



POSGRADOS

Maestría en PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES

RPC-SO-30-NO.506-2019

Opción de Titulación:

Propuestas metodológicas y tecnológicas avanzadas

Tema:

Diseño de un plan de eficiencia energética para las áreas críticas de una fábrica de baterías de la ciudad de Guayaquil, mediante el uso de la herramienta DMAIC de la metodología Lean Six Sigma

Autor(es)

Yasser Fernando Román Matamoros

Director:

Tania Catalina Rojas Párraga

GUAYAQUIL – Ecuador
2023

Autor(es):



Yasser Fernando Román Matamoros
Ingeniero Industrial
Candidato a Magíster en Producción y Operaciones Industriales por
la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Guayaquil.
yroman@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Tania Catalina Rojas Párraga
Ingeniera Industrial
Magíster en la Gestión de la Productividad y la Calidad
trojas@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

2023 © Universidad Politécnica Salesiana.

GUAYAQUIL– ECUADOR – SUDAMÉRICA

Yasser Fernando Román Matamoros

DISEÑO DE UN PLAN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LAS ÁREAS CRÍTICAS DE UNA FÁBRICA DE BATERÍAS DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL, MEDIANTE EL USO DE LA HERRAMIENTA DMAIC DE LA METODOLOGÍA SIX-SIGMA

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a los padres que dando todos a tus hijos se siguen preparando, a los jóvenes que van puliendo su carácter y a todas las personas extraordinarias, que si lo pensamos bien son personas ordinarias que deciden dar el extra; en el mundo que les rodea, en sus relaciones, en lo que les apasiona y en su desarrollo humano y profesional.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi Tía María del Carmen Román, pionera en su generación en alcanzar la excelencia en su vocación, por fomentar en todos sus sobrinos y estudiantes el amor a la lectura sin buscar el reconocimiento externo, sino que sea un aprendizaje para la vida misma.

A mi padre Fernando Román, que me enseñó que antes de ser profesional debo ser un ciudadano de bien, a mi madre Chanena Matamoros, que sigue innovándose día a día y nos demuestra que el trabajo de ser madre o padre jamás termina, y a mi hermana María Gracia que me mostró que se debe terminar lo que se empieza y que el amor no es solo dar lo que esperan, sino también lo que necesitan de nosotros.

Tabla de Contenido

Resumen	10
Abstract	11
1. Introducción	12
2. Determinación del Problema.....	14
2.1 Justificación de la Investigación.....	15
2.2 Objetivo General.....	15
2.3 Objetivos Específicos	15
3. Marco teórico referencial.....	17
3.1 Energía Eléctrica.....	18
3.2 Contaminación y Sustentabilidad	19
3.3 Administración Energética Empresarial.....	20
3.4 Eficiencia Energética	20
3.5 Proceso de Formación de Baterías	21
3.6 DMAIC	21
3.6.1 Definir	22
3.6.2 Medir	23
3.6.3 Analizar	23
3.6.4 Mejorar	23
3.6.5 Controlar.....	23
4. Materiales y metodología.....	24
4.1 Definir	26
4.1.1 Definición del Problema	26
4.1.2 Definición del Equipo de Trabajo	26
4.1.3 Voice of Customer	27
4.1.4 Diagrama SIPOC	28
4.1.5 CTQ's Tree.....	29
4.1.6 Evaluación Financiera	30
4.2 Medir.....	32
4.2.1 Plan de Recolección de Datos.....	32
4.2.2 Consumo Energético Total de la Planta.....	33
4.3 Analizar	34

4.3.1	Diagrama de Ishikawa.....	34
4.3.2	Matriz Causa Efecto.....	35
4.3.3	Plan de Verificación de Causas.....	36
4.3.4	Los 5 Por Qué.....	39
4.4	Implementar.....	41
4.4.1	Método 5W2H.....	41
4.5	Controlar.....	45
4.5.1	Checklist Operacional.....	45
5.	Resultados y discusión.....	47
6.	Conclusiones.....	52
	Referencias.....	54

Índice de Figuras

Figura 1: Demanda mensual de energía eléctrica. [10].....	18
Figura 2: Lista de países y su respectivo porcentaje de reserva ecológica [12].....	19
Figura 3: Ciclo DMAIC [2].....	22
Figura 4: Definición del Problema	26
Figura 5: Equipo de Trabajo.....	27
Figura 6: CTQ's Tree.....	29
Figura 7: Consumo energético de los medidores con mayor carga	33
Figura 8: Diagrama de Ishikawa – Elevado consumo energético	35
Figura 9: Comparación entre la tecnología IGBT y la tecnología SCR	37
Figura 10: Causa Potencial C2.....	40
Figura 11: Causa Potencial C3.....	40
Figura 12: Causa Potencial C4.....	40
Figura 13: Causa Potencial C5.....	41
Figura 14: Nivel de éxito en las Mejoras Implementadas	47

Índice de Tablas

TABLA I Proceso para la formación de baterías	21
TABLA II Voice of Customer	28
TABLA III Diagrama SIPOC.....	28
TABLA IV Matriz Voice of Costumer	29
TABLA V Análisis Financiero - Antecedentes	30
TABLA VI Análisis financiero situacional en producción media.....	30
TABLA VII Análisis financiero situacional en incremento de producción (+8%).....	31
TABLA VIII Análisis financiero situacional en decremento de producción (-8%)	31
TABLA IX Distribución de carga por medidor	32
TABLA X Lluvia de ideas- Alto consumo energético	34
TABLA XI Matriz Causa Efecto.....	35
TABLA XII Análisis de eficiencia de cargadores	37
TABLA XIII Plan de verificación de causas.....	39
TABLA XIV Plan de Mejoras 5W2H - Causa C2.....	42
TABLA XV Plan de Mejoras 5W2H - Causa C4.....	42
TABLA XVI Plan de Mejoras 5W2H - Causa C3.....	43
TABLA XVII Plan de Mejoras 5W2H - Causa C5.....	44
TABLA XVIII Plan de Mejoras 5W2H - Causa C6.....	44
TABLA XIX Checklist de apagado de máquinas.....	46

Diseño de un plan de eficiencia energética para las áreas críticas de una fábrica de baterías de la ciudad de Guayaquil, mediante el uso de la herramienta DMAIC de la metodología Lean Six Sigma

Autor(es):

Yaser Fernando Román Matamoros

Resumen

Se utilizó la herramienta DMAIC de la metodología Six Sigma para identificar y corregir fallas en los procesos industriales de una fábrica de baterías en la ciudad de Guayaquil, con la finalidad de reducir pérdidas en los procesos, que generaban un exceso en el consumo energético durante la producción. Luego de determinados los objetivos, se siguieron los pasos Definir, Medir, Analizar, Implementar y Controlar, consiguiendo resultados altamente satisfactorios. La etapa Definir permitió declarar de forma concreta lo que se esperaba obtener del proyecto, y la meta a alcanzar era la reducción del consumo de energía eléctrica en la planta de formación de baterías. Luego la etapa Medir llevó a focalizar qué datos recolectar, además de cuándo, dónde y qué tipo de datos se debían levantar. La etapa Análisis permitió reconocer las causas potenciales. Posterior a esto se realizó también la matriz causa efecto para determinar el impacto que tenía el uso de cada uno de los equipos en el consumo energético. Con esta data se elaboró el plan de verificación de causas, para comprobar lo realizado anteriormente. Y ya con estas causas potenciales, mediante los “5 por qué” se llegó a conocer las causas raíz. Esto sentó las bases para el plan de implementación de mejoras. En la etapa Implementar se realizó un diagrama con toda la información que se tenía y en base a ella se elaboraron las propuestas de mejoras, configurando además información de por qué eran estas la solución, cómo y dónde se realizarían, la persona responsable de su implementación, el costo de la implementación y el tiempo en que se debería realizar. Con el paso del tiempo se implementaron las mejoras, y con la etapa Controlar se aseguró que las mejoras implementadas ingresen al plan de mantenimiento, de manera que tanto estas como el ahorro energético obtenido, sean perdurables en el tiempo.

Palabras clave:

DMAIC, plan de ahorro energético, análisis de causa raíz

Abstract

The DMAIC tool of the Six Sigma methodology was used to identify and correct failures in the industrial processes of a battery factory in the city of Guayaquil, to reduce losses in the processes, which generated excess energy consumption during production. After determining the objectives, the Define, Measure, Analyze, Implement and Control steps were followed, achieving highly satisfactory results. The Define stage made it possible to specifically state what was expected to be obtained from the project, and the goal to be achieved was the reduction of electrical energy consumption in the battery formation plant. Then the Measure stage led to focusing on what data to collect, as well as when, where and what type of data should be collected. The Analysis stage allowed us to recognize the potential causes. After this, the cause-effect matrix was also carried out to determine the impact that the use of each of equipment had on energy consumption. With this data, the cause verification plan was prepared to verify what was previously done. And already with these potential causes, through the "5 why" the root causes were known. This laid the foundation for the improvement implementation plan. In the Implement stage, a diagram was made with all the information that was available and based on it, the proposals for improvements were prepared, also configuring information on why these were the solution, how and where they would be carried out, and the person responsible for their implementation, the cost of the implementation and the time in which it should be carried out. With time, the improvements were implemented, and with the Control stage, it was ensured that the implemented improvements enter the maintenance plan, so that both these and the energy savings obtained are lasting over time.

Palabras clave:

DMAIC, energy saving plan, root cause analysis.

1. Introducción

Hasta febrero de 2021, el Balance Energético Nacional ubicaba el consumo energético industrial en 4,831 GWh, lo cual representa el 24.16% de la energía facturada por servicio eléctrico en demanda regulada [1]. En este contexto, se reconoce la necesidad de implementación de planes para una eficiente gestión energética, no solamente para la mejora del rendimiento económico y aumento del margen de utilidad de la industria, sino como apoyo a la sostenibilidad ambiental.

La fábrica de baterías objeto de este estudio, se encuentra ubicada en la ciudad de Guayaquil cuenta con nueve medidores de energía eléctrica en su área de formación, el área especializada donde se fabrican baterías. Tres de ellos (el 4, el 1 y el 6) registran el 60% del consumo, que corresponde a 341451,58 kWh en junio de 2021. En este mes, el consumo de los nueve medidores fue de 567577,88 kWh. Lo que da una pista de los procesos que más consumen energía eléctrica y que son, tentativamente, claros candidatos en la ejecución de mejoras a través del plan de eficiencia energética.

En esta fábrica de baterías, se observa que en el año 2020 el promedio de consumo fue de 12.3 kWh/BA (consumo promedio en kilowatts hora por batería producida). En febrero de ese año se dio una fuerte baja del 41% en la producción, lo cual se tradujo en un aumento del consumo a 13.4 kWh/BA. Por el contrario, en junio, hubo un incremento del 43% en la producción, lo que mejoró notablemente la relación, dando un consumo de 10.6 kWh/BA.

Se evidencia que el consumo energético de la planta es más eficiente mientras más cerca está del máximo de su capacidad, pero cuando la producción baja hay un excedente en el consumo energético, por lo que se concluye en que los procesos deben mejorar para contrarrestar esta alta en el consumo. Este incremento se ubica durante el proceso de formación (carga) de baterías y se plantea conseguir un

ahorro de 1.3 puntos (10.5%) respecto al del año anterior que fue de 12.3 kWh/BA, de manera que el consumo promedio en la planta descienda a 11 kWh/BA.

