

**1. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENRGÍA TOTAL**

**Análisis y optimización operacional en la planta de Coca-Cola FEMSA Bucaramanga  
mediante la implementación de la metodología seis sigma.**

**Luis José Carvajal Prada**

**Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Mecánico**

**Director:**

**Yesid Javier Rueda Ordoñez**

**Doctor en Ingeniería Química**

**Universidad Industrial de Santander**

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas**

**Escuela de Ingeniería Mecánica**

**Bucaramanga**

**2022**

## 2. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

### **Dedicatoria**

A Dios, primeramente, por bendecirme todos los días y brindarme todas las herramientas para poder cumplir una meta más en mi vida, por darme una hermosa familia y permitirme abrir camino a una nueva etapa.

Dedico este proyecto a mis madres Lola Lozada y Bárbara Prada, quienes siempre me apoyaron y se sacrificaron para darme una excelente educación, por ser mi motivación cada día para realizarme como persona.

A mi hermano Mario Andrés, quien me apoyó en todo momento de la carrera a pesar de todas las dificultades, por ser mi hombro en los momentos de lucha, un excelente hermano, mi mejor amigo de vida con el que sé que siempre puedo contar, por brindarme mucho cariño y apoyarme en todas mis metas.

A aquellos hombres que considero mi figura paterna, Jose Manuel Vargas, Hugo Prada y Pablo Prada, quienes me han apoyado en todo momento con gran apoyo espiritual, consejos de vida y motivación para poder ser un hombre de bendición para mi familia.

A María F. Holguín, quien me acompañó en mi último tramo de carrera y ser alguien muy especial para mí, por brindarme tanto apoyo, cariño y ser una mujer que me inspira a construir una mejor vida.

A toda mi familia en general por siempre compartir mis triunfos, apoyarme y brindarme todo su amor.

Luis José Carvajal Prada.

### 3. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

#### **Agradecimientos**

Agradezco a la Universidad Industrial de Santander por ser mi segunda casa, por brindarme todas las herramientas para ejercer mi carrera como ingeniero mecánico. A todos los compañeros de trabajo que crucé en el camino especialmente a David Rubio con quien compartí toda la carrera y todos los profesores que con su gran labor compartieron todo su conocimiento.

Agradezco también a la empresa Coca-Cola FEMSA Bucaramanga por permitirme ejercer mis prácticas para culminar mi carrera, especialmente a Angelica Bacca quien estuvo muy pendiente me colaboró con todo lo necesario. También a todos los compañeros que tuve en la planta mientras desarrollé las tareas, al ingeniero Raúl Puentes, Ana Herrera y a todos quienes aportaron su ayuda para recopilar toda la información necesaria para el proyecto.

Agradezco a mi director de proyecto, el ingeniero Yesid Rueda por asesorarme y ayudarme al desarrollo del presente documento. Así mismo, a mis calificadores, los profesores Isnardo Gonzales, y Jorge Meneses por tomarse el tiempo analizar, recibir y evaluar mi proyecto.

## 4. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENRGÍA TOTAL

### Tabla de Contenido

	<b>Pág.</b>
Introducción.....	13
1. Generalidades de la empresa.....	15
1.1. Datos de la empresa .....	15
1.2. Estructura organizacional.....	16
1.3. Declaración de la misión, visión y valores.....	16
1.4. Reseña histórica .....	17
1.5. Descripción del área específica de trabajo .....	19
2. Alcance .....	25
3. Planteamiento del problema .....	26
4. Justificación del proyecto .....	28
5. Objetivos.....	29
5.1. Objetivo general .....	29
5.2. Objetivos específicos .....	29
6. Marco de referencia.....	30
7. Marco teórico .....	32
7.1. Antecedentes del seis sigma.....	32
7.2. Estructura del seis sigma.....	33

5. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENRGÍA TOTAL

- 7.2.1. *Definir*.....36
- 7.2.2. *Medir* .....37
- 7.2.3. *Analizar*.....37
- 7.2.4. *Mejorar* .....37
- 7.2.5. *Controlar* .....38
- 7.3. *Implantación del seis sigma 6σ* .....39
  - 7.3.1. *Etapa 1. Diagnóstico organizacional*.....41
  - 7.3.2. *Etapa 2. Planeación directiva*.....41
  - 7.3.3. *Etapa 3. Talleres de mejora seis sigma*.....41
  - 7.3.4. *Etapa 4. Evaluación y profundización del cambio* .....42
- 7.4. *Herramientas básicas para seis sigma* .....42
  - 7.4.1. *Herramienta de Pareto* .....42
  - 7.4.2. *Estratificación* .....43
  - 7.4.3. *Diagrama Ishikawa (de causa-efecto)*.....44
  - 7.4.4. *Lluvia de ideas* .....45
- 8. *Metodología* .....47
- 9. *Etapa definir*.....50
  - 9.1. *Definición del problema*.....50
  - 9.2. *Objetivos planteados*.....51

## 6. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

9.3. Método 5w+1h.....	52
9.4. Identificación de desperdicios. ....	53
9.5. Críticos de calidad (CTQ'S).....	56
9.6. Sipoc .....	58
9.7. Carta del proyecto (Proyect Charter) .....	59
10. Etapa medir .....	61
11. Analizar .....	65
11.1 Diagrama de Pareto.....	65
11.2 Diagrama Ishikawa (Análisis de causa) .....	67
11.3 Revisión de informes y estándares técnicos. ....	68
11.4 Método de cálculo de ahorro .....	69
12. Implementar .....	71
12.1. Corrección de fugas de aire .....	71
12.2. Reducción de presión .....	73
12.3. Energía reactiva .....	74
12.4. Cultura de ahorro de energía .....	76
12.5. Otras mejoras.....	77
13. Resultados.....	79
13.1. Indicadores de rendimiento .....	79

## 7. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENRGÍA TOTAL

13.2. Resultados del cálculo de ahorro .....	81
14. Controlar .....	83
15. Lecciones aprendidas .....	84
16. Conclusiones .....	85
17. Recomendaciones.....	87
Referencias Bibliográficas.....	88

## 8. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

### Tabla de figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Productos Coca-Cola FEMSA, Planta Bucaramanga .....	15
Figura 2. Estructura Organizacional 2021 .....	16
Figura 3. Diagrama de bloques procesos de embotellado línea 1 .....	21
Figura 4. Diagrama de bloques procesos de embotellado línea 2.....	24
Figura 5. Etapas del Seis Sigma.....	36
Figura 6. Indicadores de rendimientos .....	50
Figura 7. Rendimiento promedio del primer trimestre del año 2020 y 2021 .....	53
Figura 8. Críticos de calidad .....	57
Figura 9. Ecuación de rendimiento total .....	63
Figura 10. Indicadores de KPI'S.....	64
Figura 11. Diagrama de Pareto .....	67
Figura 12. Diagrama causa – efecto.....	68
Figura 13. Registro de verificación.....	72
Figura 14. Registro de verificación.....	73
Figura 15. Tablero compresor de aire .....	74
Figura 16. Balance de energía reactiva abril .....	75
Figura 17. Horómetros de maquinaria .....	77
Figura 18. Indicadores de rendimiento 2021 .....	80

## 9. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

### Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Nivel de variación según el nivel sigma .....	33
Tabla 2. Autores y roles en Seis Sigma.....	35
Tabla 3. Acciones de la fase de control.....	39
Tabla 4. Ocho desperdicios 1/2.....	55
Tabla 5. Ocho desperdicios 2/2.....	56
Tabla 6. SIPOC.....	58
Tabla 7. Proyect Charter.....	60
Tabla 8. Plan de recolección de datos .....	61
Tabla 9. Análisis parcial de mediciones .....	65
Tabla 10. Cálculos de ahorro en energía eléctrica .....	69
Tabla 11. Cálculos de ahorro en energía térmica.....	70
Tabla 12. Cálculos de ahorro de energía eléctrica final .....	81
Tabla 13. Cálculos de ahorro en energía térmica final.....	81

## 10. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

### **Listado de Apéndices**

Nota: Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS

Apéndices A. Proyect Chárter

Apéndices B. Contadores de energía subestación principal

Apéndices C. Contadores servicios auxiliares y horómetros

Apéndices D. Contadores del sector comercial

Apéndices E. Contadores del CEDIS

Apéndices F. Solicitud de auditoria caldera y línea de vapor

Apéndices G. Contadores de la energía reactiva

Apéndices H. Informes de fugas

Apéndices I. Presentación de la inspección de fugas

Apéndices J. Informe de las correcciones de fugas en las líneas de producción

## 11. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

### Resumen

**Título:** Análisis y optimización operacional en la planta de Coca-Cola FEMSA Bucaramanga mediante la implementación de la metodología seis sigma. \*

**Autor:** Luis José Carvajal Prada. \*\*

**Palabras Clave:** Metodología Seis Sigma, Lean Manufacturing, Rendimiento de energía, DMAIC, Productividad.

**Descripción:** El presente proyecto busca aplicar la metodología Seis Sigma denominada DMAIC, con la finalidad de mejorar la productividad energética en el proceso de fabricación de gaseosas en la planta de Coca-Cola FEMSA Bucaramanga; esto mediante el análisis operacional y las estadísticas de los datos de producción, haciendo las respectiva verificación formulada con la metodología DMAIC de Seis Sigma.

La investigación se desarrolla en la embotelladora de Santander en la ciudad de Bucaramanga, y se plantea que se genere una gran influencia de la aplicación de la metodología DMAIC sobre la productividad y el rendimiento energético de la planta.

Para el análisis se estableció como dimensionamiento de la variable productiva la eficiencia energética y sus indicadores de rendimiento, siendo la eficiencia una relación entre los consumos de las energías y la productividad en la fabricación de bebidas. La metodología DMAIC es definida como una metodología para la mejora de los procesos, la cual sigue una serie de cinco fases: Definición, medición, análisis, mejora y control.

El plan de mejora se centró en el análisis y optimización de los procesos para reducir las pérdidas de energía que se hallaron, es decir, perdidas energéticas por parte de equipos eléctricos y de combustión, ubicadas en zonas como máquinas auxiliares como compresores de aire y de refrigeración, caldera, y equipos en las líneas productivas de embotellado.

Se tuvieron en cuenta los datos estadísticos de la planta del año 2020 y 2021 para analizar la situación problemática, luego se ejecutaron los cambios propuestos por le programa de mejora realizados con la metodología DMAIC.

Los resultados obtenidos en el incremento de la eficiencia energética en la planta fueron favorables, por lo tanto, la hipótesis general de este estudio indica que la metodología aplicada incrementa la productividad de los procesos en la planta de Coca-Cola Bucaramanga.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Yesid Javier Rueda Ordoñez. Doctor en Ingeniería Química.

## 12. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

### Abstract

**Title:** Analysis and operational optimization at the Coca-Cola FEMSA Bucaramanga plant through the implementation of the six sigma methodology. \*

**Author:** Luis José Carvajal Prada. \*\*

**Key Words:** Six Sigma Methodology, Lean Manufacturing, Energy Efficiency, DMAIC, Productivity.

**Description:** The present project seeks to apply the Six Sigma methodology called DMAIC, with the purpose of improving the energetic productivity in the manufacturing process of soft drinks in the Coca-Cola FEMSA Bucaramanga plant; this through the operational analysis and the statistics of the production data, making the respective verification formulated with the DMAIC methodology of Six Sigma.

The research is developed in the Santander bottling plant in the city of Bucaramanga, and it is proposed to generate a great influence of the application of the DMAIC methodology on the productivity and the energetic performance of the plant.

For the analysis, the dimensioning of the productive variable was established as energy efficiency and its performance indicators, being efficiency a relationship between energy consumption and productivity in the manufacture of beverages. The DMAIC methodology is defined as a methodology for process improvement, which follows a series of five phases: Definition, measurement, analysis, improvement and control.

The improvement plan focused on the analysis and optimization of the processes to reduce the energy losses that were found, that is, energy losses from electrical and combustion equipment, located in areas such as auxiliary machines like air and refrigeration compressors, boiler, and equipment in the bottling production lines.

The statistical data of the plant for the year 2020 and 2021 were taken into account to analyze the problematic situation, then the changes proposed by the improvement program were implemented using the DMAIC methodology.

The results obtained in the increase of energy efficiency in the plant were favorable, therefore, the general hypothesis of this study indicates that the applied methodology increases the productivity of the processes in the Coca-Cola Bucaramanga plant.

---

\* Degree Work

\*\* School of Physical-Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Director: Yesid Javier Rueda Ordoñez. PhD in Chemical Engineering.

### 13. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

#### **Introducción**

Cada vez las empresas buscan incrementar su desempeño productivo para poder aumentar ingresos y disminuir recursos de manera eficiente, en el caso de las plantas de bebidas de gaseosas es fundamental tener un equilibrio entre producción y consumos para tener una alta eficiencia y así mantenerse en un nivel competitivo respecto a otras empresas. Es por eso, que la planta de Coca-Cola FEMSA de Bucaramanga activó varios programas que se enfocan en la Excelencia Operacional para poder mejorar sus procedimientos laborales, y uno de estos planes tiene como finalidad incrementar la eficiencia en el uso de la energía eléctrica y térmica, para poder disminuir sus respectivos consumos (Arias & Casas, 2016).

La empresa organizó un grupo con diversos perfiles profesionales para desarrollar y ejecutar un plan que permita incrementar el indicador de eficiencia, para este plan se pondrá en práctica la metodología Seis Sigma y su herramienta complementaria DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Implementar, Controlar). Con este método se busca identificar y optimizar los procesos y las áreas donde no se tiene control de los recursos energéticos (Arias & Casas, 2016).

La fábrica cuenta con equipos auxiliares que permiten el óptimo funcionamiento de los equipos secundarios que mantienen activa la planta, los cuales constan principalmente de transformadores que regulan la energía eléctrica, una caldera pirotubular, tres compresores de aire tipo pistón, tres compresores de amoníaco (dos de tipo pistón y uno de tornillo).

La planta trabaja aproximadamente 10 horas día y 300 días al año; según el histórico de la empresa y los informes que se realizan mensualmente se tiene un puntaje de energía total en la planta de 2,75 litros por mega julio [L/MJ], el cual mediante la línea de crecimiento anual se estima incrementarlo a 2,81 litros por mega julio [L/MJ], en lo que resta del año; Información tomada gracias a la plataforma de la empresa (*Energy Management System*, n.d.).

#### 14. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

El tiempo de desarrollo de este proyecto se estima en un lapso de seis meses haciendo una exhaustiva recopilación de los informes energéticos, informes de fugas, históricos de las maquinarias tanto auxiliares como secundarias. Todo esto se desarrolla con el personal de la fábrica, los cuales brindan la información requerida para lograr el fin de la idea.

Este tipo de proyectos es ofrecido por el programa de Excelencia operacional de la empresa a nivel nacional, con el fin de buscar mejoras en los diferentes ámbitos cada planta, mediante la metodología seis sigma.

El enfoque de este proyecto aparece ante la necesidad de incrementar el indicador de rendimiento energético en la planta de Coca-Cola FEMSA Bucaramanga, el cual se vio afectado en los primeros tres meses del año anterior.

## 15. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERÍA TOTAL

### 1. Generalidades de la empresa

#### 1.1. Datos de la empresa

**NOMBRE:** Coca-Cola FEMSA, Planta Bucaramanga

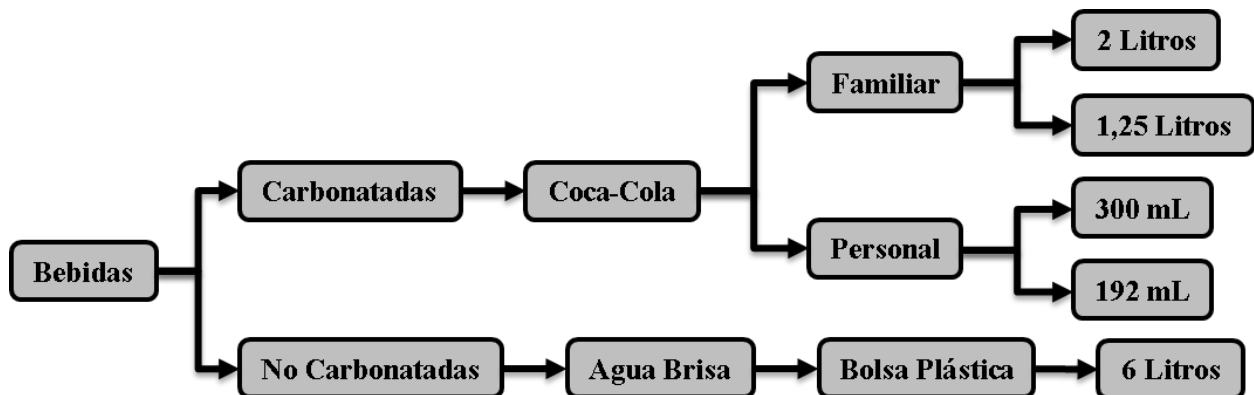
**ACTIVIDAD ECONÓMICA:** Producción y distribución de bebidas gaseosas para la región de Santander.

**SECTOR ECONÓMICO:** Sector secundario, subsector Bebidas y Alimentos.

**PRODUCTOS:** Coca-Cola FEMSA, planta Bucaramanga ofrece bebidas carbonatadas y no carbonatadas en presentación de botella.

