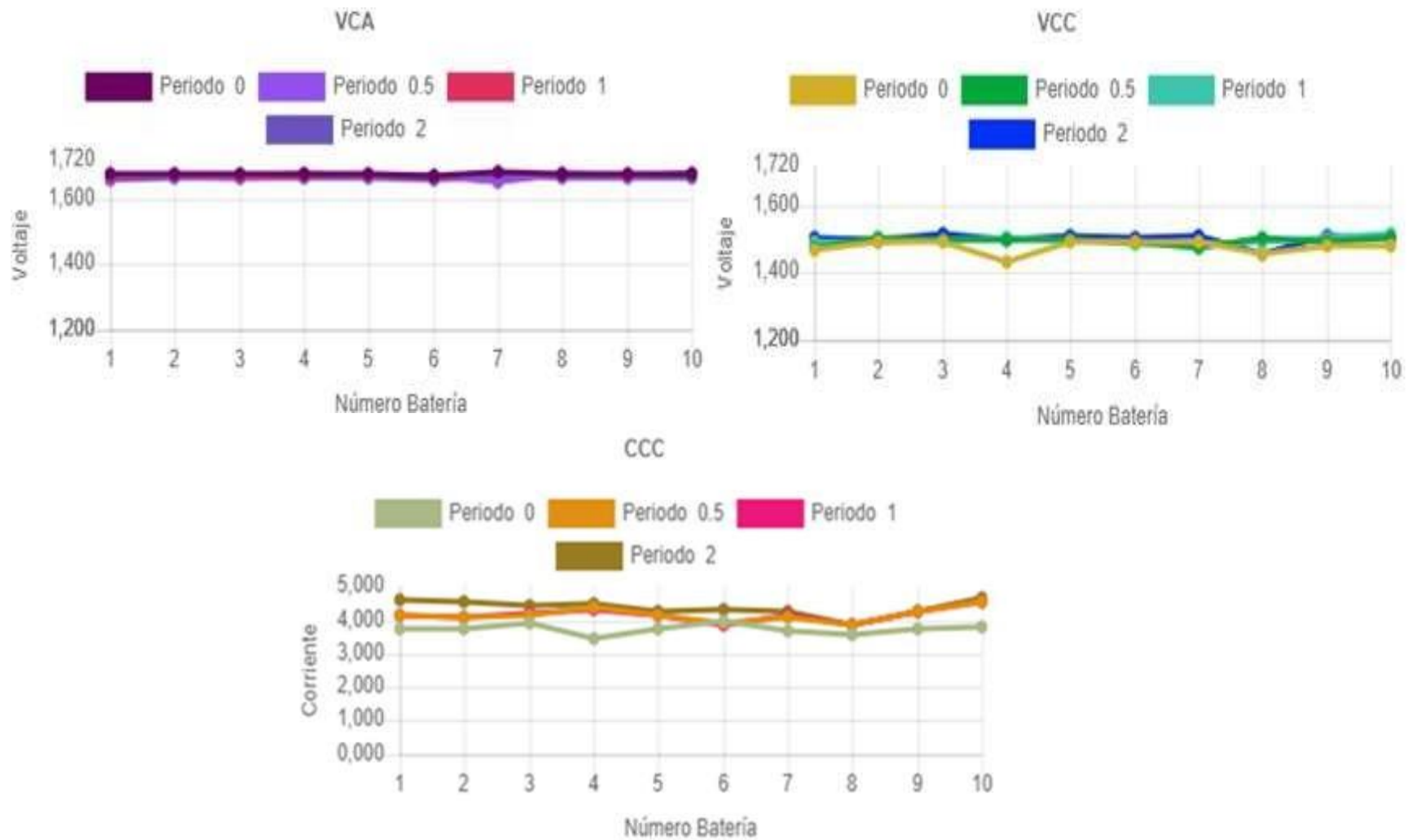
ANEXO 10. Gráficos obtenidos para VCA, VCC y CCC del Target en alta de la semana 2 de la línea 1.