2. Determinación del Problema

Dentro de los proyectos que la empresa levanta cada año se propuso reducir el consumo energético por batería, este al ser uno de lo que más impacta en los costos directos e indirectos de fabricación, la empresa ya viene haciendo esfuerzos para reducir este consumo, sin embargo se había quedado estable en un promedio de 13kw/batería mensuales por más un año y requería un esfuerzo más especializado para encontrar la forma de reducirlo aún más, por ello se decidió usar la metodología DMAIC en búsqueda de reducir la variabilidad de los procesos y alcanzar una mejora sostenible en el tiempo.

La elaboración de un plan de eficiencia energética en el área industrial se realizó con base en tres factores determinantes. Primero se encontró que la data recolectada por el equipo de trabajo justificaba un excedente en el consumo energético y de esa forma se conocía que existía un rubro que podía invertirse para obtener este ahorro, sin embargo, seguía siendo una incógnita si el ahorro obtenido en relación a la inversión realizada sería rentable para los dueños de la fábrica.

Otro factor determinante fueron las mejoras realizadas, que a lo largo de la medición se iban agregando a la planificación, pero, ¿eran todas estas mejoras posibles de implementar?, y, ¿el ahorro energético correspondía al esperado que se calculó en la etapa de Definición? Estas cuestiones conformaban también parte de la problemática en esta investigación.

El tercer factor determinante correspondía a la duración de las mejoras en el tiempo, para lo que se requería socializar las mejoras con los operarios, crear documentos que sean llenados por los mismos a fin de recoger información que sea de utilidad para saber en qué medida las mejoras implementadas eran perdurables y cumplían la función para la que fueron implementadas.

2.1 Justificación de la Investigación

El uso eficiente de energía y la búsqueda de una óptima relación de consumo eléctrico por batería producida, se traducen en reducción de costos operativos, además de un ahorro significativo en el recibo de consumo eléctrico que se paga mes a mes. En un análisis financiero realizado por el autor en conjunto con el equipo de trabajo de la empresa, se encontró que es posible ahorrar entre \$3,000 y \$6,000 aproximadamente al mes, capital que podría cubrir las mejoras necesarias para conseguir el objetivo, representando además un incremento significativo en el margen de utilidad de la planta.

Se remarca además la necesidad de que las industrias progresen hacia una matriz energética sustentable basada en la eficiencia energética, para cumplir con estándares nacionales e internacionales, conseguir permisos de funcionamiento, gozar de beneficios que otorga el Estado a empresas involucradas con el cuidado del medio ambiente, y reducir la huella ecológica para frenar el calentamiento global.

2.2 Objetivo General

Se propone como objetivo general: “Diseñar un plan de eficiencia energética para las áreas críticas de una fábrica de baterías de la ciudad de Guayaquil, mediante el uso de la herramienta DMAIC de la metodología Lean Six Sigma, que facilite la toma de decisiones efectivas en materia de eficiencia energética.”

2.3 Objetivos Específicos

Entre los objetivos específicos están:

Definir qué variables pueden ayudar a segmentar y direccionar la investigación, así como el impacto en el consumo energético, estas áreas serán definidas como “críticas” y delimitar el alcance que servirá para establecer la meta del proyecto.

Realizar un plan de recolección de datos y determinar qué equipos o procesos están teniendo un mayor consumo energético del que deberían.

Analizar la información que será recolectada de los equipos y/o procesos para encontrar la causa raíz del desperdicio energético.

Diseñar un plan de mejoras para disminuir el exceso de consumo energético, que contenga un cronograma, costos aproximados de implementación y observaciones de viabilidad.

Elaborar un plan de control para sostener las mejoras propuestas en el plan de acción que lo requieran.

3. Marco teórico referencial

Para conseguir los objetivos de este proyecto se utiliza la herramienta DMAIC de la metodología Lean Six Sigma. Consiste en una serie de pasos ordenados, utilizados para identificar y corregir fallas en procesos industriales con la finalidad de incrementar la producción o bien reducir pérdidas en los procesos. DMAIC es acrónimo del inglés “Define, Measure, Analyze, Improve and Control”, que en español son Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar [2].

Estas herramientas de análisis de datos pueden ser utilizadas para identificar y eliminar errores en procesos [3], en este caso, fue posible encontrar que conociendo el peso específico del café y controlando el vacío en el proceso era posible reducir costos por pérdida de producto.

En la provincia de Pichincha se utilizó la herramienta DMAIC para mejorar el desempeño competitivo de pequeñas y medianas empresas dedicadas a productos alimenticios [4], mediante el análisis de datos reales fue posible mejorar la calidad y reducir costos de producción y logística, lo cual ayudó a incrementar la eficiencia de estas empresas.

En una fábrica de licores se implementó la herramienta DMAIC, consiguiendo mejorar su índice de eficiencia de equipos del 47% al 80% [5]. En el estudio se descubrió errores como exceso de paradas de la planta, la carencia de un plan de mantenimiento y el uso de operadores en subprocesos que podían ser ejecutados de manera más eficiente al ser automatizados.

En un hospital de San Luis de Potosí se implementó la herramienta DMAIC y se consiguió una mejora sustancial, logrando el compromiso de los directivos y sus subordinados para un eficiente uso de insumos, y mejoras en el proceso de manejo de desechos [6]. En este sentido es importante mencionar el compromiso que debe haber por parte del personal de la empresa o fábrica con el plan de mejoras, pues

es necesaria además de implementación tecnológica, un cambio en la mentalidad, con la finalidad de conseguir éxito en el plan de mejora continua.

La misma herramienta combinada con técnicas de simulación discreta y otras técnicas multicriteriales [7], fueron utilizadas para la implementación de un plan de mejoras en un salón de belleza en México DF, con la finalidad de encontrar un balance entre ingresos, egresos, manejo de recursos y la mera satisfacción del cliente. Se logró con esta implementación reducir los tiempos de espera de clientes y un incremento en los ingresos totales obtenidos.

En la industria de lácteos colombiana se aplicó el enfoque Lean Seis Sigma combinado con el Proceso Analítico Jerárquico, y se demostró que, mediante las mediciones y análisis, es posible disminuir la inconformidad de la clientela con el producto, así como aumentar la eficiencia de la planta, con beneficios reflejados en la economía del sector [8].

3.1 Energía Eléctrica

Se conoce a la energía eléctrica como el flujo de electrones producido por generadores eléctricos basados en fuentes primarias de energía [9], conocidas entre estas fuentes principalmente a las corrientes de agua, gas natural, biomasa, cuyo uso ha incrementado considerablemente en las últimas dos décadas. Desde el 2007 se popularizaron además otras fuentes primarias como son los vientos y la radiación solar.

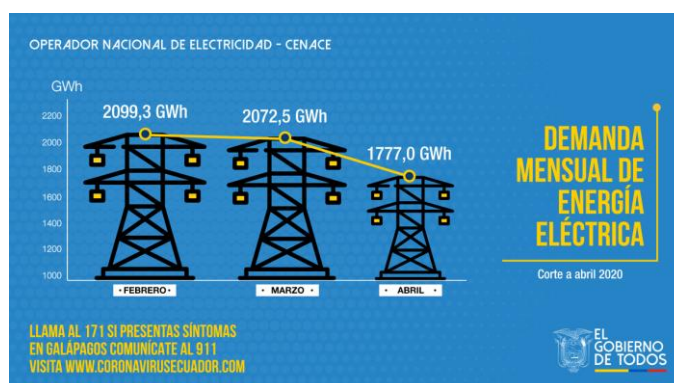


Figura 1: Demanda mensual de energía eléctrica. [10]

La finalidad de la producción de energía eléctrica en una nación luego de ser generada, es ser conducida a través de la red eléctrica hacia hogares, industrias y más lugares donde pueda cumplir su propósito. Se observa en la

Figura 1 las gráficas de la producción de energía eléctrica en Ecuador con corte a abril de 2020, la cual alcanzó los 32.309 GWh, de los cuales 25.418 GWh fueron contabilizados como consumo energético [1].

3.2 Contaminación y Sustentabilidad

Son factores que determinan la sustentabilidad del sector eléctrico ecuatoriano y que afectan la integridad ambiental: el consumo de combustibles fósiles, la generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables, las emisiones de gases de efecto invernadero, las emisiones de contaminantes comunes del aire. Existen además factores determinantes de la sustentabilidad que afectan la integridad social y la económica [11]. De esto se concluye que, todo proyecto cuya finalidad sea el ahorro de energía eléctrica tendrá como consecuencia baja en la contaminación de la atmósfera. Además de aumentar la sustentabilidad de la fábrica, respecto a lineamientos que solicita la ley en el país donde funciona.

COUNTRIES WITH BIOCAPACITY RESERVE	
PERCENTAGE THAT BIOCAPACITY EXCEEDS ECOLOGICAL FOOTPRINT	
Cameroon	26%
Norway	24%
Panama	19%
Guinea	18%
Ecuador	14%
Bhutan	12%
Botswana	10%
Venezuela, Bolivarian Republic of	10%
Myanmar	7%
Chad	6%
Mali	1%

Figura 2: Lista de países y su respectivo porcentaje de reserva ecológica [12]

Según datos de Global Footprint Network a nivel internacional, el Ecuador se encuentra entre los diez últimos puestos de los países cuya reserva ecológica es mayor a la huella ecológica, con un índice del 10%. En la

Figura 2 se aprecian algunos países con índice de reserva ecológica similar. Un objetivo secundario de este proyecto es mejorar la sustentabilidad de la industria, lo que se espera genere a futuro un impacto positivo en este índice [12].

3.3 Administración Energética Empresarial

La AEE utiliza conceptos estadísticos y matemáticos para promover el consumo prudente de energía eléctrica, puede ser aplicado tanto a nivel residencial como empresarial. Las etapas sistematizadas de la AEE son: primero optimizar procesos, segundo disminuir pérdidas técnicas y tercero una buena gerencia de mantenimiento. La empresa al elegir implementar un plan para la Administración Energética Empresarial se compromete a través de sus especialistas a dedicar la cantidad necesaria de recursos materiales y de trabajadores, que siguiendo criterios técnicos orienten su trabajo a concluir esta actividad [13].

3.4 Eficiencia Energética

La EE es el concepto globalizado que incluye el manejo eficiente de la energía en relación a la producción de bienes, la disminución del impacto al medio ambiente e incluso la seguridad en el suministro de energía, incluyendo el bienestar laboral [14]. El impacto al medio ambiente por generación de energía corresponde a emisiones de gases de invernadero liberados a la atmósfera. El consumo eficiente de la energía eléctrica se sostiene sobre dos pilares básicos: la innovación en tecnología y un cambio de mentalidad hacia un estilo de vida más sostenible. No se descartan mecanismos estatales de compensación hacia industrias o personas particulares que implementen planes para el uso más eficiente de la energía.

3.5 Proceso de Formación de Baterías

En la línea de producción los pasos para la fabricación de baterías son: la obtención del óxido de plomo, la fabricación de rejillas, la fabricación de placas, el ensamble de la batería, y el proceso de carga. Para un producto homogéneo de mayor calidad los procesos de producción deben gozar de estabilidad plena. Esto significa reducir las fluctuaciones en tiempos y demás variables de proceso al mínimo. El proceso para la formación de baterías se explica en la Tabla I.