#### Figura 1. Productos Coca-Cola FEMSA, Planta Bucaramanga

*Productos Coca-Cola FEMSA, Planta Bucaramanga.*



*Nota: Figura realizada por el autor con la información recolectada de la visita a la empresa.*

**DIRECCIÓN:** KM 2 vía Girón

#### **NOMBRE Y CARGOS DEL SUPERVISOR DE LA EMPRESA:**

- SHAYRA VELEZ – GERENTE PLANTA
- RAÚL PUENTES – JEFE DE MANTENIMIENTO
- ANGELICA BACCA – ESPECIALISTA RH

## 16. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENRGÍA TOTAL

### 1.2. Estructura organizacional

A continuación, se presenta la estructura organizacional de Coca-Cola FEMSA, planta Bucaramanga para el año 2021.

**Figura 2. Estructura Organizacional 2021**

*Estructura Organizacional 2021.*



*Nota: Información de recursos humanos de Coca-Cola FEMSA, planta Bucaramanga.*

### 1.3. Declaración de la misión, visión y valores

**Misión:** Satisfacer con excelencia a los consumidores de bebidas (*Misión, Visión y Valores*, n.d., "Misión" section).

**Visión:** Ser el mejor líder total de bebidas, que genere valor económico, social y ambiental sostenible, gestionando modelos de negocio innovadores y ganadores, con los mejores colaboradores en el mundo (*Misión, Visión y Valores*, n.d., "Visión" section).

## 17. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENRGÍA TOTAL

**Valores:** Los valores aplicados en la empresa como propósito de crecimiento y estrategia de negocio (*Valores de Una Empresa*, n.d., "Ejemplos de valores, Coca-Cola" section).

- Liderazgo: La valentía de moldear un futuro mejor
- Colaboración: El apalancamiento en el genio colectivo
- Responsabilidad: Si ha de ser, depende de mí
- Pasión: Comprometidos en corazón y mente
- Calidad: Lo que hacemos, lo hacemos bien

### 1.4. Reseña histórica

La historia de FEMSA ha estado enmarcada en dos objetivos básicos, la generación de valor económico y social. Desde nuestro origen, en 1890, nos hemos mantenido a la vanguardia de la industria de bebidas, a través de la innovación constante, un eficiente desempeño, un sólido crecimiento; además de ser pioneros en el establecimiento de programas orientados al desarrollo del personal, de las comunidades en donde operamos y de respeto al medio ambiente.

Esta es la forma en la que nuestra empresa ha logrado convertirse en líder de bebidas en México y Latinoamérica, así como trascender ante sus accionistas, colaboradores y la comunidad, esto gracias a la investigación realizada sobre los pilares de la empresa (*Historia Femsa*, n.d.).

En la investigación realizada sobre la historia de Coca-Cola FEMSA (FEMSA, n.d.) se pudo encontrar el recorrido que ha realizado a lo largo de los años:

**1890:** Cinco entusiastas empresarios, don Isaac Garza, don José Calderón Penilla, don José A. Muguerza, don Francisco Sada Gómez y Mr. Joseph M. Schnaider, fundaron la Cervecería

## 18. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

Cuauhtémoc, entonces llamada Fábrica de Hielo y Cerveza Cuauhtémoc, en Monterrey, N.L., México. Comenzamos con 70 obreros, 2 personas de administración y 100 mil pesos de capital.

**1979:** Lanzamos al mercado mexicano la primera cerveza ligera, Brisa, adelantándonos por mucho a la época. Nuestra división Refrescos VISA adquirió la primera franquicia de lo que años después se convertiría en nuestra división Coca-Cola FEMSA.

**1993:** Nos asociamos con The Coca Cola Company para acelerar el crecimiento de nuestra empresa Coca-Cola FEMSA. Primero, The Coca-Cola Company compró el 30% de las acciones de Coca-Cola FEMSA, y después colocamos el 19% del capital en la Bolsa Mexicana de Valores, BMV, y en el New York Stock Exchange, NYSE.

**1994:** Nos asociamos con la cervecera canadiense John Labatt Limited y ellos adquirieron el 30% de las acciones de nuestra cervecera. Comenzamos la internacionalización de Coca Cola FEMSA con la compra del 51% de las acciones de Coca-Cola en Buenos Aires, Argentina.

**2003:** Compramos Panamerican Beverages, Inc., Panamco, el embotellador más grande de América Latina y uno de los tres mayores embotelladores de productos Coca-Cola en el mundo. Así, nos convertimos en la compañía embotelladora líder de productos Coca-Cola en Latinoamérica y en la segunda más grande del sistema Coca-Cola a nivel mundial.

**2005:** Obtuvimos el reconocimiento como Empresa Socialmente Responsable, ESR, para nuestras unidades Coca-Cola FEMSA, FEMSA Comercio y FEMSA Insumos Estratégicos, por parte del Centro Mexicano para la Filantropía, CEMEFI.

**2007:** Adquirimos, junto con The Coca-Cola Company, a Jugos del Valle, consolidando nuestra posición en bebidas no carbonatadas.

## 19. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

**2008:** Instituímos la Fundación FEMSA, un instrumento de inversión social que apoya la educación, la ciencia y la tecnología para la conservación y el uso sustentable del agua y la promoción de la vida saludable en la comunidad.

**2009:** Compramos el negocio de agua embotellada Brisa, incluida la marca y los activos productivos, propiedad de la empresa Bavaria, una subsidiaria de SABMiller.

**2013:** Adquirimos el 100% de Industria Brasileira de Bebidas S.A. (SPAIPA), el segundo embotellador privado más grande de Brasil.

**2016:** Coca-Cola FEMSA fortaleció aún más su presencia en Brasil a través de la adquisición de Vonpar, importante y estratégica franquicia en el sur del país.

**2018:** Coca-Cola FEMSA expandió su presencia en América Latina con las adquisiciones de ABASA, Los Volcanes y MONRESA, franquicias en Guatemala y Uruguay, las cuales le permitieron atender a 14.6 millones de consumidores adicionales.

### 1.5. Descripción del área específica de trabajo

En la planta Coca-Cola FEMSA Bucaramanga se trabaja en dos áreas, las cuales son: administrativa y producción; si bien la zona administrativa desempeñará sus funciones a partir de brindar la información histórica sobre los indicadores de rendimiento y producción de la planta, el enfoque del proyecto será implementado en el área de producción.

El área de producción está sectorizada por zonas, las cuales dependen del tipo de producto que se va a elaborar. Las zonas de producción de bebidas gaseosas se dividen en dos líneas: La línea 1, la cual produce botellas tamaño personal y mini en presentaciones de 300 ml y 192 ml; La línea 2, la cual produce botellas tamaño familiar retornables, en presentaciones de 1,25 L y 2 L.

## 20. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

A continuación, se describen las zonas especializadas que se encuentran en las líneas y sus respectivos procesos de producción:

### **Línea 1:**

*-Proceso de despaletizado:* Proceso en el cual se descargan y separan las estibas de las cajas con las botellas que entran a la línea, dependiendo de la presentación que se vaya a fabricar.

*-Proceso de desempacado:* En este proceso se toman las botellas vacías que llegan del proceso anterior y se envían a la línea.

*-Proceso de limpieza:* En este paso, las botellas pasaran por una máquina que extrae los pitillos y el material solido que se encuentre en el interior de las botellas.

*-Proceso de lavado:* Un operario esta encargado de revisar visualmente de manera rápida las botellas para evidenciar el estado de estas, después se procede a lavar y desinfectar los envases con materiales como soda caustica, vapor sobrecalentado, entre otros aditivos.

*-Proceso de llenado:* En esta etapa del proceso, la maquina llenadora se encarga de llenar las botellas con la cantidad necesaria del producto terminado, incluyendo su proceso de carbonatado.

*-Proceso de capsulado:* Las presentaciones personales de 192 ml y 300 ml pasan por este proceso ya que tienen el mismo tamaño de las tapas, las cuales mediante la capsuladora ajusta a presión las tapas metálicas.

*-Proceso de codificado:* En esta etapa de proceso, las botellas recién fabricadas son marcadas con la fecha y hora de creación, así mismo, con su fecha de vencimiento.

21. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENRGÍA TOTAL

*-Proceso de inspección:* Un trabajador observa las botellas que van saliendo de la línea, realiza una inspección visual rápida de que todas las botellas cumplan con el nivel de llenado y estén bien ajustadas las tapas; las botellas que no cumplan con la calidad requerida son retiradas y se ingresan de nuevo vacías.

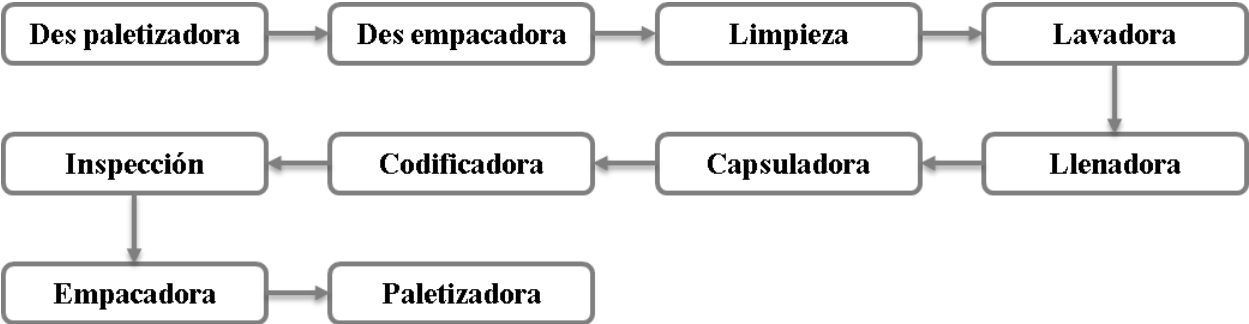
*-Proceso de empackado:* En este proceso, las botellas terminadas son empackadas en las cajas.

*-Proceso de paletizado:* Las cajas con las botellas fabricadas se acomodan estibas para ser llevadas a la bodega para posteriormente ser trasladada a los lugares de distribución.

A continuación, se muestra la relación de las actividades de la línea 1 anteriormente descrita, mediante un diagrama de bloques.

**Figura 3. Diagrama de bloques procesos de embotellado línea 1**

*Diagrama de bloques procesos de embotellado línea 1.*



*Nota:* Proceso de producción en la línea 1 de Coca-Cola FEMSA, planta Bucaramanga.

## 22. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

### **Línea 2:**

*-Proceso de despaletizado:* Proceso en el cual se descargan y separan las estibas de las cajas con las botellas que entran a la línea, dependiendo de la presentación que se vaya a fabricar.

*-Proceso de perfilado:* Las cajas de presentación familiar son diferentes a las de presentación personal, por tal motivo unos pistones con ayuda de sensores acomodan de manera correcta el sentido de las cajas.

*-Proceso de desempacado:* En este proceso se toman las botellas vacías de las cajas que llegan del proceso anterior y se envían a la línea.

*-Proceso descapsulador:* Algunas botellas ingresan aun con sus tapas plásticas, por tal motivo se remueven las tapas y se recolectan para reciclar.

*-Proceso de selección:* Algunas botellas de presentación 2 litros plásticas son usadas comúnmente para llenarlas por otro tipo de líquidos (gasolina, jugos, etc.), por lo cual pasa por un sensor de narices, el cual separa las botellas que detecta con tales sustancias y son llevadas a reciclaje.

*-Proceso de limpieza:* En este paso, las botellas pasarán por una máquina que extrae el material sólido que se encuentre en el interior de las botellas.

*-Proceso de lavado:* Un operario esta encargado de revisar visualmente de manera rápida las botellas para evidenciar el estado de estas, después se procede a lavar y desinfectar los envases con materiales como soda caustica, vapor sobrecalentado, entre otros aditivos.

## 23. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

*-Proceso de llenado:* En esta etapa del proceso, la maquina llenadora se encarga de llenar las botellas con la cantidad necesaria del producto terminado, incluyendo su proceso de carbonatado.

*-Proceso de capsulado:* Las presentaciones personales de 1,25 Litros y 2 Litros pasan por este proceso ya que tienen el mismo tamaño de las tapas, las cuales pasan por este proceso para ser selladas con una tapa plástica roscada.

*-Proceso de codificado:* En esta etapa de proceso, las botellas recién fabricadas son marcadas con la fecha y hora de creación, así mismo, con su fecha de vencimiento.

*-Proceso de inspección:* Un trabajador observa las botellas que van saliendo de la línea, realiza una inspección visual rápida de que todas las botellas cumplan con el nivel de llenado y estén bien ajustadas las tapas; las botellas que no cumplan con la calidad son retiradas y se ingresan de nuevo vacías.

*-Proceso de empacado:* En este proceso, las botellas terminadas son empacadas en las cajas.

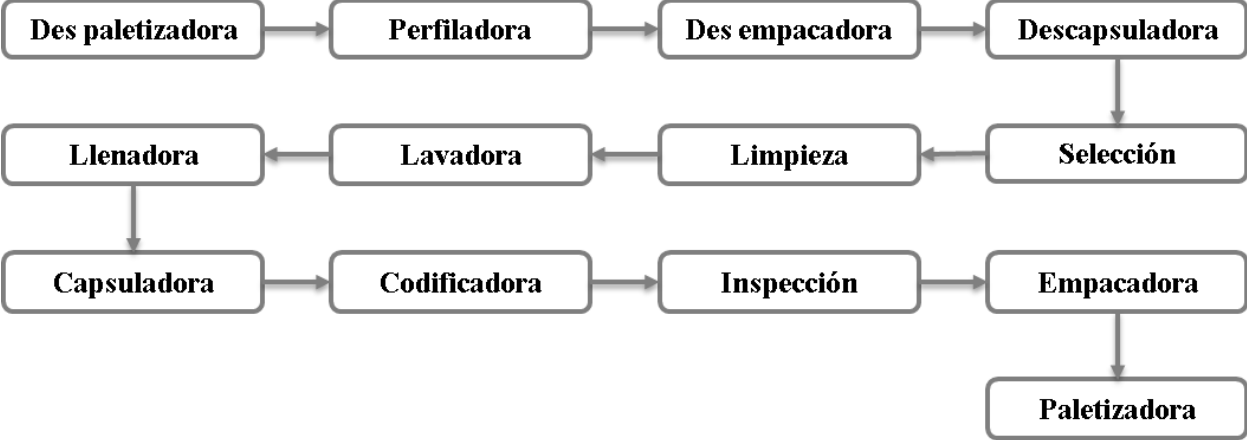
*-Proceso de paletizado:* Las cajas con las botellas fabricadas se acomodan estibas para ser llevadas a la bodega para posteriormente ser trasladada a los lugares de distribución.

A continuación, se muestra la relación de las actividades de la línea 2 anteriormente descrita, mediante un diagrama de bloques.

24. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENRGÍA TOTAL

Figura 4. Diagrama de bloques procesos de embotellado línea 2

Diagrama de bloques procesos de embotellado línea 2.



Nota: Proceso de producción en la línea 2 de Coca-Cola FEMSA, planta Bucaramanga.

De las dos líneas de producción, se recolectan las cajas después del proceso de desempacado para ser llevadas a su respectiva limpieza, también se evidencia el estado de estas y si no cumplen con los parámetros de calidad son retiradas de la línea productiva.

## 25. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

### 2. Alcance

La empresa Coca-Cola FEMSA siempre busca optimizar procesos de manufactura sin dejar de lado la calidad de sus productos; a medida que transcurren los años, el incremento de producción y distribución de la empresa ha aumentado, con lo cual también se ve reflejado en el aumento de los consumos energéticos, lo que se traduce en costos, el esfuerzo de la empresa para ser más eficiente en sus procesos es el objetivo que se plantea para poder ser una empresa líder y competente a nivel global.

Este proyecto, enfocado en la planta de Bucaramanga estará dirigido en la zona de producción, ya que es la zona en la que se genera más consumos, principalmente energía eléctrica, y térmica.

Las zonas de trabajo en este proyecto son principalmente:

***Servicios auxiliares:*** En este sector, están las principales máquinas que alimentan a las líneas de producción, brindando energía térmica mediante vapor sobrecalentado el cual es producido por una caldera, energía neumática mediante compresores de aire, y un sistema de refrigeración para enfriar el producto mediante compresores de amoníaco.

***Líneas de producción 1 y 2:*** En la línea 1 se fabrican las bebidas personales de referencias 192 y 300 ml, y en la línea 2 se producen las botellas familiares de 1.25 y 2 litros. A lo largo de estas dos líneas de producción hay equipos los cuales reciben la energía térmica, neumática y eléctrica de los servicios auxiliares, estos son equipos tales como: motores eléctricos, pistones, lavadoras, transformadores, entre otros.

## 26. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

### 3. Planteamiento del problema

El rendimiento energético de la planta Bucaramanga ha estado disminuyendo de forma variable en los últimos meses, en contraste con las otras plantas que se encuentran en el país. Según los balances hechos a nivel nacional realizados por la organización Coca-Cola FEMSA (*Energy Management System*, n.d.).

La planta actualmente tiene un nivel bajo en rendimiento de energía, por lo cual se están generando sobrecostos en producción e inconvenientes a la hora de fabricar las bebidas en los equipos, generando así tiempos extras de trabajo y consumos innecesarios de las líneas de producción, este nivel se puede evidenciar en la plataforma de la empresa (*Energy Management System*, n.d.).

Es necesario comprender y entender el “por qué” de esta situación; por lo que se han ejecutado a lo largo de los años controles en las diferentes líneas de energía para mantener un historial de los consumos, mantenimientos y cambios de equipos que se han ejecutado, se tienen registros de los contadores y planes de mantenimientos, los cuales permiten tener actualizadas de forma cuantitativa y cualitativa lo que produce y consume la planta.