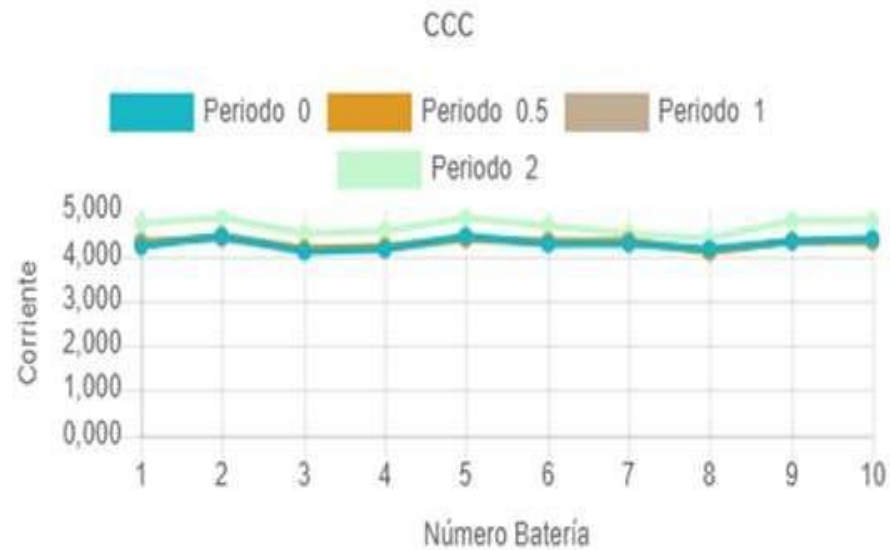
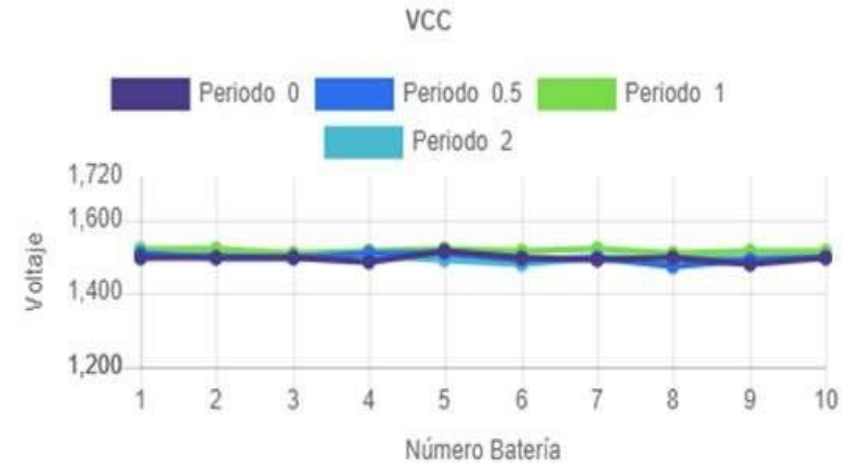
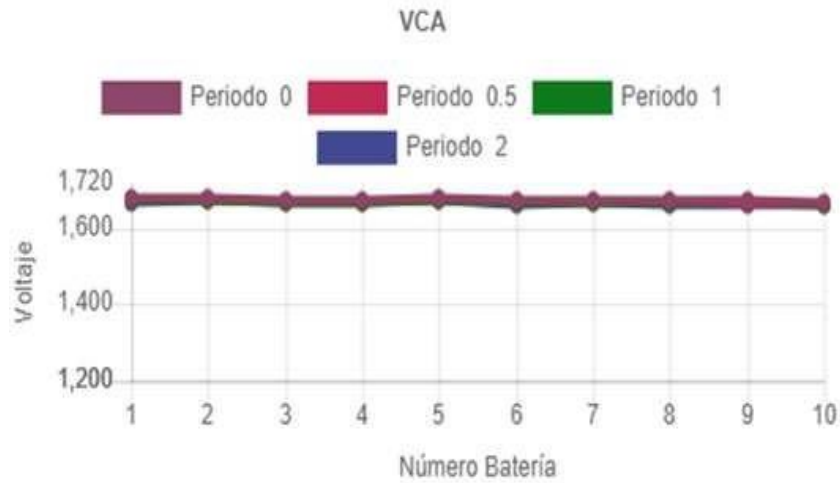
ANEXO 11. Gráficos obtenidos para VCA, VCC y CCC del Target en alta de la semana 2 de la línea 2.