Tabla I
Proceso para la formación de baterías

Proceso	Subproceso	Descripción
Obtención del óxido de plomo	Ball Mill	Se introduce lingotes de plomo en un tambor giratorio. El calor del tambor girando cataliza la oxidación en las capas más superficiales de los lingotes. El óxido va cayendo y permite que nuevas capas de los lingotes se oxiden. Este óxido se utiliza para formar placas positivas.
	Barton	Se pasa aire sobre el plomo fundido para que lo disperse en forma de gotas que al reaccionar con el aire forman el óxido de plomo. Este óxido se utiliza para formar placas negativas.
Fabricación de rejillas	Plomo antimonial - Aleación 1.5 Sb (amarillo, para rejillas) - Aleación 3.8 Sb (rojo, para puentes)	El plomo es calentado hasta su punto de fusión (327 ^o C), se añaden aditivos para mejorar sus propiedades mecánicas y de resistencia a la corrosión y luego se forman en moldes.
	Plomo calcio - Aleación CaSn (azul, para rejillas) - Aleación CaX (blanco, para rejillas)	El plomo es calentado hasta su punto de fusión (327 ^o C), se añaden aditivos para mejorar sus propiedades mecánicas y de resistencia a la corrosión y luego se forman en moldes.

3.6 DMAIC

La herramienta DMAIC de la metodología Lean Six Sigma consiste en un proceso sistémico de mejora continua, manifestado como un conjunto de pasos ordenados que son utilizados para identificar y corregir fallas en procesos industriales con la finalidad de incrementar la producción o bien reducir pérdidas en los procesos. La

Figura 3 representa el ciclo DMAIC [2].



Figura 3: Ciclo DMAIC [2]

DMAIC es acrónimo del inglés “*Define, Measure, Analyze, Improve and Control*”, que en español son Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. Al DMAIC entenderse como un sistema de mejora continua, se establece su ejecución cíclica, es decir, una vez llegado al paso final, si no se han obtenido los objetivos alcanzados se debe volver al primer paso y repetir el procedimiento [15].

Antes de implementar la herramienta DMAIC se debe evaluar que el problema sea específico y sus efectos sean apreciables con claridad; el proceso debe ser medible para de igual forma poder medir la satisfacción de los objetivos cumplidos; al tiempo, los objetivos no deben gozar de una complejidad que los vuelva imposibles de cumplir o muy difíciles de realizar en un plazo corto o mediano. La mejora que representa el cumplimiento de los objetivos debe ser notable; y el tiempo determinado para el cumplimiento de los objetivos no debe extenderse demasiado para no perder de vista la meta conforme se avanza.

3.6.1 Definir

La primera etapa es la identificación del problema a través de las variables que lo componen. Para esto se debe describir el proceso sobre el que se aplicará la metodología y plantear los objetivos que se desea alcanzar al final de la implementación [16]. Si ciertamente observar y describir es primordial en este paso, no se debe descartar la retroalimentación del personal, para tener la opinión de los trabajadores que están más cerca al proceso.

3.6.2 Medir

Medir es dimensionar las variables y entender cómo cambian respecto al tiempo. Recolectar estos datos dan una clara idea de los errores que existen y en qué etapas del proceso se encuentran, así como la manera de abordarlos para generar las posibles soluciones [16]. En esta etapa es común el uso de un CTQ Tree, que es un diagrama que enumera los atributos del proceso que determinan críticamente su calidad en relación a la satisfacción del consumidor final.

3.6.3 Analizar

Con los datos recolectados se procede con herramientas de análisis, entre las que se mencionan la regresión lineal, los histogramas, análisis de correlación, entre otros. Este análisis es útil para determinar la causa o causas del problema raíz, de manera que sean apreciables las oportunidades de mejora [16].

3.6.4 Mejorar

La mejora incluye toda implementación orientada al cumplimiento de objetivos. En este paso se plantea la solución o soluciones, se las evalúa y elige cuál o cuáles ejecutar. Se debe priorizar las soluciones menos complejas y tener en cuenta que no necesariamente se harán todas las implementaciones planteadas. En este paso es útil realizar mapas de proceso y análisis costo beneficio [16].

3.6.5 Controlar

La mejor manera de controlar la implementación en esta metodología es definir metas en función de valores estadísticos, realizar checklists para comprobar la precisión al momento de cumplir el plan, elaboración de documentos técnicos para el mantenimiento preventivo, y, sobre todo, la socialización de todos estos criterios, sumados al compromiso del personal de comprometerse a cumplirlos de manera permanente [16].

4. Materiales y metodología

Esta investigación se realiza con un enfoque cuantitativo y alcance correlacional, por cuanto se intenta predecir cómo algunas variables modificarán el comportamiento del sistema frente a otras [17]. Como por ejemplo la reducción del tiempo de respuesta en la toma de decisiones y el orden de prioridad en el abordaje de áreas críticas, frente a su capacidad de afectar el consumo energético. En este caso en particular se espera que la correlación sea negativa, pues la reducción del consumo se da frente a la disminución de la primera variable y el incremento de la segunda.

Se dispondrá además de un alcance explicativo, por cuanto existe una matriz de modelos matemáticos y conceptos, estructurados y profundamente descritos, que mediante la toma de datos y medición de las variables ayudan a determinar las causas de los fenómenos observados [18].

Se sigue un diseño de investigación experimental en el que existen variables independientes (consumo energético en diferentes partes de la planta), que serán manipuladas, así como variables dependientes (ahorro energético y monetario) que se medirán de manera periódica [19].

Se mantiene para esta investigación un nivel aplicado y tecnológico, que se sustenta en el uso del método científico y la implementación de nuevas tecnologías para la resolución del problema que representa el alto consumo energético en la planta de baterías [20].

El método investigativo utilizado en el presente proyecto se basa en la propuesta de combinar los métodos deductivo y analítico. Se realiza un compendio de principios y postulados que sustentan la manera en que se lograrán los objetivos, a la vez que se descompone al problema para proceder a analizarlo en partes [17].

Al aplicar la investigación cuantitativa se encontró necesario recopilar tres tipos de datos: la cantidad de baterías producidas en cierto período de tiempo, el consumo energético de todas las áreas de la empresa, y el rubro a pagar por dicho consumo.

Esta información será recopilada a través de reportes, en el caso de la cifra de baterías fabricadas, el dato lo brinda el Departamento de Producción. El consumo energético es consultado directamente mediante la herramienta de software llamada PowerManagement. Y el monto cancelado por consumo de luz será consultado en los reportes del Departamento de Finanzas.

La aplicación de la herramienta DMAIC para llevar a cabo la investigación será fundamental, y va de la mano con herramientas como la revisión documental, de manuales técnicos de la planta; y la observación directa, visitando los diferentes lugares de la planta donde se detectó alto consumo energético.

Una vez elaborado el plan de eficiencia energética y mejoras para el ahorro energético en la planta, se realizará socialización del plan entre los trabajadores, y se utilizará encuestas para conocer el nivel de comprensión y de aceptación de las medidas a tomar. Los resultados serán tabulados en gráficas para luego interpretarlos y sacar las conclusiones correspondientes.

Para el monitoreo del proceso y su control óptimo en función de un tiempo determinado se usó la distribución de Poisson. Este modelo permite calcular la probabilidad de que un evento ocurra o no, cuando previamente se conoce el promedio de veces que este evento ha ocurrido o no, en un determinado tiempo. Entre las opciones de software para realizar los cálculos y las tablas de manera práctica y precisa se escogió Microsoft Excel para este proceso.

4.1 Definir

4.1.1 Definición del Problema

La primera etapa de la metodología DMAIC se planteó cinco preguntas con la finalidad de definir el problema. Estas preguntas y sus respuestas se leen en la

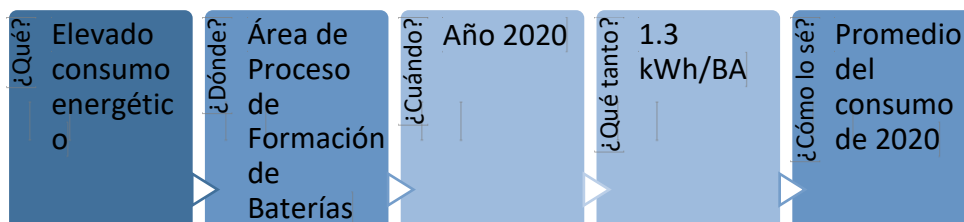


Figura 4. Se entiende gracias a este planteamiento que el elevado consumo energético en el área de proceso de formación de baterías generó un excedente de consumo en el promedio anual de 1.3 kWh/BA (kilowatt hora por batería producida) en relación al año anterior. Con la aplicación de las siguientes etapas de la metodología DMAIC se buscó contrarrestar el problema y generar así un cambio que concluye en un proceso de mejora continua.

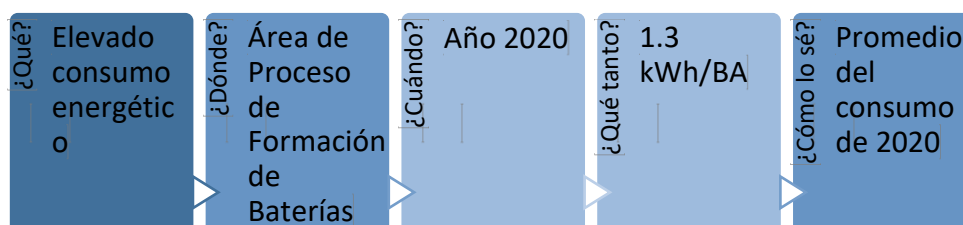


Figura 4: Definición del Problema

Declaramos el problema de esta manera: El promedio de consumo energético durante el proceso de carga de las baterías en el último año es de 12.3 kWh/BA cuando lo esperado por la organización es 11 kWh/BA.

4.1.2 Definición del Equipo de Trabajo

El equipo de trabajo se conforma de cuatro ejes autoportados, los equipos de *Technical Support*, *Team Process*, *Management Support* y *Team DMAIC* entre quienes se acordó comprometerse en la realización de las tareas necesarias para la

obtención de los objetivos. Al tiempo que se rindió cuentas a los encargados de *Sponsor*, *Process Owner*, y *Coach*, quienes brindaron patrocinio y asesoría cada vez que fue necesario. La Figura 5 muestra el diagrama elaborado para conocimiento del equipo de trabajo.

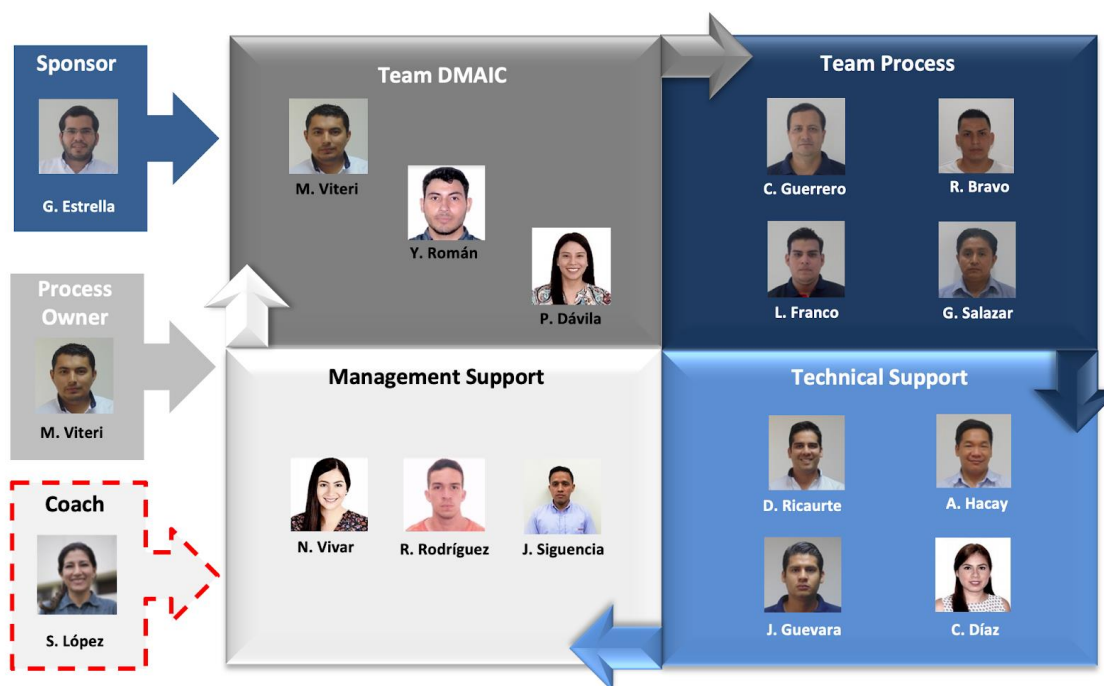


Figura 5: Equipo de Trabajo

4.1.3 Voice of Customer

Dado que en este caso de estudio el cliente es interno, no se dificultó averiguar los requerimientos del problema. En la Tabla 2 se explica con mayor detalle lo que se encontró al consultar al personal encargado del área de Formación de Baterías. Entre los hallazgos más importantes está el gran consumo energético que se concentra en cargadores de baterías y chillers, el pico de consumo energético en el área de carga de baterías se da entre las 8:00 y las 16:30 del día, existen tinas de carga que al momento de trabajar no se encuentran completas, la temperatura de operación de las máquinas dependen de la cantidad y el tipo de batería que se está produciendo, y falta de estandarización en tiempos de carga que es un indicador de la eficiencia de los cargadores.