Se ha evidenciado que un bajo nivel de rendimiento en la planta tiene relaciones negativas económicamente, así mismo impactos en el medio ambiente tras el mal manejo de la energía eléctrica y térmica y esto se está convirtiendo en un área delicada en las normativas de las fábricas de bebidas en Colombia.

El objetivo de esta investigación es identificar las falencias que aún no se han percibido en la planta y proponer estrategias efectivas para incrementar el nivel de rendimiento energético. Se investigarán los factores más significativos en el procedimiento de la fabricación de bebidas mediante la metodología “seis sigma”, el cual se caracteriza por cinco etapas concretas: DMAIC

## 27. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

(Por sus siglas en inglés: Define - Measure - Analyze - Improve - Control) enfocada en la mejora y optimización de procesos existentes.

## 28. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

### 4. Justificación del proyecto

En Colombia poco se ha tratado el tema del uso racional y competente de la energía, por lo que se debe fortalecer la forma la cual se gestiona este recurso abarcando los indicadores particulares y generales de los sistemas de energía, en este caso en la planta de industria nacional de gaseosas S.A. Esto con la finalidad de subir los indicadores del manejo de la energía y generar propuestas de mejora mediante la metodología DMAIC, se buscará representar en beneficios tales como:

- Precisar los niveles del consumo de la energía eléctrica y térmica mediante estudios de la calidad de la energía.
- Reducir las emisiones de contaminantes, con vistas a futuro de conservar la naturaleza y mejorar los niveles de pureza en el medio ambiente en general.
- Reducir los costos de energía de la planta ya que hay muchos componentes con especificaciones los cuales se pueden optimizar (Calderas, líneas de tubería, enfriadores, bombas, etc.). A consecuencia de esto se lograría un mejor control en los gastos redundantes en la empresa.
- Reducciones en los costos de mantenimiento y un aumento en los indicadores de seguridad de los trabajadores.

Con estos beneficios se expone el significado de la realización del proyecto, asumiendo una pertinencia práctica la cual contribuirá a resolver un problema real en una empresa.

## 29. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

### 5. Objetivos

#### 5.1. Objetivo general

Aplicar la metodología seis sigma, con su herramienta DMAIC para mejorar el indicador de rendimiento de energía total de la planta, reduciendo los consumos energéticos y asegurando la calidad del producto.

#### 5.2. Objetivos específicos

- Evaluar el comportamiento del rendimiento energético en la empresa para encontrar las oportunidades de mejora, aplicando los principios de Lean Manufacturing y seis sigma con sus respectivas herramientas.
- Identificar oportunidades de gestión operativa del proceso para dar un plan de trabajo, el cual puedan implementar en la planta mediante el proyecto de mejora energética llamado “Energy Optimization”.
- Caracterizar el estado actual y final de los consumos de energía térmica y eléctrica de la planta, aplicando los parámetros recomendados por la metodología seis sigma, los cuales brindan una estrategia de mejora de procesos.

## 30. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

### 6. Marco de referencia

CARLOS ENRIQUE BERNAL (2019) en su tesis “Metodología DMAIC y la productividad del proceso de distribución de combustibles líquidos en una estación distribuidora peca en el año 2018” (Bernal, 2019). Trabajo para la obtención del grado de máster en ingeniería industrial en la universidad nacional José Faustino Sánchez Carrión en Huacho, Perú. Buscó determinar si la aplicación de la metodología DMAIC incrementaba la productividad del proceso de distribución de combustibles líquidos, con lo cual demostró la hipótesis general de esta metodología, concluyendo la metodología DMAIC aplicada sirvió para aumentar la productividad a través de identificar las causas que generan el desperdicio o pérdidas y realizar acciones preventivas y correctivas sobre ellas.

ALEXANDRA PARDO HERNÁNDEZ (2019) en su tesis “Propuesta de implementación del modelo six sigma para mejorar el proceso de manejo y control de desperdicios de materia prima en la empresa cartones América” (Pardo, 2019). Trabajo para la obtención del grado en ingeniero industrial en la universidad católica de Colombia en Bogotá, Colombia. Realizó una propuesta de implementación del modelo Six sigma para el proceso de manejo y control de los desperdicios de materia prima (papel Kraft) en la fabricación de cajas de cartón corrugado para la empresa Cartones América, con lo cual identificó las principales causas que generan el desperdicio de papel Kraft en las diferentes maquinas impresoras, troqueladoras y en el corrugador.

KATHERINE BERNARDO HERRERA Y JANNIFER PAREDES VILCAMISA (2016) en su tesis “Aplicación de la metodología six sigma para mejorar el proceso de registro de matrícula, en la universidad autónoma del Perú” (Bernardo & Paredes, 2016). Trabajo para la obtención del título de ingeniería de sistemas en la Universidad Autónoma del Perú. Comprobaron

### 31. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENRGÍA TOTAL

que al aplicar el método Six Sigma mediante una simulación predictiva mejoró el proceso de registro de matrícula, así mismo se redujeron las colas de espera en el proceso de registro, también que este método ha permitido realizar reducciones radicales en el tiempo de atención, logrando así una reducción de porcentaje de matrículas vía presencial.

### 7. Marco teórico

#### 7.1. Antecedentes del seis sigma

En el libro de Pulido y Salazar (Pulido & Salazar, 2013, p. 420) indica que la letra sigma ( $\sigma$ ), de origen griego, se emplea para evidenciar la variación estándar poblacional, lo cual nos facilita la forma de cuantificar la desviación que tiene una variable en cierto proceso. El número seis denota el nivel de variación del proceso, el cual indica la manera eficiente del proceso y si cumple o no con las especificaciones o requerimientos del cliente. Se entiende a la metodología seis sigma como una estrategia de mejora continua, la cual se enfoca en aumentar el desempeño de los procesos de una empresa, entidad o institución y mitigar su variación.

La finalidad del seis sigma ( $6\sigma$ ), es poder llevar a cabo procesos con una calidad Seis Sigma, es decir, que en un millón de oportunidades se presenten un máximo de 3.4 defectos.

En el año 1987, se aplicó por primera vez la estrategia Seis sigma en la compañía Motorola por un grupo de ejecutivos, el cual estaba liderado por Bob Galvin, quien era el presidente de la compañía, con la finalidad de disminuir las carencias en la fabricación de los productos electrónicos. A partir de este suceso  $6\sigma$  ha sido aplicada, mejorada, y compartida por varias compañías a nivel global. Asimismo, algunas compañías colaboraron a fortalecer la estrategia Seis sigma, dos de estas son Allied Signal, la cual en 1994 empezó su plan de implementación, y General Electric (GE), que inició un año después en 1995. Un elemento importante del éxito fue que sus presidentes, Jarry Bossidy y Jack Welch, correspondientemente, lideraron de manera incondicional el programa en sus compañías.

### 33. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERÍA TOTAL

- Motorola logró aproximadamente 1 000 millones de dólares en ahorros durante tres años, y el premio a la calidad Malcolm Baldrige en 1988.
  - Allied Signal ahorró más de 2 000 millones de dólares entre 1994 y 1999.
  - GE alcanzó más de 2 570 millones de dólares en ahorros en tres años (1997-1999).

**Tabla 1. Nivel de variación según el nivel sigma**

*Nivel de variación según el nivel sigma.*

Nivel de sigmas	Rendimiento del proceso	PPM	Costos de calidad como % de ventas
1	30.9%	690000	NA
2	69.2%	308000	NA
3	93.3%	66800	25-40 %
4	99.4%	6210	15-25 %
5	99.98%	320	5-15 %
6	99.9997%	3.4	<5 %

*Nota:* Información tomada de la investigación de Pulido y Salazar (2013, p. 426).

#### 7.2. Estructura del seis sigma

La herramienta seis sigma tiene características particulares que explican y detallan su estructura (Pulido & Salazar, 2013, pp. 420–422), estas son:

1. *Liderazgo comprometido de arriba hacia abajo:* La herramienta Seis sigma es en general un plan de gerencia que acarrea una manera diferente de operar y elegir la mejor configuración de trabajo. Es por eso, que esta metodología debe ser entendida y respaldada por los líderes de cada organización, siendo dirigido por el principal líder.
2. *Seis Sigma se apoya en una estructura directiva que incluye gente de tiempo completo:* La manera de comunicar la responsabilidad por Seis Sigma es creando una

### 34. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

composición directiva que incluya líderes de la profesión, gestores de proyectos, expertos y facilitadores. Donde cada líder tenga unas responsabilidades determinadas para poder alcanzar las ideas de mejoras de manera exitosa. Cada papel de estos líderes, tomando como referencia de las artes marciales, los cuales se reconocen dentro del programa  $6\sigma$  son: Líder ejecutivo, *champions* (campeones o patrocinadores), *máster black belt* (maestros cinta negra o asesores senior), *black belt* (cinta negra), *green belt* (cinta verde), *yellow belt* (cinta amarilla).

En la dirección, igualmente el comité que lidera la iniciativa  $6\sigma$ , los *champions* tienen un lugar importante, ya que no solo están encargados de seleccionar los proyectos que se deben realizar, son también los encargados de impulsar y revisar estos mismos. Ciertamente, este fue una importante contribución de  $6\sigma$ , ya que, por la celeridad de la calidad, y generalmente en los organismos, muchos de los proyectos no se finalizan debido a la falta de soporte y seguimiento. Por otra parte, los *black belt* y sus maestros los MMB en grandes compañías, normalmente se ocupan por completo al  $6\sigma$ , de modo que ellos componen el núcleo técnico de la iniciativa  $6\sigma$ , de igual modo son mediadores de cambio, y ayudan a impulsar el uso de los planes y soluciones Seis Sigma. Regularmente los pretendientes a BB se eligen entre personas jóvenes, que ya cuentan con experiencia en la empresa, y que visualiza un crecimiento futuro a la organización. De manera que, las funciones del personal BB no se debe otorgar de manera inconsciente a los típicos ingenieros de calidad de los departamentos de calidad.

En la siguiente tabla, se especifican cada rol y sus respectivas características de los líderes de proyectos  $6\sigma$ :

### 35. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERÍA TOTAL

**Tabla 2. Autores y roles en Seis Sigma**

*Autores y roles en Seis Sigma.*

<b>NOMBRE</b>	<b>ROL</b>	<b>CARACTERISTICA</b>
Líder de implementación	Dirección del comité directivo para $6\sigma$ .	Profesional con experiencia en la mejora empresarial en calidad, es muy respetado en la estructura directiva.
Champions y/o patrocinadores	Establecen problemas y prioridades. Responsables de garantizar el éxito de la implementación de $6\sigma$ en sus áreas.	Dedicación, entusiasmo, fe en sus proyectos, capacidad para administrar.
Master black belt (MBB)	Dedicados 100% a $6\sigma$ , brindan asesoría. Dirigen o asesoran proyectos claves. Mentores de los BB.	Habilidades y conocimientos técnicos, estadísticos y en liderazgo de proyectos.
Black belt (BB)	Gente dedicada de tiempo completo a Seis Sigma, realizan y asesoran proyectos.	Capacidad de comunicación. Reconocido por el personal por su experiencia y conocimientos. Gente con futuro en la empresa.
Green belt	Ingenieros, analistas financieros, expertos técnicos en el negocio; Dedicados de tiempo parcial a $6\sigma$ . Participan y lideran equipos Seis Sigma.	Trabajo en equipo, motivación, aplicación de métodos (DMAMC), capacidad para dar seguimiento.
Yellow belt	Personal de piso que tiene problemas en su área.	Conocimiento de los problemas, motivación y voluntad de cambio.

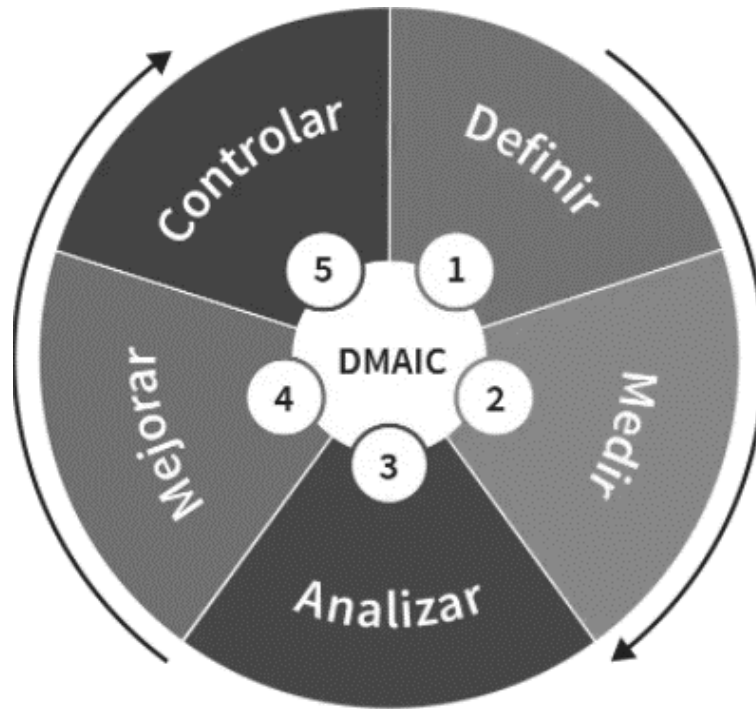
*Nota:* Información tomada de la investigación de Pulido y Salazar (2013, p. 423).

La metodología Seis Sigma DMAIC se desarrolla siguiendo unas etapas, las cuales permiten seguir una estructura viable para el éxito del proyecto, estas etapas son: Definir, Medir, Analizar, Implementar y controlar.

Seguidamente se especificarán cada una de estas etapas:

**Figura 5. Etapas del Seis Sigma**

*Etapas del Seis Sigma.*



Nota: Imagen tomada de la página Web Traccsolution (van der Lingen, 2021)

### ***7.2.1. Definir***

En esta primera parte, el proyecto se define y se aclaran los pilares para poder lograrlo. Por lo tanto, al terminar esta etapa debe estar aclarado cual es el objetivo principal del proyecto, cuáles son las maneras de medición para su logro, qué tan amplio será el alcance, los beneficios que se esperan y el personal o grupo que estará enfocado en intervenir en el transcurso del desarrollo. Toda esta información se verá resumida y organizada en el marco del proyecto, también llamado *Project charter* (Pulido & Salazar, 2013, p. 426).

## 37. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

### **7.2.2. Medir**

El principal interés de esta fase es poder dimensionar y comprender que tan grande es el problema para abordar en el plan de desarrollo. De modo que, se aclara en un nivel más específico para poder comprender la línea de trabajo, las tomas de decisión y las principales características de su funcionamiento; así también, se plantea con detalle las métricas con las que se valorarán los indicadores del éxito de proyecto, de igual manera se examina y valida el método de medición (Pulido & Salazar, 2013, p. 428).

### **7.2.3. Analizar**

La principal finalidad de esta fase es poder reconocer la(s) causa(s) raíz del problema (identificar las variables X vitales), poder comprender cómo es que se ocasiona el problema y poder validar las causas con los datos. Por lo tanto, se busca entender cómo y por qué se genera dicho problema, tratando de mediar los detalles mínimos de los factores y constatarlos con datos (Pulido & Salazar, 2013, p. 428).

### **7.2.4. Mejorar**

La idea de esta fase es sugerir e implementar soluciones que enmienden las causas raíz, dicho de otra manera, garantizar que se corrijan o se minimice el problema. Es recomendable brindar diferentes alternativas para dar respuesta a los distintos tipos de causas. En el momento que se generen las distintas posibilidades de mejora, es de vital importancia analizarlas mediante una matriz que exponga los distintos criterios y prioridades a cuatro soluciones (Pulido & Salazar, 2013, p. 429).

## 38. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

### *7.2.5. Controlar*

Al momento que se hayan logrado alcanzar las mejoras planteadas, en esta fase se traza un plan para mantener las mejoras implementadas y se da por finalizado el proyecto. Se busca que los cambios que se hayan hecho para poder examinar las acciones de mejora perduren a lo largo del tiempo, se formalicen y apliquen de manera general. Esto compromete la participación y el ajuste a los cambios del personal involucrado en el transcurso (Pulido & Salazar, 2013, p. 430). Es por eso tener un control para:

- Prevenir que los problemas que tenía el proceso no se repitan
- Impedir que las mejoras y conocimiento obtenido se olviden.
- Mantener el desempeño del proceso
- Alentar la mejora continua.

De acuerdo con lo antes mencionado se deben acordar acciones de control, estas acciones se describen en la siguiente tabla:

### 39. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENRGÍA TOTAL

**Tabla 3. Acciones de la fase de control**

*Acciones de la fase de control.*

ACCIÓN	DESCRIPCIÓN
Estandarizar el proceso	Se deben buscar cambios permanentes en los procesos y en sus métodos de operación.
Documentar el plan de control	Se busca trabajar para mejorar o desarrollar nuevos documentos que faciliten el apego a los procedimientos estándar de operación del proceso.
Monitorear el proceso.	Se deciden las mejoras al monitoreo del proceso para que mediante éste se tenga evidencia de que el nivel de mejoras logrado se siga manteniendo.
Cerrar y difundir el proyecto	El objetivo de esta última actividad es asegurarse de que el proyecto 6σ sea fuente de evidencia de logros, de aprendizaje y que sirva como herramienta de difusión para fortalecer la estrategia 6σ.

*Nota:* Información tomada de la investigación de Pulido y Salazar (2013, p. 430).

#### **7.3. Implantación del seis sigma 6σ**

Para llevar a cabo la metodología 6σ generalmente incide en un comité que lo direcciona, que opera la estrategia a implementar, instauro el programa de entrenamiento e incita el seis sigma en todo el ámbito organizacional.