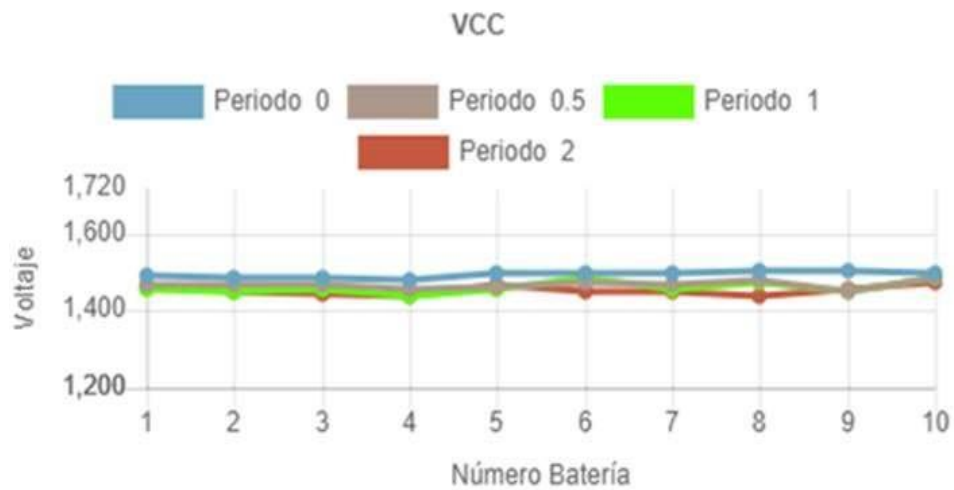
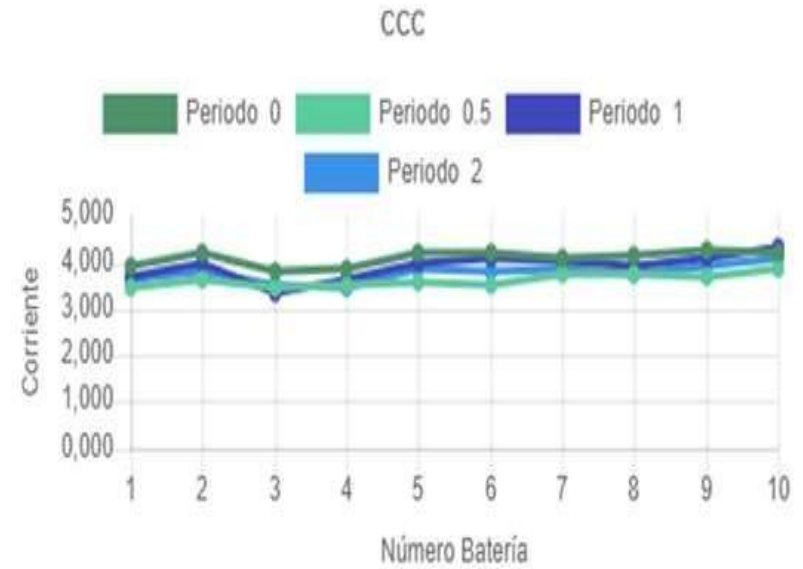
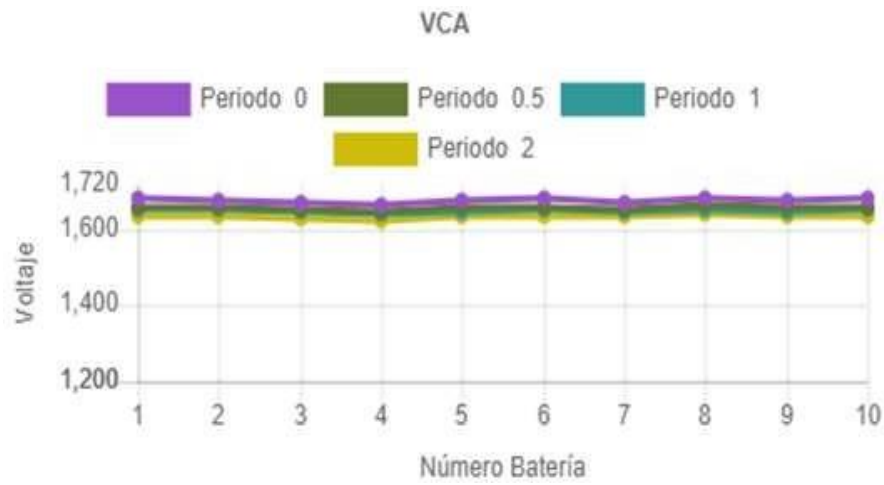
ANEXO 12. Gráficos obtenidos para VCA, VCC y CCC del Target en ambiente de la semana 2 de la línea 1.



