

**DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA QUE AUTOMATICE LA ETAPA DE  
REVISIÓN ENERGÉTICA, PARA EL CENTRO PEVI UNAB, BASADA EN LA  
ISO 50001 2018**

**JOSE ESTALIN MUÑOZ SIERRA  
STIVEN ALEXIS VILLAFRADES SERRANO**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
BUCARAMANGA SANTANDER  
2020**

**DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA QUE AUTOMATICE LA ETAPA DE  
REVISIÓN ENERGÉTICA, PARA EL CENTRO PEVI UNAB, BASADA EN LA  
ISO 50001 2018**

**JOSE ESTALIN MUÑOZ SIERRA  
STIVEN ALEXIS VILLAFRADES SERRANO**

**TRABAJO DE GRADO DE INGENIERIA EN ENERGIA**

**DIRECTOR**

**PhD. LEONARDO ESTEBAN PACHECO SANDOVAL**

**CO-DIRECTOR**

**PhD. LUIS SEBASTIAN MENDOZA CASTELLANOS**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**BUCARAMANGA SANTANDER**

**2020**

NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

Firma Director de Proyecto de Grado

---

Firma Codirector de Proyecto de Grado

---

Firma Evaluador

---

Firma Evaluador

## CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	9
2. JUSTIFICACIÓN .....	10
3. ALCANCES.....	11
4. LIMITACIONES.....	12
5. MARCO REFERENCIAL .....	13
5.1 MARCO TEÓRICO.....	13
5.1.1 DEFINICIONES .....	13
5.2 ESTANDAR ISO 50001 .....	15
5.3 NORMAS ISO .....	16
5.4 SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA: NTC-ISO 50001 .....	17
5.4.1 ESTRUCTURA DE CICLO MEJORAMIENTO CONTINUO.....	17
5.4.2. REQUISITOS GENERALES ETAPA DE PLANEACIÓN.....	19
5.4.3 BENEFICIOS DE UN ISTEMA DE GESTION ENERGETICA.....	19
5.5 REVISIÓN ENERGÉTICA.....	20
5.5.1 LÍNEA DE BASE ENERGÉTICA.....	21
5.6 MACROS Y VISUAL BASIC.....	21
6. OBJETIVOS.....	22
6.1 OBJETIVO GENERAL.....	22
6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
7. METODOLOGÍA.....	23
8. DESARROLLO.....	24
8.1 PRIMERA ETAPA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	24
8.1.2 INFORMACIÓN GENERAL DE CANTIDAD.....	24
8.1.3 SELECCIÓN DE UNIDADES Y CONVERSIÓN.....	25
8.2 PRODUCCIÓN EQUIVALENTE.....	30
8.3 DEPURACIÓN DE DATOS.....	32
8.4 CÁLCULOS DE INDICADORES Y GRÁFICOS CORRESPONDIENTES DEL ESTUDIO.....	39
8.4.1 DIAGRAMA DE PARETO.....	39
8.4.2 LÍNEA BASE Y LÍNEA META.....	42
8.4.3 PRODUCCIÓN CRÍTICA.....	44
8.5 ELABORACIÓN DE INFORME BÁSICO.....	45
8.6 TUTORIAL PARA EL MANEJO DE LA HERRAMIENTA.....	46
9.VERIFICACION DE RESULTADOS CON LA HERRAMIENTA.....	49
10. CONCLUSIONES.....	54
11. BIBLIOGRAFÍA.....	55
12. ANEXOS.....	56