La aplicación de esta herramienta desde sus inicio se basa en tres niveles amplios, los cuales se expondrán a continuación (Pulido & Salazar, 2013, p. 444,445):

*1. Transformación del negocio (nivel A):* En este nivel la gestión directiva traza un nuevo ritmo en la organización. La fluencia de información será amplia y enérgica a favor de la iniciativa. Se debe aclarar que 6σ no es una estrategia solo para ingenieros, sino que es

#### 40. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

una herramienta que va dirigida a mejorar las empresas y su competitividad en los mercados, dándole un enfoque a los clientes y para los clientes. También se disminuyen los defectos, tiempos de ciclos, tiempos muertos y se aumenta la confianza del cliente.

En este primer nivel se puede visualizar la empresa en el momento que se está estancando a comparación del mercado, cuando se presenta en una condición vulnerable, ha tenido falencias en las novedades de nuevos productos, o se quedaron en una zona cómoda y de monotonía donde la inactividad predomina en la empresa.

*2. Mejora estratégica (Nivel B):* Este nivel se direcciona contemplar algunas unidades del negocio, zonas funcionales o exigencias críticas y estratégicas que se han percibido en la empresa.

La mejora estratégica facilita a la empresa un enfoque ante las oportunidades que tienen mayor impacto y acotar el desafío de dirigir y extender el cambio a toda la organización. En este nivel por lo general se genera frustración en el personal de trabajo, dado que se pueden notar excluidas en este proceso de mejora.

*3. Solución de problema (Nivel C):* En este nivel la iniciativa se encamina a ciertos problemas que permanecen, y por lo general estos son de antiguos programas de mejora que perdieron el rumbo de mejora en la organización y que no dieron resultados notables. Este grado es ideal para las empresas que no quieren hacer muchas olas.

Una vez que se reconozca el nivel de iniciativa de la organización se procede a aplicar la estrategia cumpliendo con las siguientes etapas (Pulido & Salazar, 2013, pp. 445–447):

## 41. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

### ***7.3.1. Etapa 1. Diagnóstico organizacional***

Quienes tengan la iniciativa en la organización de incentivar la herramienta Seis Sigma, se elige un equipo para consolidar la cabeza principal de esta propuesta. Entre los miembros del equipo se debe identificar las prácticas y conocimientos vigentes en la organización que estén más distantes de los principios Seis Sigma. Esto se puede establecer en una reunión entre empleados y líderes de la empresa. El plan de esto es investigar si hay perfiles de líderes que se puedan comprometer con las mejoras en los procesos, las variables de medición que se manejan actualmente y si esas medidas se convierten en aprendizaje e influencia.

### ***7.3.2. Etapa 2. Planeación directiva***

Lo que acontece en esta etapa es un seminario de preparación con una proyección estructurada, donde el equipo más alto de dirección en la empresa genera una visión de como el 6 $\sigma$  puede contribuir a la entidad a alcanzar los objetivos claves en el negocio. En estos talleres se debe acostumbrar a todos los miembros del equipo directivo a los pilares fundamentales del Seis Sigma, seguido a esto la retroalimentación del diagnóstico inicial, y después generar en ellos una visión de dónde se quiere apuntar con este proyecto, y finalmente se llega al acuerdo sobre los métodos de elección de cada líder de grupo.

### ***7.3.3. Etapa 3. Talleres de mejora seis sigma***

Con el respaldo del líder ejecutivo se citan a los líderes que se eligieron en la segunda etapa a varias sesiones de trabajo de dirección para iniciar con el paso de la aplicación. Estos talleres acercan a las personas con los métodos y estrategias usados en Seis Sigma, y también se plantean como serán incorporados con los planes existentes del negocio. Es de vital

## 42. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

importancia que el entrenamiento sea organizado y desarrollado con la supervisión del líder ejecutivo general de la iniciativa, quien tendrá la labor de establecer y precisar los criterios con el cual los líderes lograrán su designación como campeones, MBBS, BBS, GBS, YBS.

### ***7.3.4. Etapa 4. Evaluación y profundización del cambio***

Luego que se acaba la primera generación de proyectos es de vital importancia realizar una valoración de los resultados, impedimentos y situaciones relevantes que permitan intensificar la estrategia. Esta etapa es relevante ya que los *champions* deben tener mucho compromiso en la labor y en el desempeño que tienen. Seguido a esto se procede a una segunda generación de proyectos.

## **7.4. Herramientas básicas para seis sigma**

Del libro de Pulido y Salazar (2013, Chapter 6) se tomaron las ideas para implementar las herramientas básicas de proyecto, definiendo cada herramienta y los pasos a seguir para cada una de estas, con la finalidad de realizar de la mejor manera cada técnica.

### ***7.4.1. Herramienta de Pareto***

Es un gráfico de barras que se emplea para distinguir los principales problemas y su origen. Hace alusión a que el 20% de los elementos generan el 80% de los inconvenientes, y los elementos restantes no producen un efecto mayor.

### **Pasos para construir un diagrama de Pareto**

A. Es importante elegir y acotar el problema o la zona de mejora que se va a trabajar, así como aclarar la meta u objetivo que se quiere alcanzar. Después de esto, se

#### 43. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

visualiza el perfil del diagrama de Pareto que permita localizar las principales ideas y entender mejor el problema.

B. Se conversa y se elige el tipo de información que se va a emplear, así mismo los factores importantes para estratificar.

C. Se debe precisar y definir el tiempo en que la información que se va a recolectar, si serán de reportes anteriores hay que especificar el periodo de tiempo del cual que se tomarán y asignar un responsable para esta tarea.

D. Al terminar la recolección de datos, se realiza una tabla en la cual se cuantifiquen la frecuencia o el impacto de cada defecto, su nivel de incidencia o porcentaje.

E. Se determina si estos defectos serán evaluados directamente por su frecuencia de incidencia o se tendrá en cuenta su costo u otro factor. Seguido a esto se procede a hacer la gráfica.

F. Documentar las referencias del diagrama: títulos, periodo, área de trabajo, etc.

G. Se analiza el diagrama de Pareto, y si hay una categoría amplia que se destaque, se decide realizar un análisis de Pareto de segundo nivel enfocado en esta para localizar los principales causantes de este.

##### ***7.4.2. Estratificación***

La estratificación es un importante plan de búsqueda que ayuda a entender cómo afectan los diversos factores, problemas o fallas que afectan una situación negativa, de manera que sea más visible las zonas, las prioridades de estas y los detalles que permitan ahondar las causas reales del problema.

#### 44. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

##### **Sugerencias para estratificar:**

- A. Seguido de fijar un objetivo importante, se determina las características o factores a estratificar.
- B. Se evalúa las características que se eligieron de la situación tomada, y se reflejan de manera visual mediante graficas la evaluación de estas características (diagrama de Pareto, histogramas, entre otros).
- C. Establecer las causas que podrían generar variaciones en los datos recolectados con la estratificación. Esto conlleva una estratificación característica más detallada.
- D. Tomar alguna de esas características y estratificarla más a fondo.
- E. Estratificar hasta donde se pueda y obtener conclusiones de todo este análisis.

##### ***7.4.3. Diagrama Ishikawa (de causa-efecto)***

Es un método grafico que vincula un problema con factores que posiblemente lo generan, se realiza con un gráfico en forma de espina de pescado. Este diagrama permite una valoración más amplia del problema, ya que se realiza según el aporte de diferentes personas que visualizan de manera más amplia el problema.

Para organizar el diagrama se agrupan los aspectos de las causas potenciales usando como referencia el método de las 6 M, el cual se busca diferenciar estos factores en seis ramas principales: Métodos de trabajo, mano o mente de obra, materiales, maquinaria, medición y medio ambiente.

## 45. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

### *7.4.4. Lluvia de ideas*

Estas sesiones contribuyen al pensamiento creativo que direcciona a todos los miembros de un grupo que participen libremente y generen ideas sobre algún tema o problema en específico. Este procedimiento ayuda en gran medida al trabajo en equipo, dado que favorece la reflexión y la comunicación con respecto a un problema y se permite hacer en términos de igualdad. Es recomendable que estas tormenta de ideas, como también se suelen llamar, sea un proceso de enseñanza mediante los siguientes pasos:

- A. Aclarar y precisar el tema sobre el cual se aportarán las ideas. Lo que permite que toda la reunión se enfoque a este problema y no se disperse la comunicación hacia otros temas.
- B. Se elige un líder para la sesión, el cual va a coordinar la participación de todos los integrantes.
- C. Todos los participantes deben listar en un papel ideas para el problema. La importancia de esta lista es que incluye la participación de todos los miembros, ya que, al ser de manera escrita y no oral, todos puedan centrar su atención al objetivo principal.
- D. Los participantes se turnan para exponer su lista de ideas, éstas se exponen de manera visual. Luego de que todos hayan presentado la sesión continua. Ninguna idea se puede tomar como imposible o irracional, con el fin de no limitar la creatividad del grupo. En esta etapa, el moderador distingue las ideas que tienen mayor valor.
- E. El moderador pregunta a cada persona si tiene comentarios para añadir, esto se hace hasta que se agoten las ideas en el grupo.

## 46. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

F. Se agrupan las ideas según su causa y su similitud, y se representan en un diagrama Ishikawa teniendo en cuenta que para cada grupo corresponde una rama en el diagrama. Este proceso permite aclarar y escalonar las ideas según su importancia.

G. Se analiza entre el equipo si se ha dejado de lado alguna idea o causa relevante.

H. Se abre una charla entre el grupo con el fin de centrar la atención en las principales causas. Se debe argumentar por qué se descartarían o se favorecerían las opciones.

I. Se eligen las ideas más importantes que el grupo destacó del punto anterior, se puede hacer mediante: los datos, un consenso o por votación.

J. Se organiza una futura reunión donde se buscarán acciones concretas sobre lo que es necesario realizar en el problema identificado. Es importante recalcar el desarrollo de estas acciones para no caer en el error de ignorarlas.

### 8. Metodología

Esta metodología de Excelencia Operacional (OE) aplicada en Coca-Cola FEMSA a proyectos de mejora, sugiere una línea de trabajo ordenada a partir de la implementación de la técnica Seis Sigma, usando específicamente la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), la cual define las cinco partes que la conforman en etapas secuencialmente unidas de la siguiente manera:

**1. Definir:** En esta etapa se describe la situación problema y la idea de proyecto que se desea analizar y ejecutar, así mismo establecer el alcance del proyecto y conocer el uso de las herramientas a implementar, esto con la principal idea de comprender la situación actual, identificar las áreas comprometidas y poder plantear los objetivos y metas los cuales deberán ser expuestos de manera concisa y clara.

La información de esta etapa se presenta con documentos como: la carta de proyecto (Project Chárter), la técnica de 5W+1H (What: Qué, Who: Quién, When: Cuándo, Where: Dónde, Why: Por qué, How: Cómo), el diagrama SIPOC (En español: Proveedores, Entradas, Procesos, Salidas y Clientes), la herramienta de 8 desperdicios del Lean Manufacturing, la evaluación de desempeño y los críticos de calidad (CTQ'S).

**2. Medir:** Se busca conocer los factores principales que validen la información de la problemática, como lo son la capacidad de los procesos, los indicadores de rendimiento y gestión, y las mediciones correspondientes a cada proceso. La obtención de esta información se da en las áreas de entrada, actividades y salidas, ya que estas son las principales áreas donde se pueden encontrar las variables críticas del proceso. La recolección de estos datos se realiza con el fin de

## 48. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

analizar el indicador inicial del problema. Estas mediciones deben hacerse bajo un programa de actividades.

**3. Analizar:** Para esta sección se busca convertir la información tomada en la medición y poder identificar las variables claves de los problemas. Se debe seleccionar varios métodos que permitan realizar un plan de mejora adecuado para así obtener los mejores resultados, algunos de estos métodos son: Histogramas, Diagramas de Pareto, Diagrama de causa o efecto (Ishikawa), Árbol de análisis, Análisis de auditorías, la metodología para el cálculo del ahorro, entre otros. La aplicación de estos métodos depende que tan ajustada pueda estar la información tomada del procedimiento.

**4. Mejorar:** En este paso la compañía buscará implementar las técnicas de mejoramiento, con el fin de optimizar la eficiencia de sus procesos y poder llegar a la meta de indicadores planteados tanto en la parte de calidad y producción. En esta etapa de mejora es de vital importancia la herramienta lluvia de ideas, en la cual, las ideas que aporte el grupo se puedan definir ante las diferentes soluciones de cada causa, y donde se puedan corregir e implementar las posibles soluciones.

Para lograr una mejora notable se busca identificar los pasos necesarios para mejorar los procesos, y reducir las fuentes de mayor impacto que influye negativamente en los procesos. Se buscará identificar específicamente cómo los procesos deben ser mejorados y obtener las mejoras del proceso en el proyecto.

**5. Controlar:** Se debe verificar los resultados obtenidos mediante la adaptación de la mejoras aplicadas las cuales se deben mantener a lo largo del tiempo y hacerles seguimiento, la

#### 49. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

organización tendrá que definir el indicador que le permita observar el estado de sus procesos, evaluando tanto las variables cuantitativas como las cualitativas.

Las mejoras realizadas serán implementadas consistentemente para poder tener un control adecuado en las mejoras, así como mantenerlas mediante el control estadístico que se registra en la base de datos de la empresa y su respectiva documentación. Esto con la finalidad de crear un plan de control y anticipar mejoras futuras y preservar las lecciones aprendidas obtenidas del plan, después de esto se le da cierre al proyecto.

**9. Etapa definir**

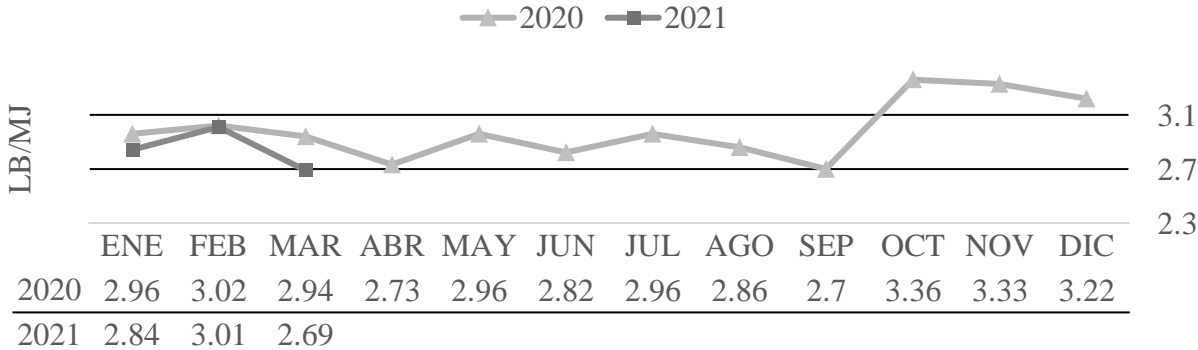
Para la etapa de definición, se identificó el problema principal que se pretendía mejorar en la planta, partiendo de las consideraciones hechas de manera grupal y en el enfoque que se tendría a cabo para el proyecto. También el tiempo de desarrollo, las zonas de trabajo, la misión, los objetivos, el Proyect Chárter, el diagrama SIPOC, los ocho desperdicios y el cronograma de actividades y fechas.

**9.1. Definición del problema**

En los primeros meses del año 2021 se pudo observar una disminución en el rendimiento de energía total de la planta, reflejándose en desperdicios energéticos y alzas en los costos de energía. Esto en comparación a los últimos meses del año 2020 en el cual se mantenían buenos indicadores de producción mostrando así un buen aprovechamiento de la energía. Es por esta razón que el problema definido es el bajo nivel del indicador del rendimiento de energía total en Coca-Cola FEMSA Planta Bucaramanga.

**Figura 6. Indicadores de rendimientos**

*Indicadores de rendimientos.*



*Nota:* Tomado de la información de la plataforma (Energy Management System, n.d.).

## 51. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

Con el fin de formalizar las condiciones de trabajo y las decisiones que se tomarían para disminuir el desperdicio de energía, e incrementar el indicador de rendimiento de energía total en la planta, se configuró un equipo trabajo integrado por dos analistas, una especialista en recursos humanos, un operario, un ingeniero practicante, y el jefe de mantenimiento de la empresa quien a su vez era el líder del proyecto, este equipo asignó al proyecto el nombre de “Energy Optimization”. Así mismo, el grupo sería respaldado con el apoyo del personal de todas las áreas de producción de la planta, como técnicos y operarios de las líneas de envasado, también trabajadores administrativos los cuales tendrían información de los históricos de la planta de los consumos energéticos, y la información general sobre los indicadores de rendimiento.

La empresa cuenta con equipos auxiliares que alimentan de vapor sobrecalentado, aire comprimido, y refrigeración a diferentes componentes utilizados en las líneas de producción. Estos equipos y los que componen las líneas productivas serán las zonas que estarán dentro del alcance del proyecto. Las demás zonas como las administrativas, la línea de agua brisa, las plantas de saneamiento y tratamiento de agua (PTAP, PTAR) no se tendrán en cuenta ya que estas no interfieren en el indicador de energía para la parte productiva.

### **9.2. Objetivos planteados**

El propósito del proyecto es aplicar la metodología Seis Sigma en el área de producción en un plazo de seis meses, con la finalidad de optimizar el indicador del rendimiento energético. La meta es incrementar el indicador de energía total planta, partiendo de 2,75 Litros por Mega julios (L/Mj) a 2,81 Litros por Mega julios (L/Mj). La estimación de este indicador es sugerida por la administración.