4.1.4 Diagrama SIPOC

Mediante esta herramienta fue posible determinar cómo fluía el problema relacionando los proveedores (suppliers) y entradas del proceso (inputs), con las salidas (outputs) y sus consumidores o clientes (customers). Para esto se estrechó comunicación con los trabajadores en las áreas específicas, buscando el criterio técnico del área eléctrica, para conocer a fondo el flujo de operación. El diagrama SIPOC se detalla en la Tabla 3.

TABLA II
Voice of Customer

PRODUCTO	CLIENTE	HALLAZGOS
ENERGÍA ELÉCTRICA	TECNOVA – Formación de Baterías	El mayor consumo de energía eléctrica se divide en <i>cargadores</i> y <i>chillers</i> .
		El pico de consumo de energía eléctrica para carga de baterías es desde las 8:00 horas hasta las 16:30 horas del día.
	TECNOVA – Planta	Las tinas de carga no se completan en su totalidad, dejando líneas vacías.
		Temperaturas de operación de equipos depende de cantidad o tipo de baterías.
		Existen cargadores con diferentes eficiencias.
CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	Departamento Financiero	El valor del consumo eléctrico cambia nuestro costo de elaboración del producto terminado, afectando decisiones financieras.
	Seguridad Industrial	Consumo energético contribuye al impacto ambiental de la Organización.
	Ventas	El principal costo a considerarse en el costo de venta es el costo de producción, al reducirlo se tiene la oportunidad de ganar competitividad en el mercado.
	Operaciones	El ahorro a generar puede ser usado en la compra de cargadores más eficientes.

TABLA III
Diagrama SIPOC

SUPPLIER	INPUTS	PROCESS	OUTPUTS	CUSTOMERS
Montaje Planta de Ácido	Batería Seca Electrolito Habilidades Operador	Llenado de Baterías	Batería Llena Electrolito Reciclado PNC	Tinas de Carga Reciclaje Planta de Ácido
CNEL Guayaquil PTAR	Energía Eléctrica Agua Habilidades Operador	Carga de Baterías	Batería Cargada Agua Reciclada PNC	Llenado Final PTAR Reciclaje
Tinas de Carga Planta de Ácido	Batería Cargada Electrolito Habilidades Operador	Nivelado de Baterías	Batería Nivelada PNC	Lavadora Baterías Reciclaje

Llenado Final PTAR Now Service	Batería Nivelada Agua Neutralizante	Lavado de Baterías	Batería Lavada Agua Reciclada PNC	Comprobador Alto Amperaje PTAR Reciclaje
Lavadora de Baterías CNEL Guayaquil	Batería Lavada Energía Eléctrica Habilidades Operador	Comprobación de Baterías	Batería Comprobada PNC	Etiquetado y Codificado Reciclaje
Comprobador A.A. Imprenta Mariscal Sourcing Group	Batería Comprobada Etiquetas Accesorios	Etiquetado y Codificado	Batería Terminada Retrabajos	Centro de Distribución Montaje

4.1.5 CTQ's Tree

Apreciamos de forma jerárquica en la

Figura 6 el diagrama Critical to Quality (CTQ) Tree el objetivo principal de nuestra investigación, los clientes del proceso y sus necesidades primordiales.

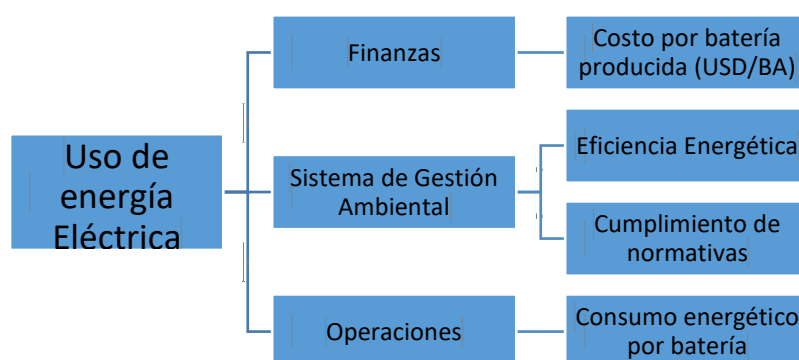


Figura 6: CTQ's Tree

TABLA IV
Matriz Voice of Customer

VOZ DEL CLIENTE	PROBLEMA CLAVE	CTQ	INDICADOR	META
Alto consumo energético por batería producida	Consumo excesivo en el área de carga de baterías	Reducir la cantidad de kWh/BA	Kilovatio hora por batería producida (kWh/BA)	11.3 kWh/BA
Scrubber funcionando en exceso de capacidad	Equipos Scrubber funcionando de manera permanente	Capacidad de Scrubbers	Porcentaje	Equipos funcionando al 80% de capacidad promedio
Sistema de desnergización deficiente en planta	Equipos no son correctamente apagados o funcionan fuera del tiempo de producción	Estado de equipos (encendido o apagado)	Equipos encendidos / total de equipos	100% de equipos en desuso apagados

Chillers encendidos a toda su capacidad	Todos los compresores se encienden al mismo tiempo	Estado de equipos (encendido o apagado)	Equipos encendidos / total de equipos	Encendido paulatino de acuerdo al requerimiento
Eficiencia de cargadores varía según el modelo	La máxima eficiencia de carga es 69%	Eficiencia energética	kWh Salida / kWh Entrada	65% de eficiencia en los tres cargadores
Eficiencia energética de luminarias	Luminarias de mercurio halogenado tienen alto consumo energético	Eficiencia energética	Kilovatio hora (kWh)	Cambiar a luminarias tipo LED de bajo consumo

4.1.6 Evaluación Financiera

Con datos del departamento financiero, se encontró que en el año 2020 la producción más eficiente ocurrió el mes de junio, mientras que en febrero del mismo año el consumo eléctrico respecto al volumen de producción fue el más alto, lo que refleja un uso ineficiente de la energía eléctrica. Con esta información se procede a realizar las proyecciones y calcular el ahorro que se pretende obtener con el plan de mejoras.

TABLA V
Análisis Financiero - Antecedentes

Antecedentes							
Fechas	kWh/BA	Relación	kWh	Incremento consumo	Baterías	Incremento producción	Consumo (USD)
Año 2020	12.3	Promedio	647777		52538		\$40,474
Jun 2020	10.6	Mejor	799750	23%	75108	43%	\$49,639
Feb 2020	13.4	Peor	596190	-25%	44572	-41%	\$36,838

De acuerdo a la meta planteada de 11 kWh/BA se calcularon las proyecciones en la fila de valores objetivos para tres casos. En la Tabla 4 con datos del promedio del año 2020. En la Tabla 5 se plantea el cálculo con una producción en incremento del 8% y en la Tabla 6 los valores fueron calculados para una producción inferior en 8% al promedio. Los valores esperados corresponden a los proyectados con base en la meta y el costo de kilowatt hora es el estipulado para la zona donde está la planta.

TABLA VI
Análisis financiero situacional en producción media

Análisis Financiero situacional en producción media							
Valor	Baterías	Consumo kWh	Rend. kWh/BA	Reducción Consumo kWh	USD/ kWh promedio	Consumo (USD)	Ahorro

Esperado	52538	647777	12.3	-11%	\$0.06	\$40,456.98	\$4,362.88
Objetivo		577921	11			\$36,094.10	

TABLA VII
Análisis financiero situacional en incremento de producción (+8%)

Análisis Financiero situacional en incremento de producción (+8%)							
Valor	Baterías	Consumo kWh	Rend. kWh/BA	Reducción Consumo kWh	USD/ kWh promedio	Consumo (USD)	Ahorro
Esperado	56741	676078	11.9	-8%	\$0.06	\$42,224.54	\$3,242.91
Objetivo		624154	11			\$38,981.63	

Según las tres proyecciones calculadas, mejorando el rendimiento kWh/BA se puede obtener ahorro en los tres casos. Con la producción promedio, en incremento de 8% y con baja del 8%. Sin embargo, cuando la producción baja la relación kWh/BA es mayor, lo que haría más difícil llegar a la meta, puesto que la reducción del consumo debe ser mayor que en los otros dos casos. Esta cifra de reducción de consumo al ser más alta explica también que el ahorro sea mayor que en los otros dos casos.

TABLA VIII
Análisis financiero situacional en decremento de producción (-8%)

Análisis Financiero situacional en decremento de producción (-8%)							
Valor	Baterías	Consumo kWh	Rend. kWh/BA	Reducción Consumo kWh	USD/ kWh promedio	Consumo (USD)	Ahorro
Esperado	48335	642217	13.3	-17%	\$0.06	\$40,109.75	\$6,903.18
Objetivo		531687	11			\$33,206.57	

4.2 Medir

4.2.1 Plan de Recolección de Datos

Para realizar el proceso de Medir de manera adecuada era importante determinar las áreas de la planta que tenían mayor consumo energético, luego en estas concentrar el mayor esfuerzo para lograr la reducción requerida. Los datos se los obtuvo gracias a la herramienta de software PowerManagement que recopila esta información a diario de los nueve medidores que tiene la planta, de esta manera se supo que los medidores que mayor carga eléctrica tenían eran el 4, 5, 6 y 7. En la Tabla 9 se describe a detalle las cargas conectadas a estos medidores.