ANEXO 13. Gráficos obtenidos para VCA, VCC y CCC del Target en ambiente de la semana 2 de la línea 2.



ANEXO 14. Gráficos obtenidos para VCA, VCC y CCC del Target en alta de la semana 3 de la línea 1.



ANEXO 15. Gráficos obtenidos para VCA, VCC y CCC del Target en alta de la semana 3 de la línea 2.

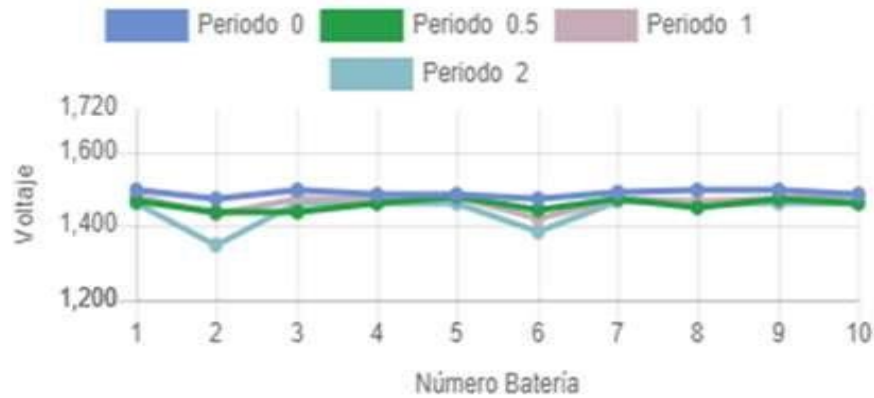
VCA



CCC

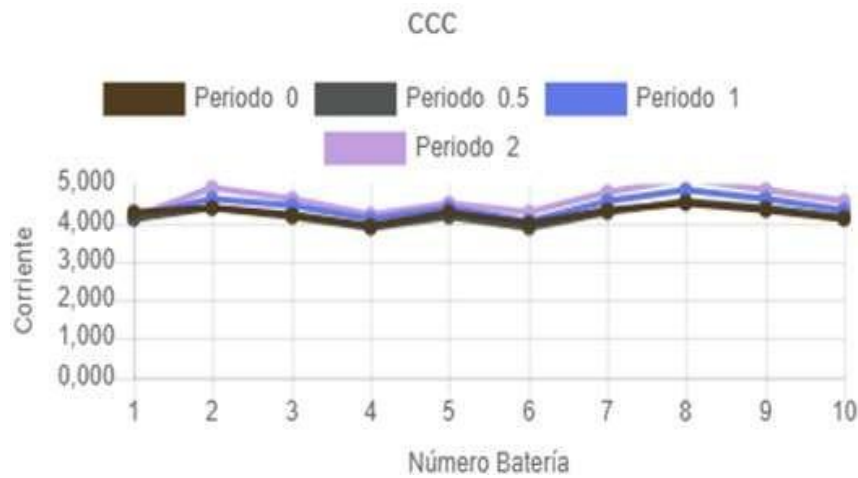
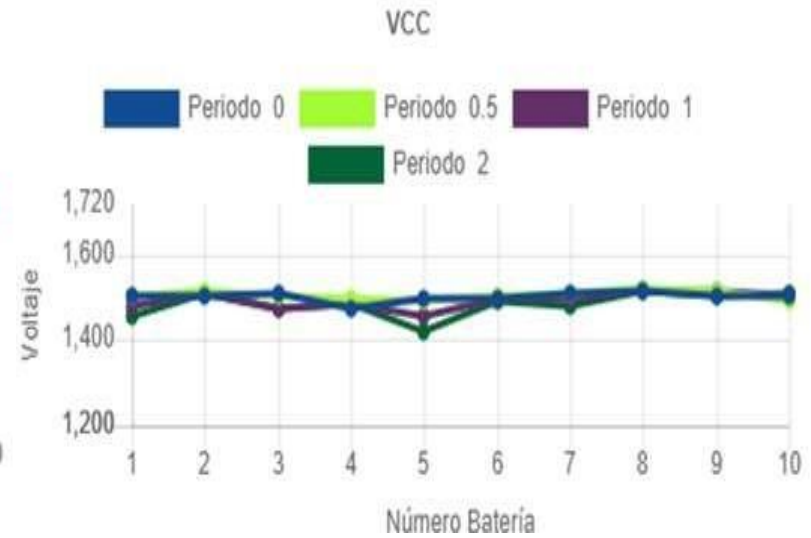
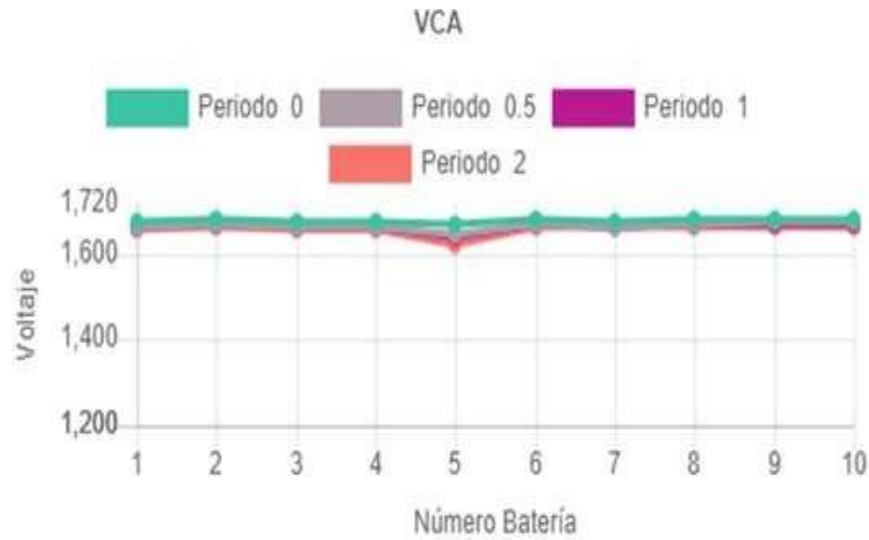