Otros objetivos relacionados son, el indicador del rendimiento de energía eléctrica, el cual se plantea subir de 25,6 Litros por Kilovatio (L/Kw) hasta 27,01 Litros por Kilovatio (L/Kw). Por

## 52. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

último, se espera ahorrar un estimado económico de cincuenta millones de pesos durante el tiempo de aplicación del proyecto hasta finalizar el año.

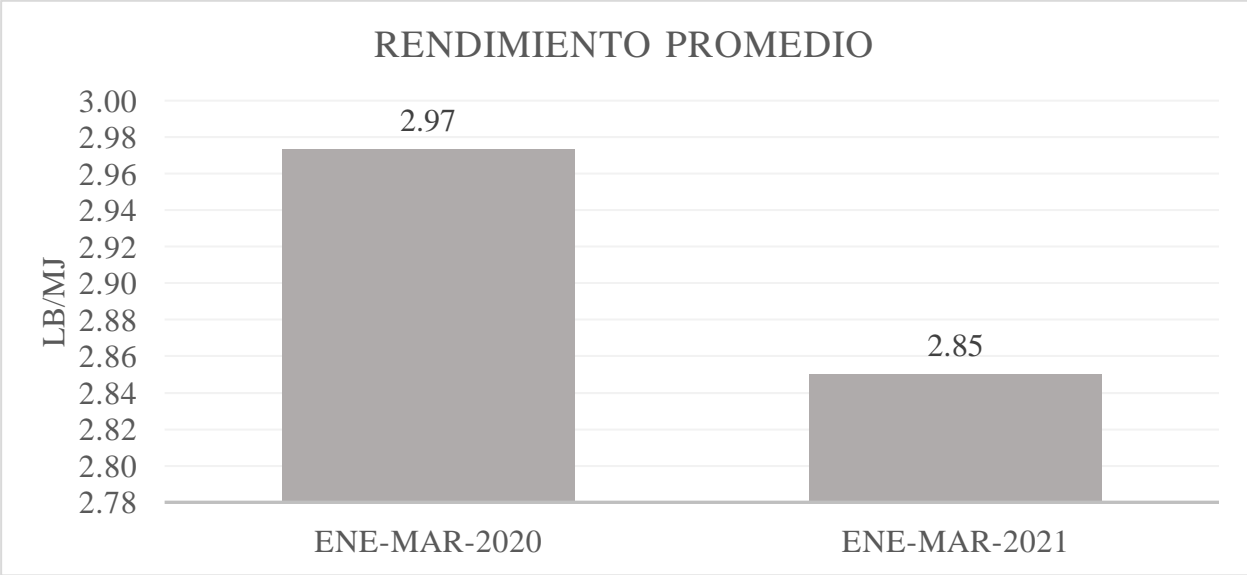
### 9.3. Método 5w+1h

Aplicando este método se puede abordar todas las interrogantes de algún problema y así obtener una comprensión detallada de la misma (*Método 5WIH: Conceptos, Aplicaciones y Consejos*, n.d.). Por lo que entre el grupo de trabajo se aclararon estas interrogantes y se definieron de la siguiente manera:

- **¿Qué sucedió?:** El rendimiento de energía total cerró en el 2020 con un puntaje de 2,76 Litros por Mega julios (L/Mj), y en el transcurso del año 2021 no se ha alcanzado la meta propuesta por la administración de 2,81 Litros por Mega julios (L/Mj), teniendo un acumulado hasta la fecha de marzo de 2,69 Litros por Mega julios (L/Mj).
- **¿Cómo sucedió?:** Se evidenció un alto consumo de energía en los contadores, además se percibieron desperdicios de energía eléctrica y termina por tiempos muertos de las maquinas auxiliares.
- **¿Dónde ocurrió el problema?:** En la planta Bucaramanga, Santander, Colombia, ubicada en el kilómetro dos vía Girón.
- **¿Cuándo se encontró?:** En los primeros meses del año 2021 se notó un bajo rendimiento respecto a los niveles obtenidos en el año 2020.
- **¿Quiénes estuvieron involucrados?:** Las líneas de producción, oficinas administrativas, usuarios de energía eléctrica, maquinas auxiliares.
- **¿Cuánto ha ocurrido?:** Se ha percibido una disminución de rendimiento en la energía total en los primeros tres meses del año 2021 en comparación a los mismos del año 2020. En este tiempo existe un déficit del 4,04 % del aprovechamiento energético.

**Figura 7. Rendimiento promedio del primer trimestre del año 2020 y 2021**

*Rendimiento promedio de los primeros tres meses del 2020 y 2021.*



*Nota:* El rendimiento de los meses estudiados se realizaron en conjunto con el grupo de trabajo basados en la información de la plataforma de la empresa (*Energy Management System*, n.d.).

**9.4. Identificación de desperdicios.**

En un proyecto Seis Sigma es de vital importancia poder identificar los desperdicios, ya que permite recoger información para analizar la situación inicial del problema y también permite enfocar la visión del proyecto y la ruta que debe tomar. En la planta Coca-Cola FEMSA, tras implementar la cultura de Excelencia Operacional (OE) se busca identificar y eliminar estos *ocho desperdicios*, los cuales permitirán mejorar las competencias y habilidades del personal y también eliminar costos y tiempos muertos; A continuación, se explican cada uno de los desperdicios tenidos en cuenta en la investigación realizada sobre los desperdicios del Lean Manufacturing (8 *Desperdicios En El Lean Manufacturing*, n.d.):

## 54. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

1. Defectos: Son los desperdicios que se caracterizan por ser de mala calidad o por no cumplir con los estándares establecidos.
2. Sobreproducción: Son aquellos relacionados con la producción anticipada o producción desmedida.
3. Espera: Se da por procesos desbalanceados en los cuales no se tiene un ritmo consecutivo, por lo tanto, se generan tiempos muertos.
4. No libera potencial: Se da por la resistencia al cambio y el rechazo al desarrollo, por lo general se desperdicia el potencial humano.
5. Transporte: Se genera al movimiento repetitivo o innecesario entre procesos.
6. Inventario: Desperdicio que se da por el exceso de inventario o la insuficiencia de insumos.
7. Movimiento: Desperdicio que se relaciona la interacción y al movimiento para realizar una tarea.
8. Exceso de procesos: Desperdicio por procesos repetitivos y/o procedimientos.

A partir de esta herramienta se realizó un análisis general del problema en el cual podíamos identificar cada uno de estos desperdicios en las zonas donde se intervienen con el indicador de energía. Los desperdicios que se pudieron evidenciar se detallaron a continuación:

## 55. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

**Tabla 4. Ocho desperdicios 1/2**

*Ocho desperdicios 1/2.*

<b>DEFECTOS</b>	<b>SOBREPRODUCCIÓN</b>	<b>ESPERA</b>	<b>NO LIBERAR POTENCIAL</b>
Desperdicio y mal manejo de la energía	La línea de producción trabaja horas innecesaria	No se apagan las máquinas de las líneas de producción inmediatamente se detiene la operación	Potencial no calificado para operar las maquinas
Identificar el rendimiento de los equipos	Incumplimiento de valores en el brix y gas del producto terminado	En los cambios de tamaño no se apagan los compresores de aire	Personal no calificado para realizar cambios en las maquinas
Considerar los desperdicios energéticos de las maquinas	Producción de botellas defectuosas que incumplen el nivel de calidad	La materia prima no llega a tiempo al almacén	Error en la lectura de los contadores de energía
Defectos en las líneas de tuberías de condensado	Acumulación de producto en las zonas de almacén	Paradas de mantenimiento programado	Falta de capacitación al personal de mantenimiento y tecnólogos
Defectos en las líneas de aire comprimido por fugas	Sobre consumo de las maquinas auxiliares en los fines de semana	Corte de energia no programados	Sincronización de los procesos para que la producción sea la indicada

*Nota:* Actividad realizada en conjunto con el grupo de trabajo.

## 56. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERÍA TOTAL

**Tabla 5. Ocho desperdicios 2/2**

*Ocho desperdicios 2/2.*

<b>TRANSPORTE</b>	<b>INVENTARIO</b>	<b>MOVIMIENTO</b>	<b>EXCESO DE PROCESO</b>
Falta de montacarga	Se programa producción sin tener en cuenta el inventario físico	Mal manejo de las materias primas y pérdidas de tiempo de traslado	Recodificación
Mala planificación de la materia prima (envases, tapas, azúcar)	No contar con stock suficiente en almacén para atender una parada en proceso	Fallas al atender a tiempo las paradas de línea durante la producción	Falso rechazo en los inspectores
Agilizar los procesos de entrega entre la fábrica y el cliente	Alto desperdicio de producto terminado	Falta de personal calificado de producción para los procesos	Un mal corte de producción se debe esperar para volver a iniciar
Paradas de las paletizadoras y despolitizaras	Controlar el inventario de almacenes y refacciones	Implementar metodologías para la distribución de productos	Fugas de aire
Largos recorridos, y mal gasto de las maquinas montacargas	Administrar los almacenes para que no consuman energía y espacio		Fugas de vapor y mal manejo del condensado de agua

*Nota:* Actividad realizada en conjunto con el grupo de trabajo.

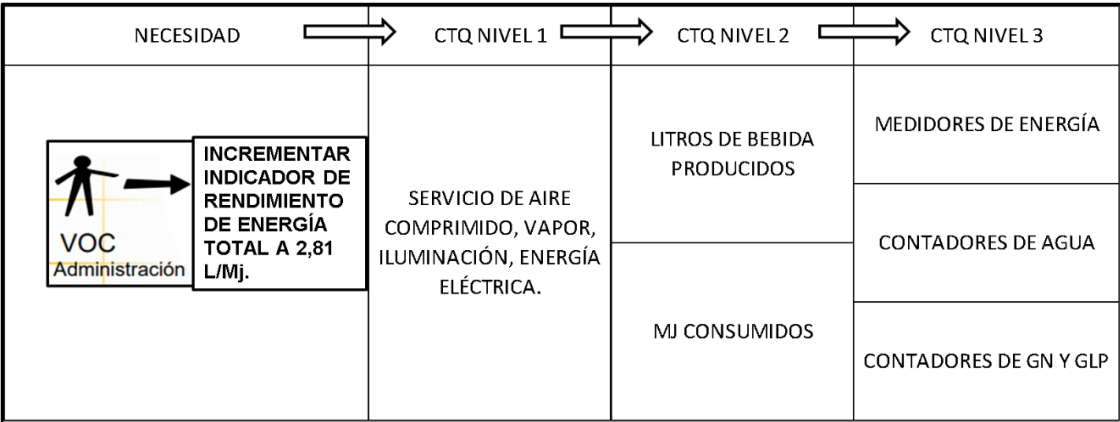
### 9.5. Críticos de calidad (CTQ'S)

Se identificaron los puntos críticos a considerar en el proyecto, teniendo en cuenta que quien se verá favorecida en este caso es la planta Coca-Cola FEMSA Bucaramanga y su necesidad de incrementar el indicador de rendimiento de energía total previamente analizado de la definición del problema. A partir de allí, como se muestra en la siguiente gráfica, se describieron los CTQ'S para entender los atributos críticos en la calidad de la energía, detallando las características que satisficieran a la empresa en los procesos (*Los Parámetros de Calidad Críticos (CTQ)*, n.d.), iniciando desde lo general a lo particular:

57. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENRGÍA TOTAL

**Figura 8. Críticos de calidad**

*Críticos de calidad.*



*Nota:* La figura representa la directriz de la empresa o necesidad que se tiene y a partir de esto se consideran los parámetros críticos de calidad para tener en cuenta, en nuestro caso es el indicador de energía total, en el cual se consideran los recursos como la electricidad el gas y el agua, partiendo desde los parámetros más generales hasta los particulares.

Ajustar los consumos de los CTQ’S del nivel tres es clave para el impacto que se tenga en el indicador del rendimiento, pues estos son los que se tienen en cuenta al momento de calcular la eficiencia y el aprovechamiento de los recursos en la planta. Estandarizar y configurar las maquinarias auxiliares es la sugerencia principal para poder contribuir a no generar pérdidas energéticas.

Mejorar los controles en los procesos y los tiempos muertos en la planta también se consideraron prioridad dado que se afecta los costos de energía, ya que las líneas y las maquinas auxiliares trabajarían sin producir generando desperdicio.

## 58. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERÍA TOTAL

### 9.6. Sipoc

Ésta técnica sirve para tener de manera más organizada una serie de ideas, lo cual facilita el entendimiento de esta información para poder tener una mayor efectividad desde el inicio hasta el final del proyecto (*¿Qué Es Un Diagrama SIPOC y Para Qué Sirve?*, n.d.), por sus siglas en inglés, SIPOC, permite identificar los Suppliers: Proveedores, Inputs: Entradas, Process: Procesos, Outputs: Salidas, Customers: Clientes, representa un proceso de gestión que permite comprender el proceso que se está definiendo. Seguido de aclarar las necesidades que se expusieron en los CTQ'S se procedió a completar la tabla SIPOC:

**Tabla 6. SIPOC**

*SIPOC*

<b>PROVEEDORES</b>	<b>ENTRADAS</b>	<b>PROCESOS</b>	<b>SALIDAS</b>	<b>CLIENTES</b>
ESSA-electricidad	Vapor sobrecalentado	Jarabes	Jarabe terminado	Maquinaria de producción
VANTI-gas	Aire comprimido	Líneas de embotellado	Agua suavizada, tratada y cruda	Maquinaria de equipos auxiliares
AMB- aguas	Subestación eléctrica, transformadores 110v, 220v y 440v a 60hz	Ptap	Productos terminados	Maquinaria en procesos de manufactura (jarabe, Ptar, Ptap)
		Ptar	Agua residual	
		Servicios auxiliares	Envases residuales	
		Servicios generales		

*Nota:* Actividad realizada en conjunto con el grupo de trabajo.

## 59. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

Los proveedores o *suppliers* en este trabajo son específicamente las empresas que brindan electricidad (ESSA), gas (VANTI) y agua (AMB), las cuales proveen a la planta los recursos principales para poder mantenerla activa y en producción.

Las actividades que se realizan de los procesos o *process* son las que se desarrollan en las líneas de producción. Por lo cual, los recursos que se ven involucrados en las entradas o *inputs* en este caso son el vapor sobrecalentado, la refrigeración, el aire comprimido y la energía eléctrica en los procesos para la fabricación de bebidas gaseosas.

Las salidas u *outpust* es el resultado que se obtiene luego de los procesos de producción, es decir, todo lo que se obtiene de transformar las energías luego de ser aplicadas a cada rama en la cual sea necesaria para la fabricación de bebidas gaseosas. Por lo que en las salidas se tuvieron en cuenta factores como: el jarabe terminado, el agua suavizada y tratada, los productos gaseosos terminados, aguas residuales y envases de desechos.

Los clientes o *customers* a los que serán destinados los recursos con los cuales se determina los indicadores de rendimiento son las zonas de maquinaria de producción, de manufactura y la maquinaria de equipos auxiliares.

### **9.7. Carta del proyecto (Project Charter)**

En el siguiente grafico se detalla la carta del proyecto (*project charter*), el cual se realiza al comenzar cualquier proyecto de Excelencia Operacional de las diferentes plantas de Coca-Cola FEMSA. En este documento se detalla los principales fundamentos que se tendrán en cuenta, como también determinar el alcance del proyecto, la misión, su definición y los Keys Performance Indicator (KPI'S) o indicadores clave de rendimiento (Ruiz, 2019), que se tendrá en cuenta, así como otros tipos de información.