TABLA IX
Distribución de carga por medidor

Item	Medidor 4 Medidor TDP10-3200A/440V	Medidor 5 Medidor TDP9-3200A/220V	Medidor 6 Medidor TDP8-2500A/440V	Medidor 7 Medidor TDP11-2000A/440V
1	Firing circuit 8L-15A	Ups 20kva	Bombas chiller (terrace)	Cargador sovema 1
2	Firing circuit 12L-20A	Bombas Planta de agua	Scrubber 1	Cargador sovema 2
3	Firing circuit 40L-20A	Extractores de aire	Scrubber 2	Cargador sovema 3
4	Firing circuit 40L-30	Luces	Chiller 1	
5	Reserva	Panel servicios generales	Chiller 2	
6		Tablero districuion 220v formacion	Uma 1	
7		Ups 6kva	Uma 2	
8		Firing circuit 20L-30A	Uma 3	
9		Tomacorrientes transpaletas	Bomba sumergible	
10		Reserva	Cargador Hindu	
11		Reserva	Tablero OMI (tinas-maquinas)	
12		Reserva	Reserva	

13		Reserva	Reserva	
14			Reserva	
15			Reserva	

4.2.2 Consumo Energético Total de la Planta

Una vez se conoce la cantidad de energía consumida en las áreas de la planta dedicadas a la producción, y con los reportes de número de baterías fabricadas del departamento de producción, se logró obtener la cifra de consumo de energía eléctrica por batería producida. Este dato es indicador directo de la eficiencia energética en la planta de fabricación de baterías, y objeto principal del plan de mejoras en este proyecto. En el diagrama de Pareto de la Figura 7 se muestra la relación consumo sobre medidor correspondiente al promedio del año 2020, colocando estos de mayor a menor consumo para ordenar las prioridades.

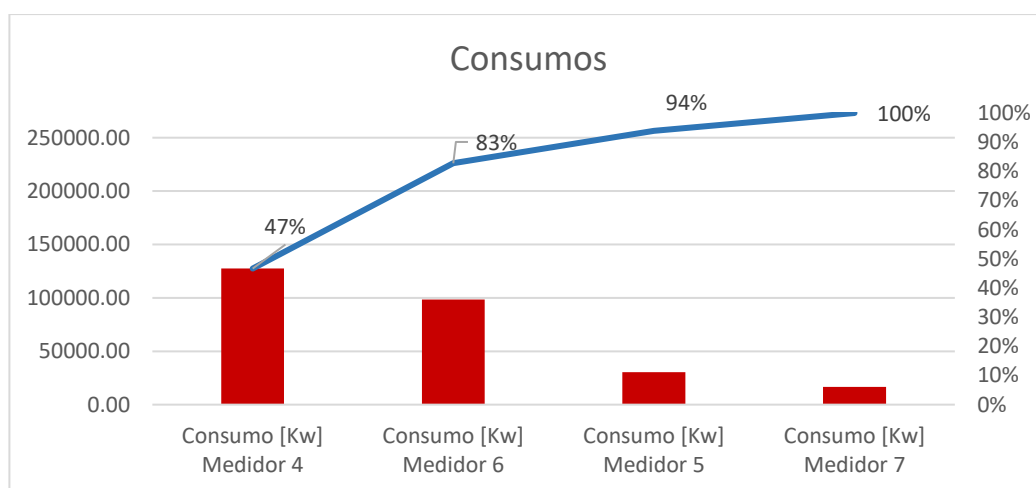


Figura 7: Consumo energético de los medidores con mayor carga

Una vez entendidas las prioridades se propuso el plan de acción, con procedimientos que promovieron el ahorro de energía e incremento de la eficiencia energética del proceso, entre ellos la implementación del formato de desernegización de equipos al final de cada turno, capacitaciones a los responsables de la inspección del correcto apagado de equipos, la elaboración de un checklist de apagado de equipos, buscar cubrir la capacidad del proceso con el mínimo de

equipos encendidos, el uso de equipos como extractores únicamente cuando seas necesaria su operación.

4.3 Analizar

Para la etapa de análisis. Se elaboró entonces una reunión con el grupo de trabajo para establecer las condiciones básicas de operación, generar una lluvia de ideas y analizar los datos de la etapa previa que fueron estudiados detenidamente utilizando herramientas de identificación de causas, elaborar el diagrama de Ishikawa y la matriz causa efecto, para el correcto cumplimiento de la etapa. Con la idea clara de que el problema es el alto consumo energético en el área de formación de baterías mediante una lluvia de ideas detallada en la Tabla 10 se consiguió enlistar las siguientes premisas:

TABLA X
Lluvia de ideas- Alto consumo energético

Lluvia de Ideas	
ALTO CONSUMO ENERGÉTICO	
1	Los equipos siguen en funcionamiento en períodos de tiempo extendidos cuando no se está produciendo baterías.
2	La tarifa o costo del kilovatio hora es más alto conforme el cliente, en este caso la planta de baterías, consume más energía.
3	Los programas de carga no tienen tiempos estandarizados.
4	La iluminación y el sistema de extracción se encuentran encendidos de manera permanente.
5	Los horarios de carga exceden el tiempo determinado y no son los mismos en todos los cargadores.
6	Las tinas no se llenan a su máxima capacidad.
7	La eficiencia de los cargadores ha caído con el pasar de los años debido al uso de los mismos.

4.3.1 Diagrama de Ishikawa

Para la Figura 8 se elaboró el diagrama de Ishikawa, conocido también como diagrama de espigas de pescado, en el que se observan los temas principales y las causas relacionadas, en función del problema principal.

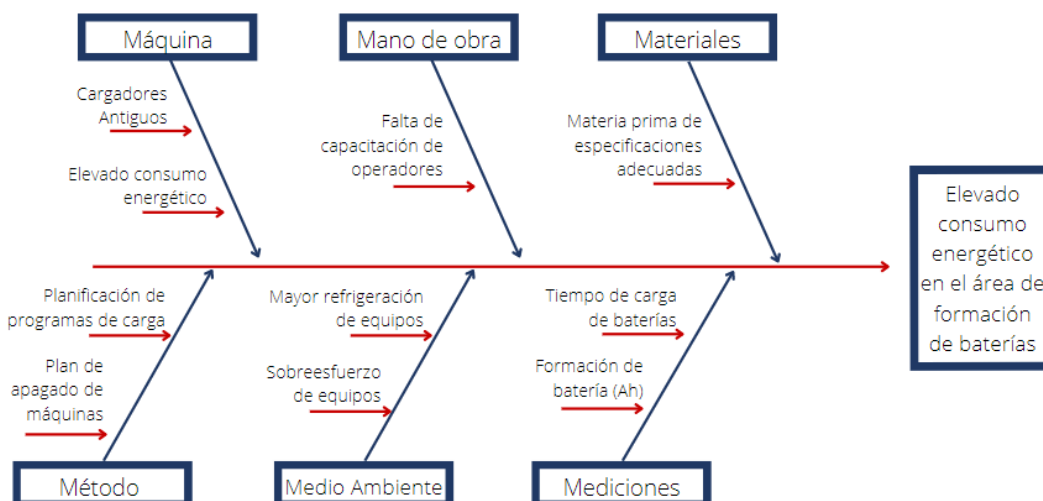


Figura 8: Diagrama de Ishikawa – Elevado consumo energético

4.3.2 Matriz Causa Efecto

La matriz causa efecto se observa en la Tabla 11, y genera valores relacionando las variables de entrada y salida, permitiendo apreciar cuáles áreas de mayor consumo, lo que facilitó el ordenamiento de las causas probables de mayor prioridad.

TABLA XI
Matriz Causa Efecto

MATRIZ CAUSA EFECTO		Variables de Salida Y's		Total
		Consumo en el resto de la planta	Consumo en área de formación	
Variables de Entrada X's	Eficiencia de cargadores de Baterías	7	10	
	Sovema	1	4	47
	Hindu	1	5	57
	Firing Circuit	1	8	87
	Sistema de Enfriamiento			
	Chillers	2	8	94
	UMAs	1	5	57
	Sistema de Extracción	3	7	91
	Sistema de Absorción de Gases (Scrubbers)	3	7	91
	Equipos energizados sin uso	8	8	136
	Planificación de carga de baterías	1	8	87

4.3.3 Plan de Verificación de Causas

Se notó que una de las principales causas potenciales podía ser la carencia en la planificación del proceso de carga de baterías. Este proceso se daba de igual forma durante el día como por la noche. Esto se verifica mediante la herramienta analytics, que llevó a la conclusión que existía un rango de horas que no se aprovechaba la tarifa de energía durante el día. En cambio, en el horario en el que la tarifa es mayor por recargo nocturno. Sin embargo, luego de revisar esta causa se concluyó que no era posible crear una planificación del proceso de carga, puesto que este responde al volumen de demanda existente.

La capacidad de los extractores de gases o scrubbers es de 45 litros por minuto, al momento la planta tiene dos equipos scrubber disponibles, lo cual permite que tener una capacidad máxima de 90 litros por minuto. Esto les permite funcionar de manera permanente sin presentar fallas, ya que la capacidad máxima requerida por la fábrica es al menos 72 litros por minuto. Y la capacidad promedio requerida es de 55 litros por minuto. Con esto se notó que no era necesario tener dos scrubbers encendidos de manera simultánea a su máxima capacidad, y que actualmente existe exceso de consumo energético por sobrecapacidad.

En el esquema de verificar causas también se realizó visitas aleatorias a la planta junto con personal de la vicepresidencia del área operativa. En estas visitas se pudo corroborar el 70% de las veces que había máquinas encendidas y funcionando sin necesidad operativa o de producción. Se pudo además verificar que no existía un seguimiento adecuado al personal asignado a la desenergización de equipos en los momentos que no hay producción.

El análisis de eficiencia energética fue fundamental en el desarrollo de verificación de causas, puesto que permitió comprobar que los cargadores tenían índices de eficiencia distintos. En la Figura 9 se aprecia el funcionamiento del medidor de corriente para la comparativa entre la tecnología IGBT de alta frecuencia y la tecnología SCR. Para el cálculo de estos índices de eficiencia se realizaron tres mediciones utilizando un Fluke 1736 para un grupo de baterías 42FES3 de los tres

cargadores, tomando una muestra de 320 baterías para el cargador Sovema, 640 baterías del Firing Circuit y 216 del PowerCraft. Los datos recopilados se pueden observar anotados en la Tabla 12 y fueron usados en el cálculo de la eficiencia.

TABLA XII
Análisis de eficiencia de cargadores

Plan de Verificación de Causas								
Cargador	Duración [horas]	Tipo de Batería	# de Baterías	# de Líneas	Total [kWh]	Total [USD]	Kw/B at	USD/B at
Sovema	24	42FES3	320	16	776	65,81	2,42	0,21
Firing Circuit	24	42FES3	640	40	2068	175,75	3,23	0,27
PowerCraft	24	42FES3	216	12	920	40,48	4,25	0,18