VCC

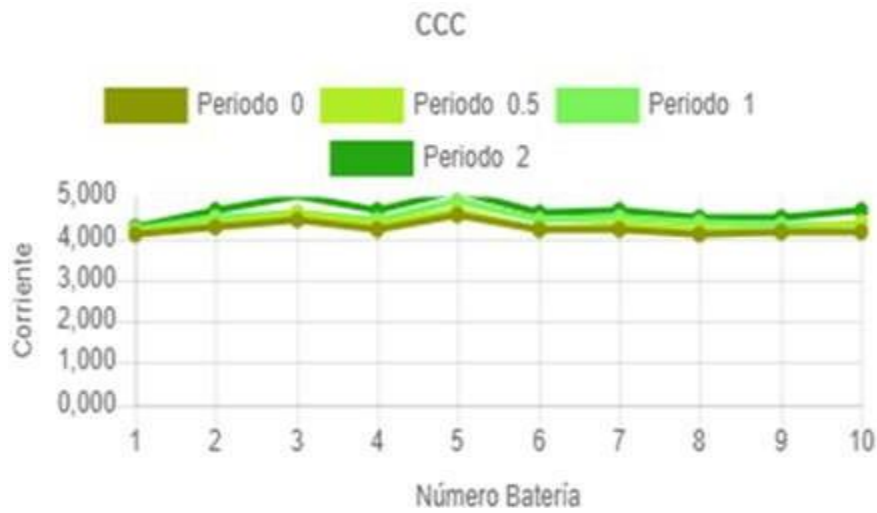
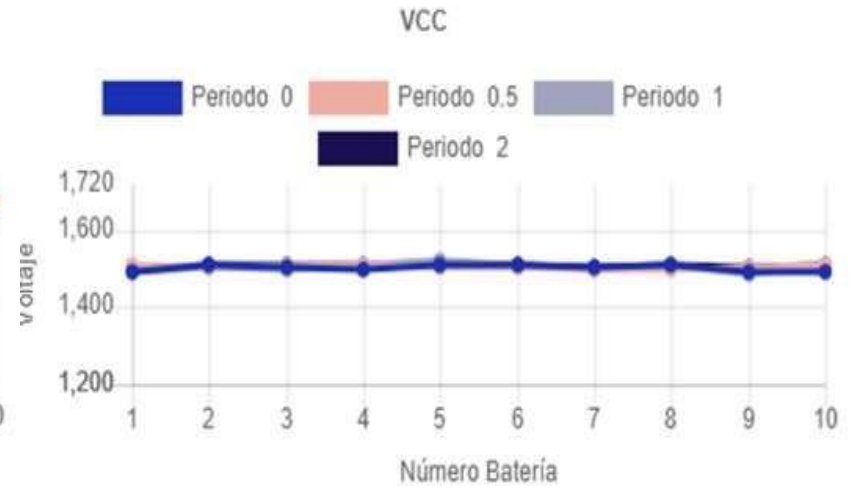
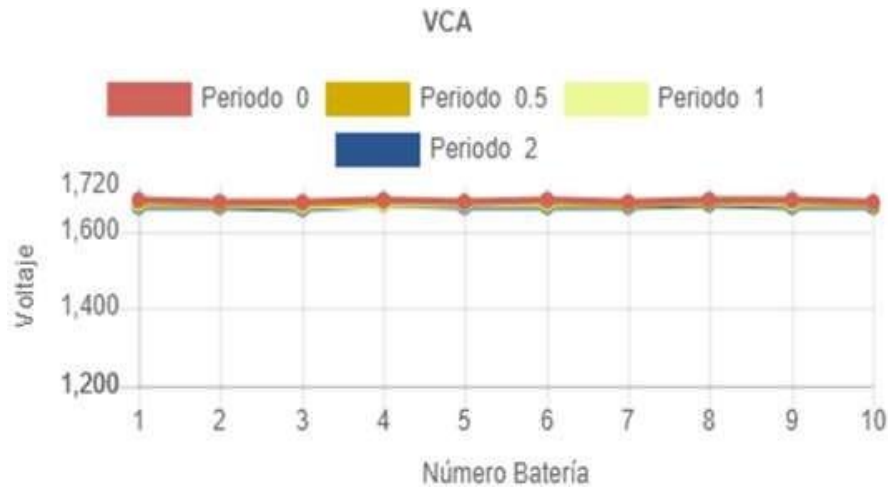




ANEXO 16. Gráficos obtenidos para VCA, VCC y CCC del Target en ambiente de la semana 3 de la línea 1.