## 60. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERÍA TOTAL

**Tabla 7. Project Charter**

*Project Charter*

<b>Nombre del proyecto:</b> Energy Optimization.		<b>Número de proyecto:</b>		<b>Fechas de inicio/fin:</b> 12/04/2021 -- 15/09/2021																																																					
<b>Lider del proyecto:</b> Raúl Puentes.		<b>Patrocinador Ejecutivo:</b>		Shyra Vélez.																																																					
<b>Miembros del equipo:</b>		<b>Costos del proyecto: (Incluir capital requerido, gastos)</b>																																																							
Angelica Bacca - Especialista RH.		Auditoria fugas aire comprimido:																																																							
Gerson Mantilla - Analista información.		Auditoria fugas vapor:																																																							
Yerson Amaya - Analista Mantenimiento.																																																									
Naren Lizarazo - Operario Producción.																																																									
Luis José Carvajal- Ingeniero practicante.																																																									
<b>Misión de proyecto:</b>																																																									
Mejorar el rendimiento de energía total planta, el actual es 2,75 L/Mj, subirlo a 2,81 L/Mj, en un plazo de 6 meses. Optimizando el rendimiento de energía eléctrica y energía térmica.			<b>Indicador clave del proceso (KPI):</b>																																																						
			Indicadores de energía, facturas de pago, revisión de medidores, consumos energéticos, consumos de gas, consumos eléctricos.																																																						
			<b>Herramientas visuales de admon a ser implementadas:</b>																																																						
			DMAIC.																																																						
<b>Objetivos [Incluir indicadores (KPIs) iniciales y finales]:</b>			<b>Beneficios netos:</b>																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>ENE</th> <th>FEB</th> <th>MAR</th> <th>ABR</th> <th>MAY</th> <th>JUN</th> <th>JUL</th> <th>AGO</th> <th>SEP</th> <th>OCT</th> <th>NOV</th> <th>DIC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2019</td> <td>2.31</td> <td>2.93</td> <td>2.79</td> <td>2.75</td> <td>2.69</td> <td>2.76</td> <td>2.87</td> <td>2.93</td> <td>2.95</td> <td>3.02</td> <td>2.92</td> <td>3.14</td> </tr> <tr> <td>2020</td> <td>2.96</td> <td>3.02</td> <td>2.94</td> <td>2.73</td> <td>2.96</td> <td>2.82</td> <td>2.96</td> <td>2.86</td> <td>2.7</td> <td>3.36</td> <td>3.33</td> <td>3.22</td> </tr> <tr> <td>2021</td> <td>2.84</td> <td>3.01</td> <td>2.7</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	2019	2.31	2.93	2.79	2.75	2.69	2.76	2.87	2.93	2.95	3.02	2.92	3.14	2020	2.96	3.02	2.94	2.73	2.96	2.82	2.96	2.86	2.7	3.36	3.33	3.22	2021	2.84	3.01	2.7										Ahorro aproximado de mayo a diciembre de \$ 50'000.000 mdp.		
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC																																													
2019	2.31	2.93	2.79	2.75	2.69	2.76	2.87	2.93	2.95	3.02	2.92	3.14																																													
2020	2.96	3.02	2.94	2.73	2.96	2.82	2.96	2.86	2.7	3.36	3.33	3.22																																													
2021	2.84	3.01	2.7																																																						
<b>Dentro del alcance:</b>		<b>Herramientas de mejora a ser usadas:</b>		<b>Fuera del alcance:</b>																																																					
Indicadores de rendimiento de energía.		DMAIC, 5W+1H, Diagrama Pareto, Lluvias de ideas, Plan de acción, Estandarización, Comunicación, Diagrama Ishikawa, Plan de control.		Línea de agua brisa. Planta PTAP y PTAR. CEDI. Casino.																																																					
<b>Supuestos:</b>			<b>Riesgos y restricciones:</b>																																																						
El rendimiento de energía depende de la utilización de los compresores de los sistemas de refrigeración y de aire comprimido, de la caldera y del consumo de energía de las líneas de producción.			Paradas de planta inesperadas. Cambios de tamaño en las llenadoras. Disponibilidad de equipos. Tiempos de trabajos.																																																						
<b>Hitos del proyecto:</b>			<b>Depencias:</b>																																																						
Etapa 1 y 2:		Abril - Mayo		Gerencia.																																																					
Etapa 3 y 4:		Junio - Julio		Producción, Mantenimiento.																																																					
Etapa 5 y 6:		Agosto.		Lineas de producción 1 y 2.																																																					
Etapa Final:		Septiembre.		Maquinari Auxiliar.																																																					
<b>Tiempo requerido para la implementación (Lead time del proyecto):</b>			<b>Otras partes de interés &amp; areas afectadas:</b>																																																						
6 Meses.			Subestación principal. Eléctricos y electrónicos. Taller de mantenimiento.																																																						
<b>Aprovisiones:</b>																																																									
<b>Lider del proyecto:</b>		Raúl Puentes		<b>Fecha:</b> 12/4/2021																																																					
<b>Gerente del área:</b>		Shyra Vélez		<b>Fecha:</b> 12/4/2021																																																					
<b>Patrocinador ejecutivo:</b>		Shyra Vélez		<b>Fecha:</b> 12/4/2021																																																					

## 61. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

*Nota:* Actividad realizada en conjunto con el grupo de trabajo adaptada a los requerimientos que se implementan a los proyectos de Excelencia Operacional basándonos del artículo de García (2013).

### 10. Etapa medir

Teniendo definido el problema principal, en esta etapa del proyecto se decidió tomar en cuenta los seguimientos que ya la empresa ha implementado en su línea de producción, ya que diariamente se lleva un conteo de los consumos en los principales equipos. Se realizó un plan de recolección de datos para poder reforzar los formatos de los contadores y así tener un mejor orden en el seguimiento de los indicadores de energía.

Este plan se realizó utilizando la misma herramienta del 5W+1H con el fin de detallar las consideraciones principales para medir y tener en cuenta, se puede evidenciar en la siguiente tabla:

**Tabla 8. Plan de recolección de datos**

*Plan de recolección de datos.*

<b>¿QUÉ MEDIR? (WHAT)</b>	<b>UNIDAD DE MEDICIÓN</b>	<b>¿DÓNDE MEDIR? (WHERE)</b>	<b>MUESTRA (WHEN)</b>	<b>¿CÓMO RECOLECTAR? (HOW)</b>	<b>¿POR QUÉ RECOLECTAR? (WHY)</b>	<b>PERSONA LA CARGO (WHO)</b>
Consumo de EE en generación de aire comprimido.	KW	Compresores de generación de aire.	Producción por SKU	Registrar la cantidad de KWH utilizados en la generación de aire por día.	Controlar las condiciones de trabajo en las líneas según sea el requerimiento necesario.	Naren Lizarazo / Oscar Herreño
Consumo de EE en generación de los sistemas	KW	Compresores de generación del sistema de	Producción por SKU	Registrar la cantidad de KWH utilizados en	Controlar las condiciones de trabajo en las líneas según sea el	Naren Lizarazo / Oscar Herreño

## 62. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

de refrigeración.		refrigeración.		refrigeración por día.	requerimiento necesario.	
Litros de bebida producidos en las dos líneas.	LITROS	Medidores de cantidad de producto.	Producción por día.	Contadores de producción de bebidas en cada una de las líneas.	Poder alcanzar la meta de producción y controlar las cantidades de bebida producida y mantener un óptimo nivel de rendimiento.	Yerson Mantilla / Yerson Amaya
Consumo de EE que se genera en la planta.	KW	Contadores de energía de las partes importantes y ubicarlas en el formato WUR.	Producción por SKU	Mediante los recibos generados por la empresa que brinda el servicio de electricidad.	Identificar posibles malgastos de energía y controlar los niveles energéticos en la planta.	Analista de administración planta.
Consumo del gas natural consumidos en la planta.	METROS CÚBICOS	Contadores de gas de las partes importantes y ubicarlas en el formato WUR.	Producción por SKU	Mediante los recibos generados por la empresa que brinda el servicio de gas.	Identificar posibles malgastos de gas y controlar los niveles térmicos en la planta.	Analista de administración planta.

*Nota:* Actividad realizada en conjunto al grupo de trabajo; Las mediciones se harán diariamente por personal técnicamente capacitado y se anotarán en los distintos contadores de energía que se manejan en la empresa.

Los registros de los contadores y las respectivas horas de trabajo se tendrán en cuenta a partir del mes de abril, haciéndose el seguimiento para poder evidenciar los niveles en los indicadores de energía y su variación tanto diaria como mensual. Las mediciones se harán en la

### 63. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

planta para las líneas eléctricas de 220 y 440 voltios, la energía activa y las acometidas. También los equipos como las lavadoras, la sala de jarabes, la zona comercial y televentas, los compresores de aire, los compresores de refrigeración y la caldera.

Toda la información que estará relacionada a la parte productiva se resumirá en una tabla llamada Formato WUR (*WUR: Cociente de La Utilización Del Trabajo*, n.d.), siglas que significan Work Utilization Ratio (Cociente de la utilización del trabajo), en esta se recolectará datos como: Litros de agua consumida, litros de bebida producido, indicador de agua, la energía eléctrica que se consumen en las líneas, los metros cúbicos de gas natural que se consumen en la caldera, la cantidad de GLP (Gas licuado de petróleo) que se usan en los carros transportadores que organizan el almacén, y por último los indicadores de rendimiento, los cuales dependiendo del indicador que se vaya a tener en cuenta, se hace la relación de los litros de bebida producidos en comparación a la energía térmica y eléctrica necesaria que se ocupó para dicha producción, es decir, si se quiere calcular el indicador de energía total se debe realizar la siguiente operación:

#### **Figura 9. Ecuación de rendimiento total**

*Ecuación de rendimiento total*

$$\text{Rendimiento de energía total} = \frac{LB}{EE + ET_{GN} + ET_{GLP}}$$

En donde cada factor representa:

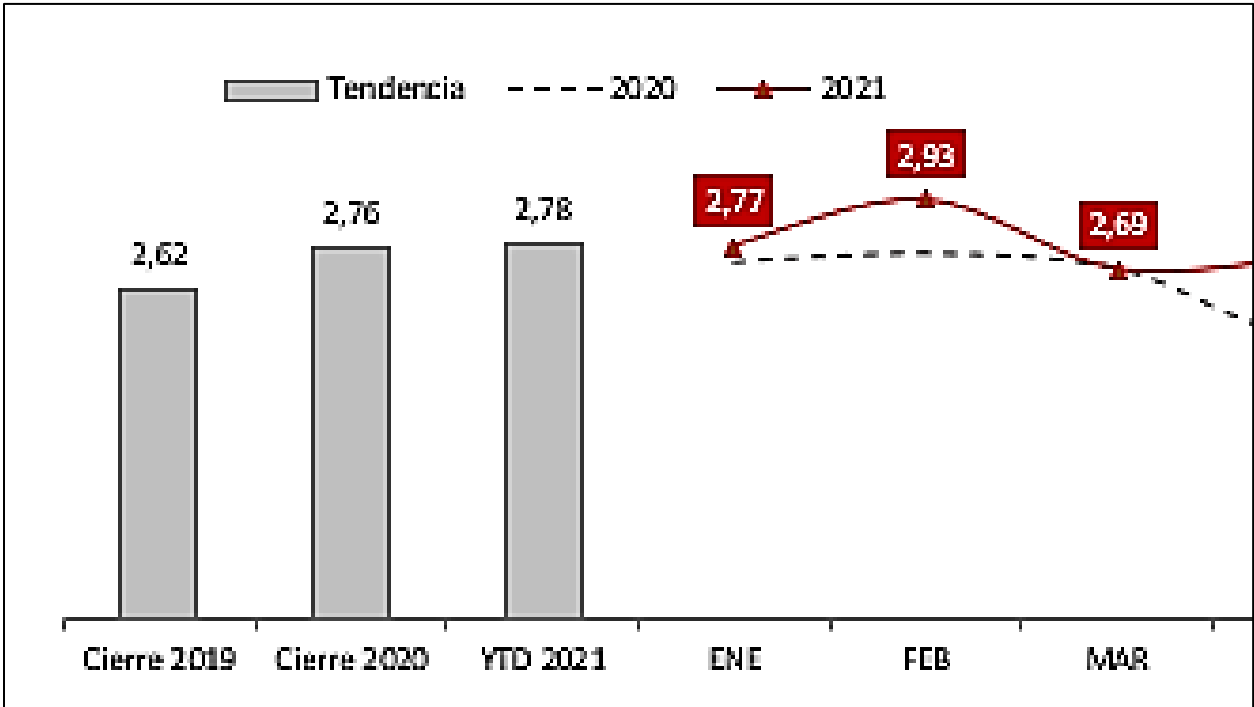
- *LB*: Litros de bebida producidos.
- *EE*: Energía eléctrica.
- *ET<sub>GN</sub>*: Energía térmica del gas natural.
- *ET<sub>GLP</sub>*: Energía térmica del gas licuado de petróleo.

64. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENRGÍA TOTAL

Las mediciones que también se tuvieron en cuenta para esta etapa, fue la plataforma que usa la empresa, la cual sintetiza toda la información histórica que se ha tenido y la resumen en indicadores. Esta información se puede ver de manera grafica por medio de los KPI'S:

**Figura 10. Indicadores de KPI'S**

*Indicadores de KPI'S.*



*Nota:* Indicadores tomados de la plataforma Coca-Cola FEMSA Bucaramanga (*Energy Management System*, n.d.).

## 65. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERÍA TOTAL

### 11. Analizar

En esta etapa se analizaron los datos obtenidos de las mediciones hechas y notificadas en los formatos durante el mes de abril, seguido esto, con ayuda del equipo se realizó un análisis general sobre las áreas principales de trabajo en la planta, analizando cuales serían las zonas críticas para poder enfocarlas.

Además de analizar los datos obtenidos, se detalló el informe de la auditoria de fugas en la línea de aire comprimido, el cual se había gestionado con anterioridad al iniciar el proyecto.

#### 11.1 Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto se realiza para dar información de los datos que se recopilaron y se analizaron, se muestra mediante una gráfica de barras, la cual descende en función de su prioridad (Rus, n.d.). De la etapa de medición, los datos que se obtuvieron del mes de abril permitieron contabilizar las cargas en Kilovatios y también la separación de las áreas de cada una, la siguiente información se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 9. Análisis parcial de mediciones**

*Análisis parcial de mediciones*

AREA	CARGA KWH	PONDERACION	% POR ZONA
L. MEYER	1,147	0.71%	3.75%
L R84	4,944	3.04%	
S. JARABE	3,741	2.30%	6.42%
CEDIS	6,695	4.12%	
COMERCIAL	8,573	5.28%	9.89%
TELE-VENTAS	7,500	4.61%	
MY 125	32,940	20.27%	46.53%
MY 150	42,130	25.92%	
MY TORN 150	550	0.34%	
ATL 125	11,884	7.31%	25.43%
KAESER 100	19,275	11.86%	
KAESER 40	10,170	6.26%	
CALDERA	12,975	7.98%	7.98%

## 66. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

<b>TOTAL</b>	162,524	1.00	100%
--------------	---------	------	------

*Nota:* Este análisis fue posible gracias a los formatos de los contadores de energía de los equipos brindados por la empresa, tales documentos estarán disponibles en los anexos de este proyecto.

Cada grupo representa un área específica de trabajo, las ponderaciones que se tuvieron en cuenta son las que interfieren principalmente en los indicadores de rendimiento, a continuación, se especifican cada una de las zonas:

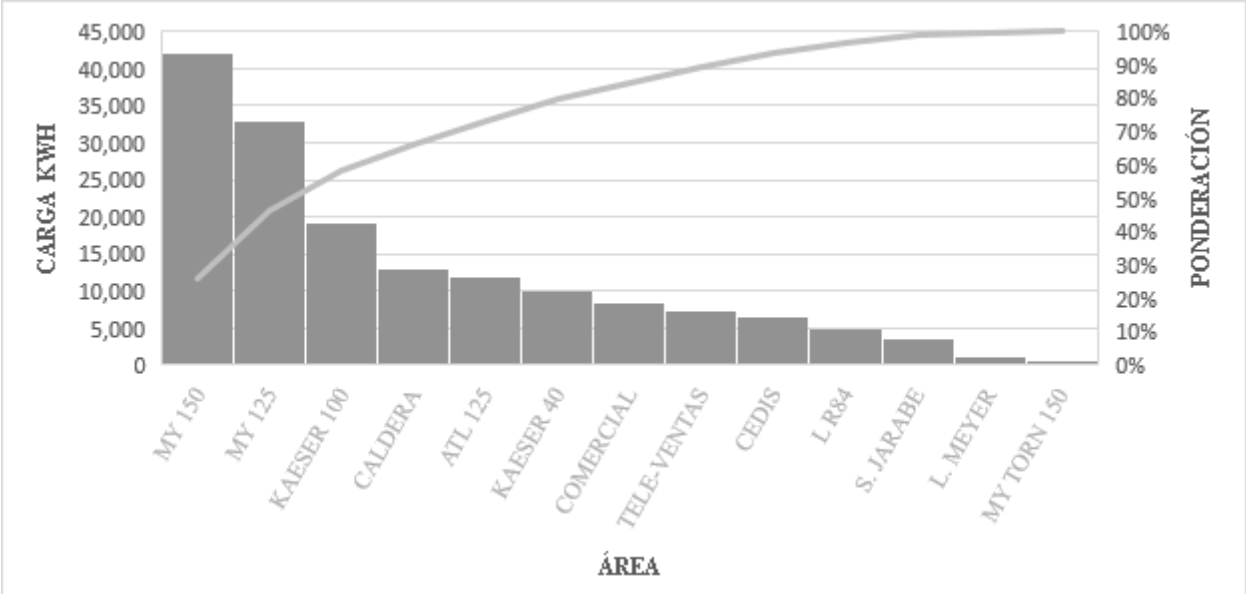
- Zona 1: Zonas de lavado.
- Zona 2: Sala de jarabe y CEDI (Centro de distribución)
- Zona 3: Áreas comerciales y tele ventas.
- Zona 4: Compresores de refrigeración.
- Zona 5: Compresores de aire.
- Zona 6: Sala de caldera.

Gracias a esta tabla de ponderaciones, se pudo realizar el diagrama de Pareto, para así definir las zonas de incidencia principales a trabajar, se busca que las principales causas sean las que interfieran con los indicadores de energía en la parte productiva.

67. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENRGÍA TOTAL

Figura 11. Diagrama de Pareto

Diagrama de Pareto



Nota: El diagrama muestra que las principales cargas instaladas están en los compresores de refrigeración, la caldera y los compresores de aire ubicados en el área de servicios auxiliares, por tanto, se enfocaran las mejoras de manera prioritaria en estas tres zonas.