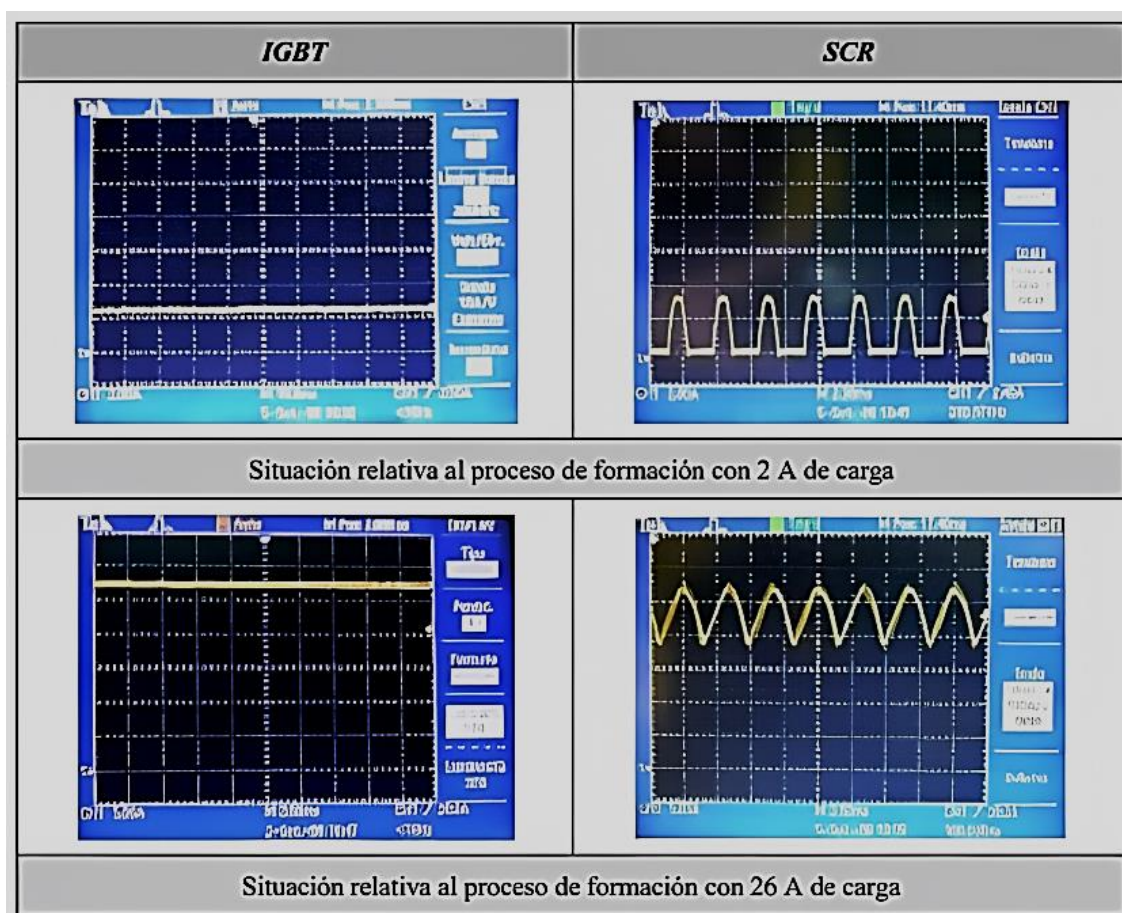


Figura 9: Comparación entre la tecnología IGBT y la tecnología SCR

Para el cálculo de la eficiencia fue necesario conocer cuántas baterías por línea tenía cada cargador, por lo que se realizó la división entre el número total de baterías y el número de líneas. El consumo energético por batería producida se obtuvo dividiendo el consumo total del cargador para el total de baterías cargadas en el

mismo, y el consumo por línea fue el consumo energético total dividido para el número de líneas en cada cargador. Una vez obtenidos los datos necesarios, se procedió a multiplicar la carga en amperio hora, el voltaje, el número de líneas y el número de baterías por línea, para luego dividirlo por el consumo total en cada cargador. Esta cifra multiplicada por 100 da como resultado el índice de eficiencia de cada cargador.

CÁLCULOS

Sovema

$$\frac{320bat}{16\ lineas} = \frac{20\ bat}{1\ linea} \times \frac{776\ kwh}{320\ bat} = \frac{48kwh}{1linea} = \frac{2.42kwh}{1\ bat}$$

$$\% \epsilon_{sovema} = \frac{P_{out}}{P_{int}} = \frac{141 \times 12 \times 16 \times 20}{776kwh} \times 100 = 69.77\%$$

Firing Circuit

$$\frac{640bat}{40\ lineas} = \frac{16\ bat}{1\ linea} \times \frac{2068\ kwh}{640\ bat} = \frac{51.77kwh}{1linea} = \frac{3.23kwh}{1\ bat}$$

$$\% \epsilon_{firing} = \frac{P_{out}}{P_{int}} = \frac{141 \times 12 \times 40 \times 16}{2068kwh} \times 100 = 52.36\%$$

PowerKraft

$$\frac{216bat}{12\ lineas} = \frac{18\ bat}{1\ linea} \times \frac{920\ kwh}{216\ bat} = \frac{76.67kwh}{1linea} = \frac{4.25kwh}{1\ bat}$$

$$\% \epsilon_{Powerkraft} = \frac{P_{out}}{P_{int}} = \frac{141 \times 12 \times 12 \times 18}{920kwh} \times 100 = 39.72\%$$

El de mayor eficiencia era el cargador Sovema, con 65%. Le seguía el cargador Firing Circuits con eficiencia de 50%. Y por último el cargador Hindu Powercraft con un índice del 40% de eficiencia. Mientras la eficiencia es menor, el consumo energético para realizar el mismo trabajo es mayor. Esto llevó a la conclusión que el cargador Sovema es más eficiente con un 17.41% que el cargador Firing Circuits y un 30.5% que el cargador PowerCraft, lo que representa mayor ahorro en tiempo y costo en dólares en el proceso de formación de baterías.

En la Tabla 13 se enumeran las potenciales causas, las teorías que explican su porqué, las herramientas que se utilizaron para obtener esta información y la conclusión a la que se llegó.

TABLA XIII
Plan de verificación de causas

Plan de Verificación de Causas					
Potencial Causes X's		Theory about Impact	How to verify (including data and tools)	Status	Conclusion
C1	No hay un programa de carga que satisfaga el consumo energético, sin incurrir en recargos de consumo	Cargar baterías en horas de la noche a partir de las 7 PM incurrir en recargo nocturno	Usando los datos de la herramienta analytics, se pudo determinar con una prueba de hipótesis que la carga no se realiza a partir de las 4 PM	En revisión Terminado	Se revisó la planificación de la fábrica y no es posible programar con una hora determinada las baterías por la variabilidad de la demanda
C2	Scrubbers funcionando en exceso de capacidad	Tener ambos scrubber funcionando sin el requerimiento completo de estos, genera desperdicio de energía	Revisión de la capacidad de los equipos vs el requerimiento de limpieza de humos	Terminado	Sólo se requiere que uno de ellos esté encendido
C3	Chillers funcionando sin necesidad	Usar los chiller sin necesidad de la producción incurrirá en un desperdicio de energía	Visitas a la planta	Terminado	7 de cada 10 visitas en fin de semana se encontraron equipos encendidos sin necesidad en toda la planta, incluyendo los chiller, una de estas visitas fue con el acompañamiento de vicepresidencia operativa
C4	El sistema actual de desenergización no es eficiente para los equipos de servicio	Actualmente los supervisores envían a una persona a apagar los equipos, sin embargo, no hay un seguimiento constante de aquello.	Visitas a la planta	Terminado	7 de cada 10 visitas en fin de semana se encontraron equipos encendidos sin necesidad en toda la planta, incluyendo los chiller, una de estas visitas fue con el acompañamiento de vicepresidencia operativa
C5	La eficiencia energética de los cargadores varía según el modelo del equipo	Los equipos que tengan eficiencia energética menor van a consumir más energía eléctrica para realizar la carga de las baterías	Análisis de eficiencia energética	Terminado	Las eficiencias de los cargadores, según cada equipo, son: Sovema 65% Firing circuits 50% Hindu Powercraft 40%

4.3.4 Los 5 Por Qué

Una vez determinadas las causas potenciales, se utilizó la técnica de los 5 por qué para llegar a la causa o causas raíz. Este ejercicio permite indagar en una problemática para orientar al investigador hacia la solución de manera práctica y

eficiente. El proceso mediante el cual se aplicó esta herramienta se observa a continuación en las Figuras 10, 11, 12 y 13.

Causa Potencial C2: Scrubber funcionando con exceso de capacidad

Causa Raíz C2: Ambos Scrubber se encuentran funcionando en todo momento



Figura 10: Causa Potencial C2

Causa Potencial C3: Chillers encendidos en toda su capacidad

Están todos los compresores encendidos

Es el sistema de control actual

Porque va a depender del seteo que se ponga al chiller para todos los compresores

Causa Raíz C3:

No se ha realizado una programación de encendido paulatino de cada compresor

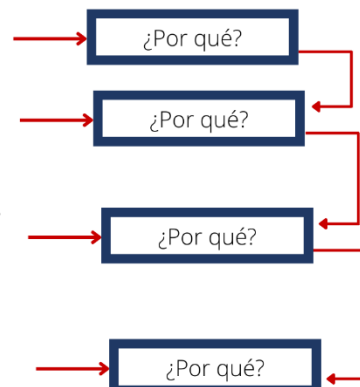


Figura 11: Causa Potencial C3

Causa Potencial C4: Sistema de desenergización de equipos deficiente

Porque es manual

Causa Raíz C4:

No hay sistema automático de desenergización

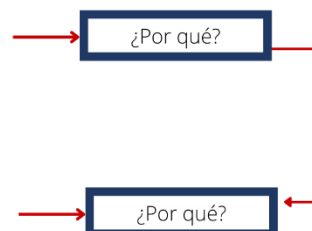


Figura 12: Causa Potencial C4

Causa Potencial C5: Eficiencia energética de los cargadores varía según el modelo

Disponemos de cargadores de bajo desempeño energético

Causa Raíz C5: No tenemos un plan de cambio de cargadores a corto plazo

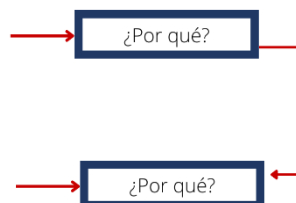


Figura 13: Causa Potencial C5

4.4 Implementar

Para iniciar la implementación del plan de mejoras se reunió al grupo de trabajo DMAIC una vez más, con el fin de conversar de la problemática, plantear las propuestas, asignar personal que iba a estar a cargo de ellas y el presupuesto a invertir si estas eran viables. La herramienta utilizada es comúnmente conocida como 5W2H.

4.4.1 Método 5W2H

Se decidió las mejoras que se implementarían siguiendo el esquema de 5W2H que consiste en, una vez aclaradas las causas potenciales y su respectiva causa raíz, contestar las preguntas: what?, why?, how?, where?, who?, how much? y when?, respectivamente ¿qué?, ¿por qué?, ¿cómo?, ¿dónde?, ¿quién?, ¿cuánto? y ¿cuándo?. Estas se describen a detalle en las Tablas 14, 15, 16 17 y 18.

Respecto a las mejoras implementadas, en agosto de 2021 se instaló un variador en el sistema de extracción de polvo con la finalidad de disminuir los picos de consumo durante los arranques del equipo, y se parametrizó para lograr un apagado automático si es que la planta no estaba en producción. La inversión fue alrededor de \$12000. Se tuvo también la implementación de contactores de fuerza físicos en el tablero de Chillers, Scrubbers y sistema de extracción de polvo, elementos que

ayudan a la correcta desenergización de estos equipos y que frente a temporizadores cuentan con una gran ventaja como es el costo de inversión, el cual no pasó de los \$1500.