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Estándar ISO 50001.....	16
Figura 2 Diagrama de flujo conversión de unidades.....	25
Figura 3 Formulario de ingreso de datos preliminares.....	30
Figura 4 Distribución de Chevyshev.....	33
Figura 5 Diagrama de flujo depuración de datos.....	35
Figura 6 Diagrama variación del indicador de consumo.....	37
Figura 7 Diagrama indicador de eficiencia base 100.....	38
Figura 8 Indicador grafico de tendencia o sumas acumulativas CUSUM.....	39
Figura 9 Ejemplo diagrama de Pareto.....	40
Figura 10 Ejemplo de energía-producción obtenido con la herramienta.....	41
Figura 11 Ejemplo de grafico IDEn-Produccion vs periodo.....	42
Figura 12 Ejemplo línea base, línea meta y línea meta promedio obtenida con la herramienta.....	43
Figura 13 Ejemplo de grafico producción critica.....	44
Figura 14 Ventana de comandos de programación y ejemplo del informe generado.....	45
Figura 15 Visualización del botón llenar datos y ventana emergente.....	47
Figura 16 Ejemplo de la tabla generada por la herramienta.....	47
Figura 17 Visualización del botón calcular datos.....	47
Figura 18 Tabla de máximos y mínimos.....	48
Figura 19 Botón graficar y ver gráficas.....	48
Figura 20. Comparación de datos obtenidos con la herramienta.....	49
Figura 21. Comparación de Indicadores energéticos.....	50
Figura 22. Parámetros de la ecuación de la línea de base y línea meta.....	51
Figura 23. Comparativos de los usos significativos de la energía.....	52
Figura 24. Seccion de proyección de datos.....	53

## ACRÓNIMOS Y SIGLAS

VBA	Visual Basic para Aplicaciones
IDEn	Indicador(es) de desempeño energético(s)
UPME	Unidad de Planeación Minero Energética
KWh	Kilowatt-hora
LBE <sub>n</sub>	Línea(s) de base energética(s)
ONUDI	Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial
PHVA	Planear-Hacer-Verificar-Actuar
SGE	Sistema de gestión de la energía
USE	Uso(s) significativo(s) de energía

## **RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO**

**TÍTULO:** Desarrollo de una herramienta que automatice la etapa de revisión energética, para el centro PEVI UNAB, basada en la ISO 50001 2018

**AUTOR:** Jose Estalin Muñoz- Steven Alexis Villafrades

**FACULTAD:** Facultad de Ingenierías

**DIRECTOR:** Leonardo Esteban Pacheco

### **RESUMEN**

Este proyecto de grado, propone desarrollar una herramienta metodológica con lenguaje VBA implementando la licencia de Microsoft Excel. El sistema de gestión energética consta de varias etapas, tales como: planear, hacer, verificar y actuar, esta herramienta de cálculo, se concentrará en el desarrollo de la etapa de caracterización energética y definición de indicadores de desempeño a través de la implementación de la norma ISO 50001. Fue necesario estudiar la caracterización energética e identificar los cálculos correspondientes para obtener los usos significativos de energía, obteniendo así, la línea de base energética, los objetivos, metas, gráficos e indicadores que el usuario requiera para presentar un estudio básico. En conclusión, la herramienta es una ayuda en el proceso de revisión energética, para usuarios que estén iniciando con los estudios de un sistema de gestión energética en cualquier entidad manufacturera.

**Palabras claves:** Macro, eficiencia, gestión energética, revisión energética

## **ABSTRACT**

This degree project proposes to develop a methodological tool, with VBA language implementing the Microsoft Excel license. The energy management system consists of several stages, such as: plan, do, verify and act, this calculation tool, it will focus on the development of the energy characterization stage and definition of performance indicators, through the implementation of the ISO 50001 standard. It was necessary to study the energy characterization and identify the corresponding calculations to obtain the significant uses of energy, with this obtaining the energy baseline, the objectives, goals, graphs and indicators that the user requires to present a basic study. In conclusion, the tool is an aid in the energy review process, for users who are starting with the studies of an energy management system in any manufacturing entity.