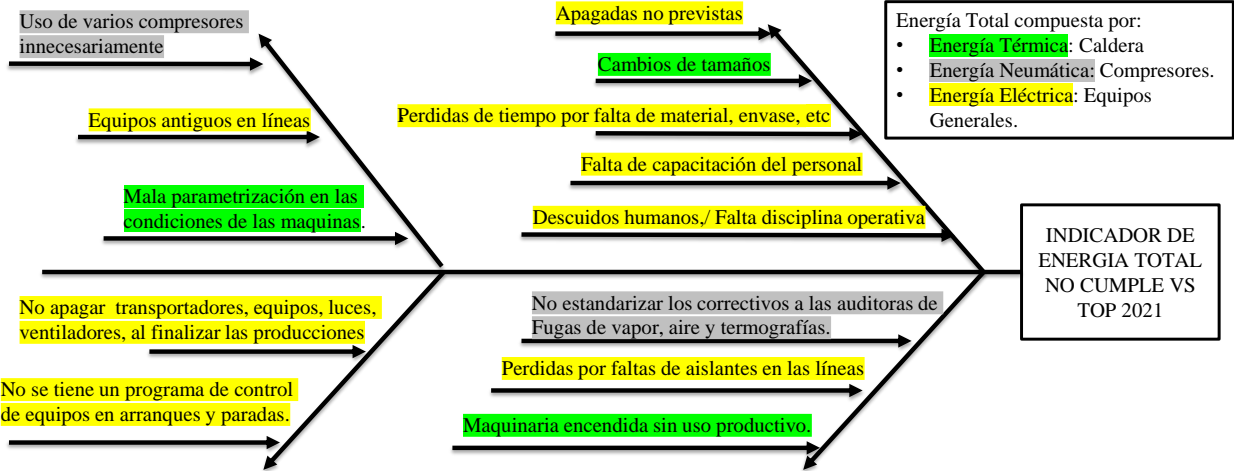
11.2 Diagrama Ishikawa (Análisis de causa)

Teniendo en cuenta las zonas principales que tienen mayor carga, se realizó el diagrama de análisis de causa, el cual permite identificar los factores que involucran un problema (Rodríguez, 2021). En este grafico se incluirán las razones obtenidas, a partir del análisis realizado en el grupo.

68. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENRGÍA TOTAL

Figura 12. Diagrama causa – efecto

Diagrama causa – efecto.



Nota: El diagrama se realizó teniendo en cuenta los diferentes tipos de energía que se manejan en la planta, siendo estas la energía térmica, neumática y eléctrica. A partir de la idea principal de subir el indicador de energía total, se consideraron las razones por las cuales, en cada tipo de energía se hallaban falencias.

11.3 Revisión de informes y estándares técnicos.

La empresa encargada de realizar las auditorias de fugas de aire es Kaeser, y la empresa encargada de revisar los estándares técnicos de los componentes de la planta es Spirax Sarco. Estas dos empresas permiten mediante sus informes y análisis observar cómo se encuentran las condiciones en las redes de aire comprimido y vapor sobrecalentado. Por lo que se revisaron el informe de fugas de aire que se había solicitado con anticipación de iniciado el proyecto y se entregó en abril, así mismo, se analizaron los últimos estándares técnicos que se realizaron a la línea de vapor y gracias a ello se pudieron observar oportunidades de mejora y se brindaron sugerencias para la siguiente fase.

## 69. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

### 11.4 Método de cálculo de ahorro

Con la meta de ahorrar un estimado de cincuenta millones de pesos, se sugirió un ritmo de producción igual al observado en el mes de febrero, por lo que se realizaron las tablas de costos energéticos tanto para la electricidad, como para el gas natural, estos dos son los principales recursos que se consumen en la planta. El agua no se consideró de gran impacto, ya que éste como se pudo observar en la formula del rendimiento de energía total, es un recurso que ayuda directamente a incrementar el indicador de energía. Por lo tanto, se consideraron los factores que, en medida de incrementar de manera descontrolada afectan con mayor impacto el indicador de rendimiento.

**Tabla 10. Cálculos de ahorro en energía eléctrica**

*Cálculos de ahorro en energía eléctrica*

<b>MES</b>	<b>ENERGÍA 2020 [\$]</b>	<b>ENERGÍA 2021 [\$]</b>	<b>KW 2021</b>	<b>LB 2021</b>	<b>REND 2021</b>	<b>AHORRO [\$]</b>
<b>ENE</b>	64,717,379	80,916,562	194,189	3,883,268	2.84	-16,199,183
<b>FEB</b>	58,186,396	55,915,754	156,457	4,377,147	3.01	2,270,642
<b>MAR</b>	84,623,510	58,545,088	167,799	4,592,266	2.7	26,078,422
<b>ABR</b>	86,286,398	67,991,317	187,655	4,324,731	2.81	18,295,081
<b>MAY</b>	64,465,302					
<b>JUN</b>	76,025,979					
<b>JUL</b>	66,936,549					
<b>AGO</b>	80,190,897					
<b>SEP</b>	56,479,743					
<b>OCT</b>	56,353,613					
<b>NOV</b>	77,336,274					
<b>DIC</b>	74,308,291					
<b>TOTAL</b>	<b>845,910,331</b>	<b>263,368,721</b>	<b>706,100</b>	<b>17,177,412</b>		<b>18,295,081</b>

## 70. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

**Tabla 11. Cálculos de ahorro en energía térmica**

*Cálculos de ahorro en energía térmica*

<b>MES</b>	<b>GN 2020 [\$]</b>	<b>GN 2021 [\$]</b>	<b>M3 2021</b>	<b>AHORRO [\$]</b>
<b>ENE</b>	39,039,120	30,578,178	25,664	8,460,942
<b>FEB</b>	41,152,390	26,279,610	22,585	14,872,780
<b>MAR</b>	41,614,630	29,154,550	26,151	12,460,080
<b>ABR</b>	29,871,760	29,235,420	23,153	636,340
<b>MAY</b>	33,382,690			
<b>JUN</b>	37,836,830			
<b>JUL</b>	31,874,400			
<b>AGO</b>	31,327,360			
<b>SEP</b>	34,432,220			
<b>OCT</b>	28,953,574			
<b>NOV</b>	40,412,480			
<b>DIC</b>	36,300,000			
<b>TOTAL</b>	<b>426,197,454</b>	<b>115,247,758</b>	<b>97,553</b>	<b>636,340</b>

*Nota:* El método de cálculo de ahorro consistió en comparar el valor de pago en los recibos de energía y gas, revisando los consumos que se obtenían y la diferencia de estos recibos para analizar si se generaron ahorros o gastos entre los primeros meses del año 2020 y el 2021. En estas dos tablas se pudo observar que el mes con mayor indicador fue febrero, obteniendo un rendimiento del 3.01 [L/Mj], así que se sugirió mantener bajos niveles de consumos de energía y de gas natural, tratando de mantener consumos no mayores a 160.000 Kilovatios y 23.000 metros cúbicos de gas natural. Con esto se plantea generar ahorros en la planta aproximados a cincuenta millones de pesos desde el mes de abril hasta finalizar el año.

## 71. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

### **12. Implementar**

Después de todo lo realizado en la etapa anterior, y del análisis hecho por los integrantes del grupo del proyecto se decide tomar ciertas estrategias, acciones y modificaciones que seguidamente se implementaron. También se siguieron tomando los consumos energéticos después de la etapa de mejora, con el fin de registrar los cambios obtenidos. Estas acciones que se implementan son las que definirán el logro o no en el impacto que se busca con este proyecto para mejorar los consumos de los recursos seleccionados, y seguido a ello, se continuará controlando estos consumos.

Para las acciones que se implementaron se tuvieron en cuenta las siguientes características:

- La zona de aplicación.
- La causa raíz verificada.
- La importancia de la implementación.
- El responsable de ejecutarlo.
- El tiempo establecido para realizarlo.
- El análisis de costo-beneficio.
- El costo previsto de la mejora.

Estas acciones correspondientes a las actividades principales de implementación anteriormente descritos están disponibles en los anexos del presente proyecto.

#### **12.1. Corrección de fugas de aire**

A partir del informe entregado por la empresa KAESER quienes estuvieron encargados de la auditoria en la línea de aire comprimido, se pudo evidenciar que en las líneas 1 y 2 de producción se encontraron una cantidad total de 20 fugas, lo cual corresponde al 69% de fugas totales

72. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENRGÍA TOTAL

encontradas en toda la planta, generando perdidas de dinero anuales estimadas en 22'500.000 aproximadamente.

Una vez revisado el informe, se procedió a realizar las correcciones de las fugas en las líneas de producción, esta labor la gestionaría el líder del grupo con el apoyo del grupo INDUTECMI, empresa que se dedica al mantenimiento y reparación especializado de maquinarias y equipos (Indutecmi S.A.S., n.d.) para poder dar solución a las fugas que se hallaron.

Las siguientes imágenes son evidencia de las correcciones que realizó el personal respectivo de Indutecmi.

**Figura 13. Registro de verificación**

*Registro de verificación. (A) Verificación, Corrección línea 2; (B) Ubicación, Entrada motor Cronex (manguera).*



## 73. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

### Figura 14. Registro de verificación

*Registro de verificación. (A) Verificación, Corrección línea 1; (B) Ubicación, Des empacadora (codo acople rápido).*



*Nota:* Todos las correcciones anteriormente mencionados están disponibles en los anexos del presente proyecto.

### 12.2. Reducción de presión

Dado el alto consumo de las fugas encontradas en las líneas de producción, se consideró realizar una disminución en la carga de los compresores de aire para así disminuir la generación de nuevas en un futuro. Esta reducción se pudo realizar gracias a la gestión hecha por el analista de mantenimiento y por el operario de producción, quienes tuvieron en cuenta el consumo en todas las zonas de las líneas para no generar problemas en los equipos a la hora de funcionar.

Gracias a ello, se pudo reducir la presión de carga en los compresores de aire desde 100 psi a 80 psi, optimizando el consumo energético y la distribución de aire a lo largo de toda la línea.

## 74. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

### Figura 15. Tablero compresor de aire

*Tablero compresor de aire.*



*Nota:* Se realizó la configuración para cada uno de los tableros de los compresores, disminuyendo la presión de carga en las líneas de aire, lo cual permitió un ahorro en los consumos sin perder las cantidades de aire requeridas por las maquinarias de las líneas.

### 12.3. Energía reactiva

En la empresa se reguló el manejo de la energía reactiva dado que la entidad regulatoria en Colombia, la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) estableció unas normas de regulación de la energía reactiva. Este tipo de energía eléctrica es la que absorben algunos equipos como motores (ENERSAC Group Inc., 2019), pero que no son consumidas y por lo tanto la devuelven a las líneas de redes eléctricas, lo cual ocasiona problemas en la calidad de la energía, sobrecarga e ineficiencia y un consumo en su transporte de regreso.

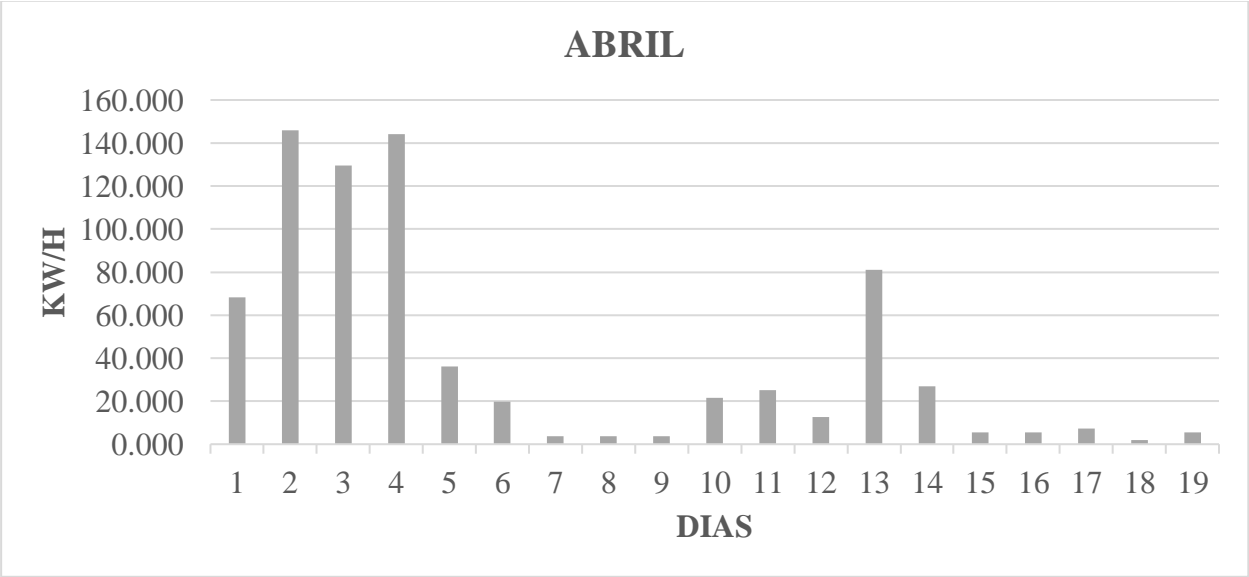
75. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

Dado que la resolución CREG 195 de 2020 (Ministerio de Minas y Energía, 2020) indica que, a partir del primero de enero de 2022 las sanciones podrán incrementarse, al punto de cobrar el valor de la sanción por la energía reactiva hasta 12 veces, se optó por revisar los bancos de condensadores los cuales permiten un control de esta energía.

Es por esto, que se gestionó un balance en los consumos de energía reactiva en los bancos de condensadores solicitado por el líder del proyecto con ayuda de la empresa EPM, quienes realizaron dos balances para evidenciar el antes y el después. En estos balances se notificaron los consumos de la energía reactiva durante todo el mes de abril las 24 horas del día. Estos consumos se pueden evidenciar en la siguiente gráfica:

**Figura 16. Balance de energía reactiva abril**

*Balance de energía reactiva abril.*



## 76. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

*Nota:* Dado que se presentaban muchos picos y un gran consumo de energía reactiva, se hicieron unas mejoras en los bancos de condensadores para que la capacidad de estos pudiera mitigar este tipo de energía, y a su vez las sanciones futuras si no se solventaba este problema por los excesos.

Los balances realizados por EPM anteriormente mencionados están disponibles en los anexos del presente proyecto.

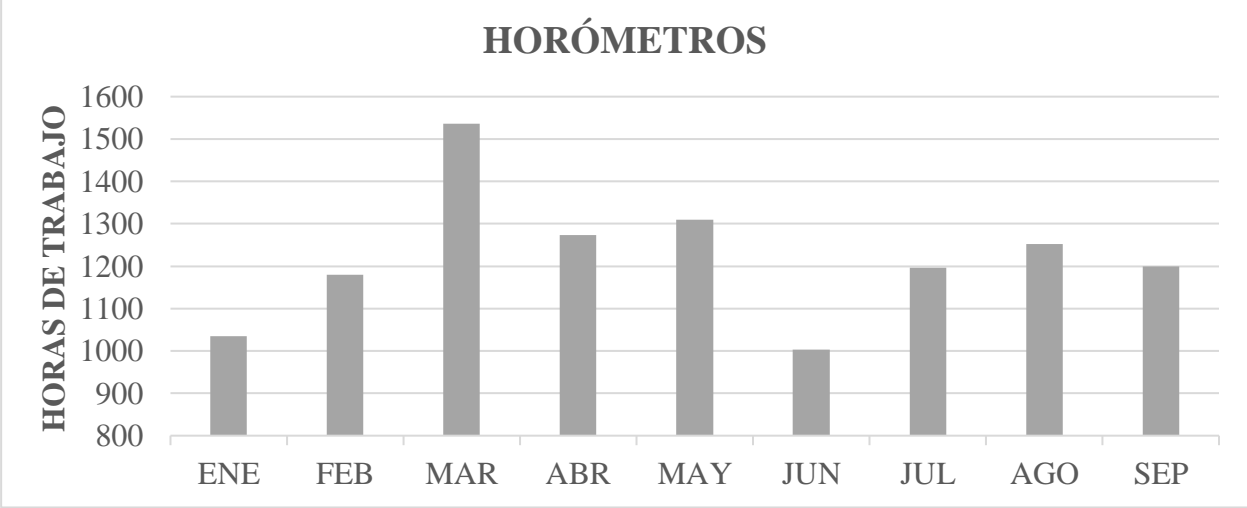
### **12.4. Cultura de ahorro de energía**

El impacto de este proyecto también va relacionado con todo el personal de la planta, dado que son los quienes manejan los equipos, las maquinarias y las oficinas de la empresa, por lo que se busca generar una conciencia colectiva en pro de reducir los consumos energéticos. Para ello, se solicitó de manera individual a cada dependencia realizar estos consentimientos con los empleados, incentivando al apagado inmediato de los equipos después de finalizar la producción, al control de las maquinarias auxiliares, al apagado de las líneas en caso de situaciones de reparación o de cambios de tamaños.

Esta actividad se fortaleció mucho para la zona de producción, es decir, en la maquinaria auxiliar, y se pudo evidenciar una disminución considerable en los horómetros de la planta, los cuales fueron reduciendo como se muestra en la siguiente gráfica:

**Figura 17. Horómetros de maquinaria**

*Horómetros de maquinaria.*



*Nota:* Para corroborar la información de los horómetros de las maquinarias, éstas estarán disponibles en los anexos del proyecto.

**12.5. Otras mejoras**

La empresa, mediante otros proyectos externos al nuestro aplicó mejoras que tenían relación con los recursos energéticos, la ejecución de algunos proyectos tiene un tiempo más amplio por la magnitud de estos, por ende, incrementarían a futuro los indicadores de producción sobre las metas que se lograron con la ejecución del presente proyecto, estas se mencionan a continuación:

- Se realizó el cambio del tanque del secador, mejorando la capacidad y disminuyendo la inestabilidad en las líneas de aire comprimido.

## 78. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

- Se solicitó la auditoria en la caldera y la línea de vapor para realizar el estudio de vapor en condensados, este trabajo estaría a cargo de la empresa Spirax Sarco Colombia S.A.S.
- Se configuró el apagado automático y control por demanda de compresores de amoníaco y aire.
- Se logró la recuperación del 100 % de condensado de las 2 lavadoras.
- Cambio de lámparas a LED e implementación de lámparas con energía solar.
- Cambio de transformadores de media tensión para cumplir norma RETIE (reglamento técnico de instalaciones eléctricas) y el código eléctrico colombiano Norma Icontec NTC 2050.
- Compra de secador con capacidad para los tres compresores (Kaeser 100HP, Kaeser 40HP y Atlas Copco 100 HP).