TABLA XIV
Plan de Mejoras 5W2H - Causa C2

Plan de Mejoras 5W2H						
Causa Potencial C2		Causa Raíz C2				
Scrubber funcionando en exceso de capacidad		Ambos Scrubber se encuentran encendidos en todo momento.				
¿Qué?	¿Por qué?	¿Cómo?	¿Dónde?	¿Quién?	¿Cuánto?	¿Cuándo?
Mejora M1: Instalar variadores y formar un plan de encendido.	Para realizar un ahorro energético el arranque y durante toda la operación.	Instalación física de los elementos y de un adecuado seteo de parámetros según la aplicación.	En los tableros de control de los Scrubbers.	Daniel Rodríguez	\$5212.26	Sep-2021
					Status:	Realizado

TABLA XV
Plan de Mejoras 5W2H - Causa C4

Plan de Mejoras 5W2H						
Causa Potencial C4		Causa Raíz C4				
Sistema de desenergización de equipos es deficiente		Se realiza de forma manual sin supervisión ni control.				
¿Qué?	¿Por qué?	¿Cómo?	¿Dónde?	¿Quién?	¿Cuánto?	¿Cuándo?
Mejora M2: Instalar sistema automático de desenergización	Para tener totalmente desenergizadas las máquinas y no tener consumos sin utilidad	Instalación física de contactores de fuerza.	En el tablero principal de cada máquina.	Ronald Bravo	\$1500.00	-
					Status:	Stand by
Mejora M3: Realizar un mayor control de la desenergización manual	Para poder verificar que todas las máquinas queden apagadas cuando no tienen programa de producción.	Inspección luego de terminada la producción una vez en cada semana.	En los tableros eléctricos y de control de las máquinas de planta.	Marcos Viteri	Sin monto	Dic-2021
					Status:	Realizado
Mejora M4: Disminuir picos de consumo en arranques de equipo	Para obtener un ahorro energético al arranque y durante toda la operación.	Instalación física del elemento electrónico y de un adecuado seteo de parámetros según la aplicación.	En el tablero principal del sistema de extracción de polvo.	Ronald Bravo	\$11103.22	Ago-2021
					Status:	Realizado

Luego, en septiembre de 2021 se realizó la instalación de variadores para los Scrubbers que contaban con encendido individual, además de una programación que automáticamente enciende ambos cuando la capacidad de producción en la fábrica supere el 50%. La inversión fue de \$5200. En este mismo mes se terminó el cambio progresivo de luminarias de mercurio halogenado por luminarias de tipo LED de bajo consumo, y se consiguió reemplazar el 85% del esquema de iluminación de la planta con una inversión de alrededor de \$10000.

En diciembre de 2021 se optó por la elaboración de un checklist de apagado de máquinas para los cierres de producción, mejora en la que no fue necesaria inversión alguna, a más del compromiso del personal técnico, operativo y de supervisores, de vigilar su correcto cumplimiento. De esta manera se podía comprobar que las demás mejoras funcionen correctamente y de requerir revisión o correctivos actuar prontamente para realizar mantenimiento de los elementos en falla.

TABLA XVI
Plan de Mejoras 5W2H - Causa C3

Plan de Mejoras 5W2H						
Causa Potencial C3		Causa Raíz C2				
Chillers encendidos en toda su capacidad		Todos los compresores se encienden al mismo tiempo.				
¿Qué?	¿Por qué?	¿Cómo?	¿Dónde?	¿Quién?	¿Cuánto?	¿Cuándo?
Realizar una programación de encendido paulatino de cada compresor	Para obtener un ahorro energético durante la operación.	Revisar la programación del chiller.	Tablero de control de chiller.	Daniel Rodríguez	Sin monto	Ago-2021
					Status:	Cancelado

Se planteó en la conversación la programación de los chiller para que estos no se enciendan de manera simultánea, pero no fue posible dado que el modelo de este equipo no permite configurar el encendido de los compresores. Por tanto, esta mejora no fue llevada a cabo por el personal.

TABLA XVII
Plan de Mejoras 5W2H - Causa C5

Plan de Mejoras 5W2H						
Causa Potencial C5		Causa Raíz C5				
Eficiencia Energética de los cargadores varía según el modelo		La eficiencia máxima de carga es del 69%.				
¿Qué?	¿Por qué?	¿Cómo?	¿Dónde?	¿Quién?	¿Cuánto?	¿Cuándo?
Cambio de cargadores en el 2024	Porque las eficiencias de los cargadores actuales son bajas y eso aumenta el consumo.	Cambio de tecnología de rectificación durante el ciclo de carga.	En la electrónica del cargador.	C. Von Campe	\$253K – \$556K	-
					Status:	Stand By

Respecto a la eficiencia de los cargadores en la que la mayor eficiencia posible era del 69%, se planteó la inversión de entre \$253000 y \$556000 para el año 2024, donde se realizaría un cambio a tecnología de rectificación tipo tubo para el ciclo de carga en el proceso de formación. Cargadores nuevos implicaría una eficiencia del 100% durante un período de tiempo extendido, lo que hará que el ahorro durante varios años sea mayor, y hará posible la reinversión en equipos a mediano plazo.

TABLA XVIII
Plan de Mejoras 5W2H - Causa C6

Plan de Mejoras 5W2H						
Causa Potencial C6		Causa Raíz C6				
Eficiencia energética general de luminarias		Las luminarias eran del tipo mercurio halogenado, con un alto consumo energético.				
¿Qué?	¿Por qué?	¿Cómo?	¿Dónde?	¿Quién?	¿Cuánto?	¿Cuándo?
Mejora M5: Cambiar a luminarias de tipo LED de bajo consumo, conservando su equivalencia lumínica	Para tener un mayor ahorro energético y mayor tiempo de vida útil de las luminarias.	Instalación física de los diferentes tipos de luces que existen en la planta.	En las luminarias tipo campana de tipo acrílicas, de tipo cobra y reflectores de toda la planta.	Control View [Contratista]	\$10K	Sep-2021
					Status:	Realizado

4.5 Controlar

Las mejoras fueron implementadas entre agosto y diciembre del 2021, más específicamente; la instalación de reguladores de voltaje en el arranque del sistema de extracción de polvo en agosto, la instalación de variadores de frecuencia en los scrubbers junto al cambio del esquema de luminarias en septiembre, y la mejora exhaustiva en la supervisión del apagado manual de la maquinaria que se implementó en diciembre. Las mejoras pendientes de implementación son el cambio de cargadores, planificada para el año 2024, sin un mes específico todavía, debido a la alta inversión que conlleva.

La etapa Controlar está orientada a las acciones que realizamos para sostener las mejoras realizadas. En lo que respecta a dispositivos electrónicos instalados en tableros de control de maquinarias y equipos, como variadores de frecuencia y contactores de fuerza, fue dejado a cargo del área eléctrica, quienes constan con el conocimiento técnico para realizar las debidas evaluaciones del funcionamiento y durabilidad en el tiempo de dichos componentes. Del mismo modo serían ellos encargados de agregar los mismos al plan de mantenimiento anual de la fábrica, para así asegurar su sostenibilidad dentro de este plan de ahorro energético.

Una herramienta importante para sostener las mejoras fue la creación de un checklist operacional orientado específicamente al apagado de maquinaria.

4.5.1 Checklist Operacional

Entre las mejoras implementadas fue entregado a los operarios una lista de actividades como pasos a seguir para el apagado de máquinas. El personal se comprometió a cumplir y hacer cumplir este checklist para lograr ahorro en el período subsecuente. El documento deberá ser archivado, y en caso de no cumplirse se seguirá el procedimiento normal para llegar a conocer los motivos de que no se haya cumplido.

En la TABLA XIX se observa el formato utilizado para el checklist de apagado de maquinaria. Fue encargado al área de producción proveer las hojas a los operarios para que sean llenadas en cada cambio de turno. Estas deben de igual forma ser debidamente llenadas y entregadas a los supervisores de producción quienes las revisarán y al final de la semana se enviará por correo electrónico. El encendido de equipos al inicio de la siguiente semana será realizado de acuerdo al programa de producción.

TABLA XIX
Checklist de apagado de máquinas

Checklist de apagado de maquinaria					
Fecha:					
Turno:					
Responsable:					
Nº	Listado de equipos	Ubicación		Estado	
		Edificio	Área	En uso	Apagado
1					
2					
3					
4					

5. Resultados y discusión

El plan diseñado para el ahorro energético mediante el uso de la metodología DMAIC resultó altamente satisfactorio, dado que en la etapa de análisis se esclareció las causas raíz y en la etapa de implementación las propuestas para mitigarlas o eliminarlas, lo que facilitó mucho la toma de decisiones. En el plan de mejora se propusieron siete alternativas, para las cuatro causas raíz encontradas en la etapa de análisis, cinco de ellas que representan el 72% fueron implementadas de manera exitosa, de las dos restantes, una se prevé implementar en el plazo de dos años, y únicamente una de las siete no fue posible ejecutar. Adicionalmente en la etapa de control se propuso un checklist de apagado de maquinaria para asegurar el cumplimiento de esta implementación. Esto es observable en la Figura 14 se indica que el análisis efectuado en función de los hallazgos fue bastante preciso.

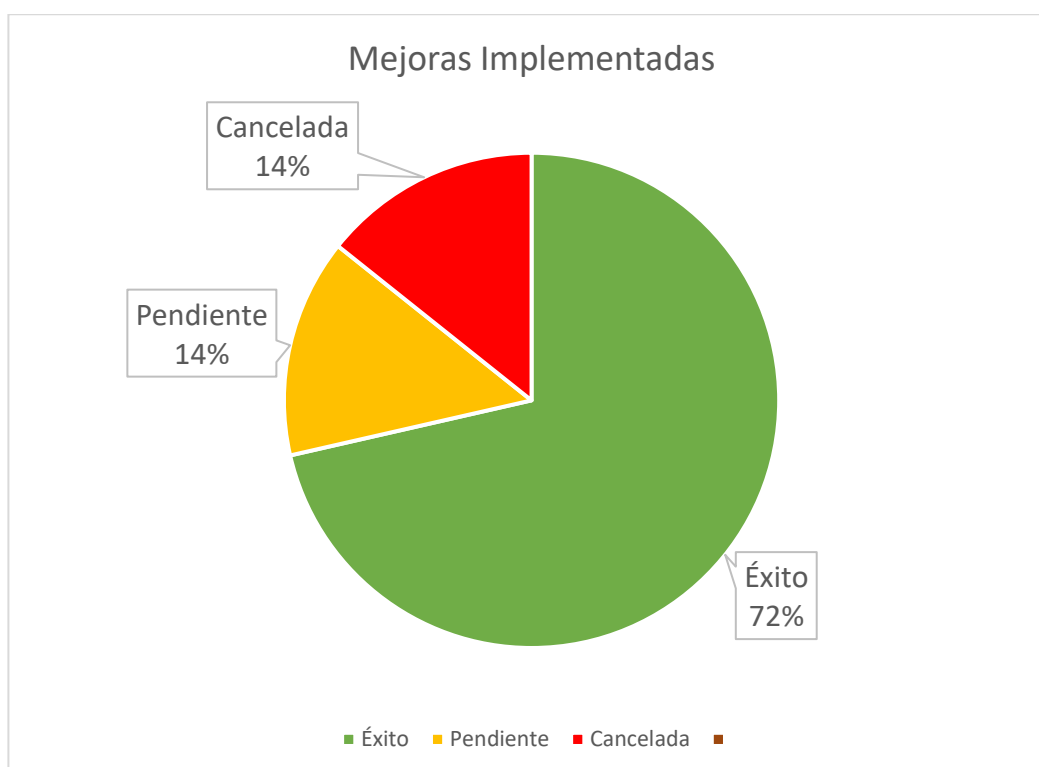


Figura 14: Nivel de éxito en las Mejoras Implementadas

La etapa Definir ayudó a entender la importancia de disminuir el consumo energético, a seleccionar la variable que usaremos como indicador y el impacto que tiene en las distintas áreas de la compañía, así como el grado de afinidad para cada una de éstas. En este sentido se comprendía que el ahorro, tanto energético como monetario, eran objetivo común de toda la organización. Esta meta sería cuantificable en la medida que se consiga que la planta consuma menor cantidad de kilowatts hora en el período establecido de un mes, durante los meses posteriores a la finalización de este trabajo de investigación.