ANEXO 17. Gráficos obtenidos para VCA, VCC y CCC del Target en ambiente de la semana 3 de la línea 2.





## ANEXO 19. Plan operativo inserción fondo metálico (R6) modificado

<b>TRONEX®</b>	RESPONSABLE Coordinador I +D +i	CODIGO PPPO027		
		Página 1 de 1		
PLAN OPERATIVO		FECHA VIGENCIA		
INSERCIÓN FONDO METÁLICO (R6)		AAAA 2021	MM 01	DD 19
		VERSION 05		

**ACTIVIDAD:** INSERCIÓN FONDO METÁLICO (R6).

**MÁQUINA:** BOTTOM R6(1) - BOTTOM R6(2) – TOP R6 (3)

VARIABLE	ESPECIFICACION	FRECUENCIA	RESPONSABLE	REGISTRO	EQUIPO	MUESTREO
ALTURA DE HOMBROS. (CON DISCO DE FONDO)	47,4 – 47,9mm	Cuando hay producción.	Supervisor de Calidad.	PPRG025	Pie de rey	5 unidades cada 1 hora.
ALTURA TOTAL DE LA PILA	49,5 – 50,3mm	Cuando hay producción.	Supervisor de Calidad.	PPRG025 PPRG026	Pie de rey	5 unidades cada 1 hora.
DIAMETRO INTERIOR DEL FONDO	13,3 – 13,4mm	Cuando hay producción.	Supervisor de Calidad.	No aplica	Pie de rey	Aleatorio
PROFUNDIDAD DE REBORDEO	5,0 – 5,2mm	Cuando hay producción.	Supervisor de Calidad.	No aplica	Pie de rey	Aleatorio.

## ANEXO 20. Planeador de chequeos a producciones línea R6-3

CHEQUEO A PRODUCCIONES LÍNEA R6-3									
producción	fecha de producción	chequeo	fecha chequeo	pilas chequeadas	rechazos	% rechazos	recuperadas	total de rechazos	total rechazos %
1	23/10/2020	1	30/10/2020	356	50	14,04%		282	79,21
		2	6/11/2020	306	49	16,01%			
		3	20/11/2020	257	183	71,21%			
2	5/11/2020	1	12/11/2020	232	20	7,76%		58	25,00
		2	19/11/2020	212	8	3,77%	2		
		3	3/12/2020	204	32	15,69%			
		Horno 55°C	19/11/2020	30	7	23,33%			
3	10/11/2020	1	17/11/2020	860	62	7,21%		278	32,33
		2	24/11/2020	798	25	3,13%			
		3	9/12/2020	773	191	24,71%			
4	11/11/2020	1	18/11/2020	144	2	1,39%		34	23,61
		2	25/11/2020	142	6	4,23%			
		3	9/12/2020	136	26	19,12%			
5	12/11/2020	1	19/11/2020	803	43	5,11%		123	15,32
		2	26/11/2020	760	17	2,11%	2		
		3	10/12/2020	743	66	8,88%	1		
		Hornos		50					
6	23/11/2020	1	30/11/2020	203	30	14,78%		50	24,63
		2	9/12/2020	173	5	2,89%			
		3	21/12/2020	168	15	8,93%			
7	25/11/2020	1	2/12/2020	225	6	2,67%		47	20,89
		2	9/12/2020	219	16	7,31%			
		3	23/12/2020	203	25	12,32%			
8	26/11/2020	1	3/12/2020	150	22	14,67%		36	24,00
		2	10/11/2020	128	4	3,13%	1		
		3	23/12/2020	125	11	8,80%			
9	30/11/2020	1	4/12/2020	203	2	0,99%		10	4,93
		2	14/12/2020	201	3	1,49%			
		3	23/12/2020	198	5	2,53%			
10	2/12/2020	1	9/12/2020	3418	49	0,99%		52	1,52
		2	16/12/2020	3369	12	0,24%	15		
		3	23/12/2020	3372	10	0,30%	4		