## 79. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

### **13. Resultados**

Las etapas que se trabajaron anteriormente se implementaron durante los primeros meses del proyecto, es decir desde la mitad de abril hasta la mitad de agosto del 2021, a partir del mes de septiembre del mismo año se realizaron los seguimientos a los consumos de energía de la planta para poder conocer cuál fue el impacto que se logró, y también los resultados obtenidos a partir de la implementación de las diferentes estrategias. Es importante recordar que se tenía como objetivo del proyecto incrementar el indicador de energía total de embotellado.

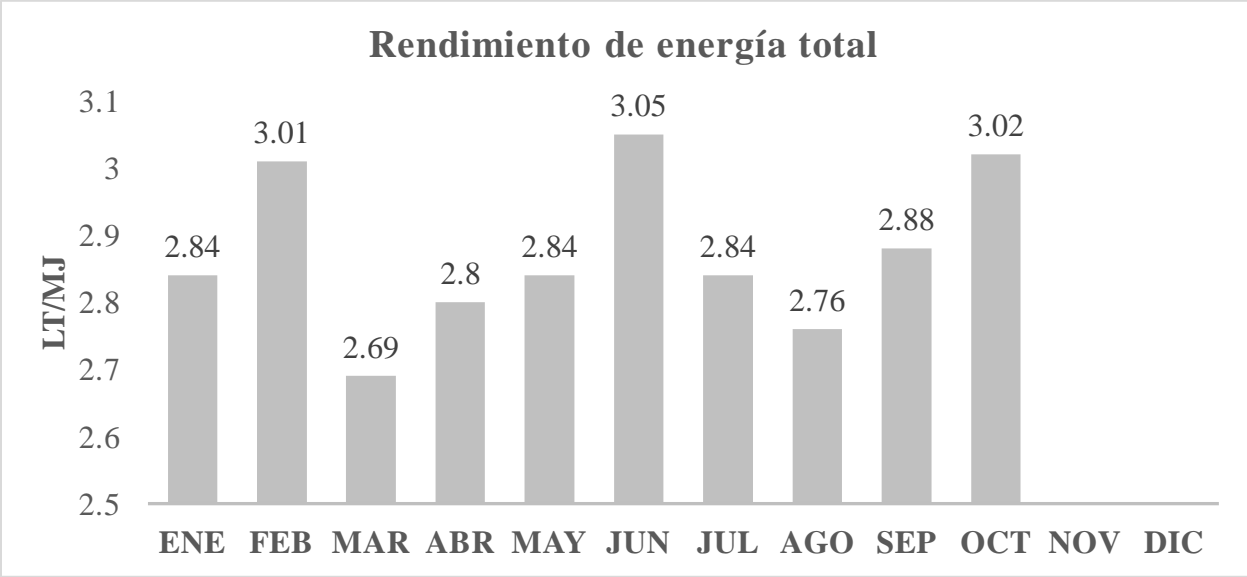
Los resultados se pudieron evidenciar se presentan a continuación:

#### **13.1. Indicadores de rendimiento**

En la siguiente grafica se puede ver el comportamiento del indicador de rendimiento de energía total durante los meses del año 2021, en éste se puede apreciar el incremento del indicador durante los meses en los cuales se aplicaron las mejoras, partiendo desde mediados de abril hasta mediados de octubre.

**Figura 18. Indicadores de rendimiento 2021**

*Indicadores de rendimiento 2021.*



*Nota:* Como se mencionó anteriormente, se observa en el indicador de rendimiento de energía total un incremento superior o igual a la meta propuesta para alcanzar el puntaje al cierre del año, el cual había sido estipulado en 2,81 litros de bebida por mega julio (Lb/Mj), con lo que representa mejoras significativas en la parte productiva en la empresa, teniendo durante los meses de aplicación del proyecto un promedio mensual en el indicador de 2,88 litros de bebida por mega julio (Lb/Mj), lo que representa un incremento de 102,49% sobre el objetivo inicial. En el mes de agosto se presentó una disminución, debido a que en la empresa se estaba realizando unos cambios para instalar una maquina etiquetadora en la línea 1, por lo que las metas estipuladas en la cantidad de producción de litros de bebidas no se lograron.

## 81. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

### 13.2. Resultados del cálculo de ahorro

Tras conocer los costos en los servicios de luz y gas registrados hasta la fecha de finalización del proyecto, se puede observar en las siguientes tablas cuales fueron los comportamientos en cada mes de dichos recursos de energía.

**Tabla 12. Cálculos de ahorro de energía eléctrica final**

*Cálculos de ahorro de energía eléctrica final.*

MES	ENERGÍA 2020 [€]	ENERGÍA 2021 [€]	KW 2021	LB 2021	REND 2021	AHORRO [€]
ENE	64,717,379	80,916,562	194,189	3,883,268	2.84	-16,199,183
FEB	58,186,396	55,915,754	156,457	4,377,147	3.01	2,270,642
MAR	84,623,510	58,545,088	167,799	4,592,266	2.7	26,078,422
ABR	86,286,398	67,991,317	187,655	4,324,731	2.81	18,295,081
MAY	64,465,302	61,694,728	175,741	4,139,682	2.84	2,770,574
JUN	76,025,979	64,446,732	167,905	4,492,226	3.05	11,579,247
JUL	66,936,549	67,444,580	183,634	4,505,952	2.84	-508,031
AGO	80,190,897	64,558,970	171,781	4,096,360	2.76	15,631,927
SEP	56,479,743	64,391,512	165,923	4,128,716	2.88	-7,911,769
OCT	56,353,613	60,550,460	171,758	4,481,664	3.02	-4,196,847
NOV	77,336,274					
DIC	74,308,291					
<b>TOTAL</b>	<b>845,910,331</b>	<b>646,455,703</b>	<b>1,742,842</b>	<b>43,022,012</b>		<b>35,660,182</b>

**Tabla 13. Cálculos de ahorro en energía térmica final**

*Cálculos de ahorro en energía térmica final.*

MES	GN 2020 [€]	GN 2021 [€]	M3 2021	AHORRO [€]
ENE	39,039,120	30,578,178	25,664	8,460,942
FEB	41,152,390	26,279,610	22,585	14,872,780
MAR	41,614,630	29,154,550	26,151	12,460,080
ABR	29,871,760	29,235,420	23,153	636,340
MAY	33,382,690	35,110,900	27,323	-1,728,210
JUN	37,836,830	33,110,410	24,573	4,726,420

82. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENRGÍA TOTAL

<b>JUL</b>	31,874,400	33,012,542	26,737	-1,138,142
<b>AGO</b>	31,327,360	32,132,658	26,137	-805,298
<b>SEP</b>	34,432,220	29,695,010	23,579	4,737,210
<b>OCT</b>	28,953,574	32,132,745	25,986	-3,179,171
<b>NOV</b>	40,412,480			
<b>DIC</b>	36,300,000			
<b>TOTAL</b>	<b>426,197,454</b>	<b>310,442,023</b>	<b>251,888</b>	<b>3,249,149</b>

*Nota:* Se puede evidenciar que el mayor ahorro generado fue en la energía eléctrica, a pesar de que las variaciones en el ahorro son datos muy volátiles en los dos recursos de energía se pudo mantener un margen favorable, esto es en gran medida al aporte que se realizaron con los controles en las maquinarias y las correcciones hechas en el transcurso del proyecto.

### **14. Controlar**

Al cuarto mes del desarrollo de proyecto se debe realizar un plan de seguimiento para llevar el control de cada una de las zonas en las cuales se pretende mantener las mejoras, para tener un registro de los consumos tener el control sobre los posibles inconvenientes que se puedan presentar. En este plan de control se detalla la zona o departamento de trabajo, el tipo de importancia que tiene (variable “X” o “Y”), las especificaciones de medida de las variables (si bien pueden ser los Kilovatios consumidos, litros de bebida, metros cúbicos de gas, etc.), se tiene en cuenta el método de control que se maneja actualmente (como los formatos de los contadores, la plataforma de la empresa, los registros de rendimientos, etc.), se tuvieron en cuenta también un plan de medición y un plan de acción.

En el plan de medición se maneja la técnica de chequeo, la frecuencia y se asigna un trabajador para que haga las tomas. Y en el plan de acción se especifica la acción a tomar, el tiempo en el cual se realizará la corrección y el responsable de que se ejecute correctamente.

El documento del plan de control estará disponible en los anexos del presente proyecto.

## 84. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENRGÍA TOTAL

### **15. Lecciones aprendidas**

- Es importante seguir el proceso de cada etapa, registrar todas las evidencias de cada etapa y no avanzar si no se tiene certeza o claridad de la etapa anterior.
- En la metodología se generan propuestas para eliminar desperdicios en los procesos, al corregir las áreas de oportunidad detectadas en los análisis de la metodología se obtienen beneficios en las prioridades de la empresa.
- Es importante verificar periódicamente las condiciones de trabajo en planta, pues se evidenciaron consumos que no eran necesarios y generaban desperdicios.
- Fue posible aumentar el nivel de rendimiento total, y disminuir costos energéticos, contribuyendo también al medio ambiente.

## 85. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

### 16. Conclusiones

- Los análisis realizados gracias a la metodología Seis Sigma, junto con las herramientas utilizadas para este proyecto, fueron acertados y contribuyeron con la finalidad planteada, conociendo que a partir de estos análisis se derivaron las estrategias que se implementaron.
- Con la información obtenida y con la colaboración de los miembros del área de producción, mantenimiento y planta se identificaron las principales causas que generan el desperdicio de energía en las diferentes áreas tales como: Líneas de producción y la zona de maquinaria auxiliar.
- Gracias a la elaboración de las herramientas estadísticas se logró identificar que los puntos más críticos en los que se genera desperdicio de energía son los compresores y la caldera. Al conocer y analizar el proceso productivo de estos puntos se evidenció que estas zonas componen un 80% del consumo general de la planta en la producción de bebidas.
- De acuerdo con los análisis presentados en este estudio se llegó a la meta satisfactoriamente, obteniéndose en promedio valores de 2,88 Litros de bebida por mega julio (Lb/Mj) durante todos los meses que se desarrolló el proyecto, a excepción del mes de agosto; también se logró solucionar los percances presentado en las fugas de aire y los bancos de condensadores de la energía reactiva.
- Con respecto a los ahorros establecidos al inicio del proyecto, estos apunan a cumplirse hasta culminar el año, dado que los meses pendientes son los de mayor producción. En total se generó en total un ahorro aproximado de \$39'800.000 durante la aplicación del proyecto.

## 86. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENRGÍA TOTAL

- El desarrollo de este proyecto tiene un beneficio directo con el medio ambiente, lo cual tiene un impacto positivo en la disminución de emisión de gases y recursos como el agua y la electricidad.

## 87. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

### 17. Recomendaciones

- Se recomienda a la empresa que continúe con el control y el seguimiento continuo de los consumos de los recursos energéticos tenidos en cuenta en este proyecto.
- Se sugiere a los encargados de la empresa, mantener los documentos actualizados sobre las actividades del plan de control que se realicen a partir de los cambios y mejoras implementados.
- Se recomienda seguir con las capacitaciones de la cultura de ahorro al personal encargado de las líneas de producción y las máquinas auxiliares para mantener activa la formación del ahorro.
- Se sugiere que las herramientas aplicadas en este proyecto se acoplen a todos los ámbitos y zonas de la empresa.

## 88. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

### Referencias Bibliográficas

8 *Desperdicios en el Lean Manufacturing*. (n.d.). Production Tools. Retrieved November 18, 2021, from <https://productiontools.es/lean/desperdicios-en-el-lean-manufacturing/>

Arias, J. D., & Casas, S. (2016). *Implementación de la metodología seis sigma para aumentar la eficiencia en el uso de la energía eléctrica en la planta de Coca-Cola FEMSA Medellín*. Universidad EIA, Medellín.

Bernal, C. E. (2019). *Metodología DMAIC y productividad del proceso de distribución de combustibles líquidos en una estación distribuidora peca en el año 2018*. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Perú.

Bernardo, K., & Paredes, J. (2016). *Aplicación de la metodología six sigma para mejorar el proceso de registro de matrícula, en la universidad autónoma del Perú*. Universidad Autónoma del Perú.

*Energy Management System*. (n.d.). EMS-KOF. Retrieved October 7, 2021, from <https://www.ems-kof.com/>

Plataforma confidencial de la empresa.

ENERSAC Group Inc. (2019). *Penalización por energía reactiva en Colombia*. Enersac. Retrieved January 28, 2022, from <https://enersac.com/blog/penalizacion-energia-reactiva-colombia/>

FEMSA. (n.d.). *Nuestra Historia*. Retrieved December 13, 2021, from <https://www.femsa.com/es/acerca-de-femsa/nuestra-historia/>

## 89. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

García, J. A. (2013). *EL PROJECT CHARTER*. EOI - Escuela de Organización Industrial.

Retrieved November 18, 2021, from <https://www.eoi.es/blogs/madeon/2013/04/15/el-project-charter/>

*Historia Femsa*. (n.d.). Buenas Tareas. Retrieved December 3, 2021, from

<https://www.buenastareas.com/ensayos/Historia-Femsa/2896773.html>

Indutecmi S.A.S. (n.d.). *Información Empresas: Indutecmi S A S*. Directorio de Empresas -

Directorio de empresas en Colombia. Retrieved October 22, 2021, from

<https://www.informacolombia.com/directorio-empresas/informacion-empresa/indutecmi-ltda#:~:text=La%20actividad%20principal%20de%20Indutecmi,de%201.000.000.000%20COP%20.>

*Los parámetros de calidad críticos (CTQ)*. (n.d.). Innovando.Net. Retrieved January 15, 2022,

from <https://innovando.net/como-identificamos-a-nuestro-cliente-y-sus-parametros-de-calidad-criticos-ctq/>

*Método 5WIH: conceptos, aplicaciones y consejos*. (n.d.). Wondershare Edrawsoft. Retrieved

January 5, 2022, from <https://www.edrawsoft.com/es/business-diagram/5w1h-method.html>

Ministerio de Minas y Energía. (2020, October 19). *Comisión de regulación de energía y gas*

*Resolución N° 195 de 2020*. [Http://Apolo.Creg.Gov.Co/](http://Apolo.Creg.Gov.Co/). Retrieved January 28, 2022,

from

[http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/aca3a1823706552605258609006ebfe5/\\$FILE/Creg195-2020.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/aca3a1823706552605258609006ebfe5/$FILE/Creg195-2020.pdf)

## 90. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

*Misión, Visión y Valores.* (n.d.). Coca-Cola FEMSA. Retrieved November 18, 2021, from

<https://coca-colafemsa.com/acerca-de/somos-kof/mision-vision-y-valores/>

Pardo, A. (2019). *Propuesta de implementación del modelo six sigma para mejorar el proceso de manejo y control de desperdicios de materia prima en la empresa cartones América.* Universidad Católica de Colombia.

Pulido, G. H., & Salazar, D. R. L. V. (2013). *Control estadístico de la calidad y seis sigma (Spanish Edition)* (3rd ed.). McGraw-Hill Interamericana de España S.L.

*¿Qué es un Diagrama SIPOC y para qué sirve?* (n.d.). WEB y Empresas. Retrieved November 18, 2021, from [https://www.webyempresas.com/diagrama-sipoc/#%C2%BFPara\\_que\\_sirve\\_un\\_diagrama\\_SIPOC](https://www.webyempresas.com/diagrama-sipoc/#%C2%BFPara_que_sirve_un_diagrama_SIPOC)

Rodriguez, J. (2021, July 21). *Qué es el diagrama de Ishikawa y cómo aplicarlo en tus procesos.* HubSpot. Retrieved January 20, 2022, from <https://blog.hubspot.es/sales/diagrama-ishikawa>

Ruiz, M. (2019). *Qué es KPI, qué significa y para qué sirve-Indicadores de gestión.* Milagrosruizbarroeta. Retrieved November 18, 2021, from [https://milagrosruizbarroeta.com/que-es-kpi-que-significa-y-para-que-sirve-indicadores-de-gestion-ejemplos/#EL\\_Kpi\\_%C2%BFQue\\_es](https://milagrosruizbarroeta.com/que-es-kpi-que-significa-y-para-que-sirve-indicadores-de-gestion-ejemplos/#EL_Kpi_%C2%BFQue_es)

Rus, E. (n.d.). *Diagrama de Pareto.* Economipedia. Retrieved January 20, 2022, from <https://economipedia.com/definiciones/diagrama-de-pareto.html>

*Valores de una Empresa.* (n.d.). Numdea. Retrieved December 20, 2021, from <https://numdea.com/valores-de-una-empresa.html>

## 91. ANÁLISIS SEIS SIGMA AL RENDIMIENTO DE ENERGÍA TOTAL

van der Lingen, D. (2021, July 21). *DMAIC como la herramienta para resolver problemas*.

TRACC Solution. Retrieved December 26, 2021, from

<https://traccsolution.com/es/blog/resolucion-problemas-dmaic/>

*WUR: Cociente de la utilización del trabajo*. (n.d.). Abbreviation Finder. Retrieved January 19,

2022, from [https://www.abbreviationfinder.org/es/acronyms/wur\\_work-utilization-](https://www.abbreviationfinder.org/es/acronyms/wur_work-utilization-ratio.html)

[ratio.html](https://www.abbreviationfinder.org/es/acronyms/wur_work-utilization-ratio.html)