Durante la etapa de definición también se logró declarar de forma concreta qué se espera obtener del proyecto y el establecimiento de la meta a alcanzar. Disminuir el consumo energético en un punto porcentual implicaba un gran esfuerzo por parte del área de ingeniería, proyectos, mantenimiento y toda el área operativa de la planta en general. Y los resultados proyectados eran bastante convenientes para todos. Se conocía además que, en ciertas condiciones de la producción, la planta de baterías sobre la que se realizó este estudio era capaz de alcanzar una eficiencia que mejoraría el índice de consumo energético, lo que daba una mayor esperanza de obtener resultados favorables en las siguientes etapas de la investigación.

La etapa Medir llevó a focalizar qué datos recolectar, el tipo de datos, cuándo recolectar y dónde. Con los datos obtenidos se dio mayor soporte al problema definido y se determinó las áreas de mayor consumo energético, así como el establecimiento de la prioridad de las áreas en la cuales se debía enfocar el plan, pues en la planta donde realizamos la investigación cada área tenía su medidor de energía eléctrica determinado. Entonces, ordenando correctamente los datos se procedió a realizar un diagrama de Pareto y con este identificar qué equipos estaban consumiendo más en una jornada de producción.

Ya en la etapa Análisis debido a que ya se conocía qué equipos son los que estaban consumiendo más energía, ahora se debía identificar cuáles eran las causas potenciales, la teoría de su impacto, así como la forma en la cual se verificarían estas causas potenciales incluyendo los datos a recolectar y las herramientas a usar.

Estas causas potenciales nacieron de una lluvia de ideas que luego usando el diagrama de Ishikawa fueron clasificadas según su afinidad “máquina”, “mano de obra”, “materiales”, “método”, “medio ambiente”, “medición”. El criterio técnico del equipo de trabajo fue lo requerido para clasificar las causas relacionadas en los distintos niveles de afinidad. Cada uno de los niveles de afinidad constituían como tal un área en la que más adelante se implementarían cambios para corregir el problema principal que era el alto consumo energético en la planta de formación de baterías.

Posteriormente se realizó una matriz de causa efecto para determinar la relación entre las variables de salida y las de entrada, esto constituía el impacto que tiene el uso de los equipos en el consumo energético tanto en la planta como en el área de formación de baterías. Estas cifras ayudaron a comprender qué causas potenciales tenían mayor implicación en el alto consumo energético, y información que debía ser verificada, por lo que una vez definidas las causas potenciales y su impacto, se realizó el plan de verificación de causas para descartar o confirmarlas.

El plan de verificación de causas confirmó las causas potenciales como reales, gracias a acciones como la medición del volumen de los scrubbers y comparación entre la capacidad máxima requerida para los procesos llevados a cabo en la jornada normal de producción. Otras causas se verificaron mediante visitas aleatorias a la planta en las que se confirmó que el 70% de las veces se encontraban energizados equipos sin que haya producción en curso. También se realizó medición técnica del flujo de carga utilizado para más de mil baterías de los tres tipos de cargadores existentes en la planta de formación, y mediante un cálculo se obtuvo la eficiencia de cada cargador. En una de las causas potenciales no se pudo avanzar al siguiente paso, por cuanto se trataba del aprovechamiento de las horas en las que el costo kWh es inferior, y la programación se hacía respecto al requerimiento del cliente, la cual no siempre iba a coincidir con dichas horas.

Una vez confirmadas las causas potenciales, se procedió a realizar un análisis de “5 porqués” para determinar la causa raíz para cada una de ellas. Esto sentó las bases para el plan de implementación de mejoras. Cambios como la aplicación de sistemas automáticos de desenergización, la instalación de variadores de frecuencia para el control de motores, o el cambio de esquema de iluminación en toda la planta, planteaban una propuesta de solución a la problemática que significaba un giro de ciento ochenta grados en la forma de producir baterías de la planta donde realizamos este estudio.

La etapa Mejora, consistió en dos instancias, la primera es una reunión en la que se presentó las causas potenciales verificadas y su causa raíz para establecer el plan 5w+2h que plasma todo el trabajo de investigación en una matriz, los problemas, su causa raíz, qué propuestas de mejora se aplicarán, por qué serían la solución, cómo y dónde se realizarán, quién es el responsable de implementarla, cuándo se planifica su realización y su costo. Y la segunda es el seguimiento de la culminación y recolección de evidencias de la implementación del plan levantado.

La matriz creada en primera instancia para el plan de mejoras se desarrolló mediante la herramienta 5W2H, para cuatro causas potenciales fueron desarrolladas siete mejoras a implementar. Conforme pasó el tiempo y las mejoras fueron siendo implementadas, el equipo de trabajo realizó la comprobación y seguimiento para la actualización del plan de mejoras. El siguiente paso en el proyecto era la etapa Controlar.

La etapa Controlar consistió en que los equipos comprados entren al plan de mantenimiento y que se respete la desenergización de equipos mediante el uso del checklist que debía ser enviado semanalmente a los supervisores de producción. Esta etapa planteó el reto de volver perdurable en el tiempo el ahorro energético conseguido con la aplicación del presente plan. Los entregables del plan de control propuestos fueron bien acogidos por los trabajadores de la fábrica, y se prevé que la organización llevada a partir de la aplicación de este plan consiga el ahorro energético establecido en las metas de este estudio.

La inversión en estas mejoras suma la cifra de \$27.815,48 lo cual es bastante representativo frente al valor esperado de ahorro en pago de energía eléctrica, cifra que se proyectó en la cantidad de \$4.362,68. Se espera que las mejoras sean sostenidas a través de la ejecución constante del plan de control, lo cual dejaría un retorno de la inversión en poco más de seis años.

6. Conclusiones

En la etapa Definir se planteó como variables las áreas críticas, el consumo energético, las medidas de eficiencia energética, y los indicadores de gestión energética. Estos fueron útiles para el planteamiento del problema, objetivos y la meta de reducción del consumo.

La investigación en campo mostró que las áreas de mayor consumo eran las orientadas a la formación y carga de baterías. Por lo que se decidió que se dedicaría mayor atención a estas áreas críticas para la recolección de datos de los consumos de esta sección, tanto para la implementación de mejoras en los equipos, como en la aplicación de medidas de eficiencia y control de consumo energético.

Se encontró mediante el análisis de la data recolectada que, las causas raíz del desperdicio energético eran: un sistema de desenergización ineficiente en los extractores de gases o scrubbers dado que se encontraban funcionando en su máxima capacidad siempre, y la eficiencia de los cargadores de baterías era baja por estar cerca de cumplirse su vida útil.

El plan de mejoras fue creado mediante la herramienta 5W2H, que una vez encontradas las causas raíz del problema, se orientó todos los esfuerzos de los integrantes del equipo a saber cómo eliminar el consumo innecesario de energía. Entre las acciones a realizar se pueden mencionar la instalación de elementos de control electrónico en los tableros de los extractores de gases, implementación de contactores de fuerza para la desenergización de equipos que se encontraban encendidos de manera innecesaria, y el cambio del esquema de iluminación de la planta a luminarias LED de bajo consumo energético. Respecto al arranque de los chiller se determinó que no era posible realizar un encendido paulatino, por lo tanto, no se obtendría ahorro energético en estos equipos.

Se constató además el costo y tiempo aproximado de implementación para estas mejoras, lo que ayudó a decidir que el cambio de tecnología en los cargadores de

baterías se realizaría en el 2024, por lo que representaba una inversión de aproximadamente USD\$550.000.

Se debía garantizar que las mejoras implementadas tengan prevalencia a lo largo del tiempo, por lo que se recomendó al área técnica se incluya las mismas en el programa de mantenimiento anual. Respecto a la frecuencia establecida para la revisión de dichas mejoras, se recomendó sea determinada por el departamento eléctrico.

Referencias

- [1] ARCERRNR, «Panorama Eléctrico Mayo 4ta Edición,» (20 de mayo 2021). [En línea]. Available: <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/05/PanoramaElectricoIV-Mayo-Baja-1.pdf>. [Último acceso: 20 mayo 2022].
- [2] B. Minetto, «¿Qué es DMAIC?,» (12 de febrero 2019). [En línea]. Available: <https://blogdelacalidad.com/que-es-dmaic/>. [Último acceso: 20 de mayo 2022].
- [3] M. Buestán, Aplicación de la metodología seis sigma para reducir la pérdida de café al granel en una planta de envasado, Guayaquil: Eleventh LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2013), 11, 2013.
- [4] V. Oña y J. Arcos, Análisis de la metodología DMAIC como un modelo de mejora continua para el sector productivo de las PYMES de alimentos en la provincia de Pichincha entre 2008-2012, Quito: Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2014.
- [5] E. Pérez y M. García, «Implementación de la metodología DMAIC-Seis Sigma en el envasado de licores en Fanal.,» *Tecnológico de Costa Rica, Revista Tecnología en Marcha*, vol. 27, nº 3, pp. 88-106, 2014.
- [6] L. Barragán, Implementación de la metodología DMAIC de Lean Seis Sigma para la reducción de desperdicios en el quirófano de un hospital privado de San Luis Potosí., San Luis Potosí: División de Posgrado - UASLP MX, 2015.
- [7] R. Garza, «Aplicación de la metodología DMAIC de Seis Sigma con simulación discreta y técnicas multicriterio,» *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, vol. 22, nº 66, pp. 19-35, 2016.
- [8] German. et al., «Enfoque seis sigma y proceso analítico jerárquico en empresa del sector lácteo.,» *Revista Venezolana de Gerencia*, vol. 22, nº 80, pp. 609-633, 2017.
- [9] Asamblea Nacional, Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica, Quito: Asamblea Nacional, 2015.
- [10] CENACE, «En el Ecuador la demanda de energía eléctrica de abril se reduce en un 18%,» Gobierno del Ecuador, (11 de noviembre 2020). [En línea]. Available: <http://www.cenace.gob.ec/en-el-ecuador-la-demanda-de-energia-electrica-de-abril-se-reduce-en-un-18/>. [Último acceso: 20 de abril 2022].
- [11] MEERNR, *Anexo B. En Plan Maestro de Electricidad (págs. 318-339)*, Quito: Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2020.
- [12] Global Footprint Network, «Centro de datos. Lista de países con su respectiva huella ecológica y su índice ecológico.,» footprintnetwork.org, (8 de febrero 2017). [En línea]. Available: <https://data.footprintnetwork.org/#/>. [Último acceso: 20 de abril 2022].

- [13] C. Serna, «Gestión energética empresarial una metodología para la reducción de consumo de energía. Producción + Limpia,» *Producción + Limpia*, vol. 5, nº 2, pp. 107-126, 2010.
- [14] Green Climate Fund, «Eficiencia energética para la industria y los aparatos eléctricos,» (10 de febrero 2017). [En línea]. Available: <https://www.greenclimate.fund/sites/default/files/document/directrices-tecnicas-del-sap-eficiencia-energe-tica-para-la-industria-y-los-aparatos-electricos.pdf>. [Último acceso: 20 de abril 2022].
- [15] R. Shankar, *Process Improvement Using Six Sigma A DMAIC Guide*, Milwaukee: ASQ Quality Press, 2009.
- [16] Ben, Anis, *El Método Seis Sigma : Mejore Los Resultados de Su Negocio*, Bruselas: Lemaitre Publishing, 2016.
- [17] R. Hernández Sampieri, *Metodología de la Investigación*, México: Mc Graw Hill, 2014.
- [18] C. Ramos, «Los Alcances de una Investigación.,» *CienciAmérica*, vol. 9, nº 3, pp. 1-5, 2020.
- [19] J. Murillo, *Métodos de investigación de enfoque experimental*, México: Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle, 2018.
- [20] N. Nieto, *Tipos de Investigación*, Lima: Universidad Santo Domingo de Guzmán, 2018.