**KEYWORDS:** Macro, efficiency, energy management, energy review

## 1. INTRODUCCIÓN

En Colombia el consumo de energía eléctrica aumenta acorde con la población, según la UPME en su informe del 2017 se encuentra ubicado en el octavo puesto respecto a las economías latinoamericanas más representativas, con un consumo per cápita de 1.137 kWh, generando anualmente 226.263 kgCO<sub>2</sub> al año por persona [1]. Por esto, por parte de la UPME, ONUDI, Ministerios de Minas y Energía, decidieron promover la cultura y la eficiencia energética en el sector industrial del país. Con el propósito de que las empresas adopten e inicien la implementación de sistemas de gestión energética, adopción de nuevas tecnologías y culturización energética, lo que conlleva a las mejores prácticas y hábitos de consumos eficientes.

Desarrollar una herramienta que automatice los procesos en la etapa de revisión energética puede ayudar a que los requerimientos que presenta la estándar ISO 50001 [2] en la etapa de planeación, sean más versátiles para usuarios que están promoviendo y analizando SGE en alguna entidad manufacturera. Este proyecto se realiza para demostrar que con la herramienta informática Microsoft Excel, comúnmente usada en el análisis de datos, y la programación de macros en lenguaje VBA, se puede crear una interfaz practica para estudios de revisión y análisis de datos de SGE implementados por el centro PEVI UNAB.

En la elaboración de la herramienta se efectuaron 4 fases de programación con macros en lenguaje VBA. La primera etapa es la de adquisición de datos, donde el usuario define parámetros de entrada para posteriormente crear la tabla de trabajo y revisión. En la segunda fase se programó el algoritmo para la depuración de datos con complementos estadísticos de Microsoft Excel y el teorema de mínimos y máximos [8]. La tercera parte de la programación es la de obtención de indicadores y sus respectivos gráficos comparativos. Por último, se asignó una macro con instrucciones para la creación del informe básico propuesto.

Dado que Microsoft Excel posee algunas limitaciones en la programación, la herramienta puede realizar cálculos de cierta cantidad de producciones y por el momento maneja los energéticos comúnmente usados por entidades manufactureras. En conclusión, la herramienta puede ser ejecutada en el centro PEVI UNAB como primera versión para los análisis de la etapa de revisión energética, y se deja como referencia para nuevos cambios y versiones si es necesario.

## 2. JUSTIFICACIÓN

Debido al convenio que realizó la UNAB con la ONUDI para ejecutar el programa de evaluación industrial, surge la necesidad de automatizar los procesos de eficiencia energética para el centro PEVI. Por consiguiente, la propuesta es desarrollar una herramienta en uno de los programas de visualización y análisis de datos, Microsoft Excel, basado en los conocimientos obtenidos durante la etapa universitaria, la norma ISO 50001 y el uso racional y eficiente de la energía.

En este sentido, el presente crecimiento económico y las necesidades de diferenciación en las organizaciones han dirigido a que inicien a llevar procesos de certificación que evidencian distintos compromisos con aspectos sensibles hoy en día. Generalmente, tales aspectos están encaminados al medio ambiente, calidad de los procesos y el uso de la energía. Así, al tener las empresas a la vanguardia se brinda un status organizacional que brinda mayor aceptación, confiabilidad y seguridad por parte de la sociedad.

En consecuencia, con estas metas y la necesidad de potencializar el crecimiento económico del sector industrial, se ve completamente necesario el desarrollo de un sistema de gestión de la energía acorde a los requerimientos de la Norma NTC-ISO 50001, con el fin de una reducción de costos y creación de un estatus competitivo que brinde calidad a los productos fabricados y servicios prestados.

De esta forma, para poder ejecutar un sistema de gestión de la energía es importante tener una base sólida y adecuada en la etapa de revisión, en donde los evaluadores puedan diagnosticar los alcances en las diferentes organizaciones en un tiempo módico. Así, todo esto es posible gracias a la implementación de herramientas tecnológicas racionales y de cálculos.

### **3. ALCANCES**

Los alcances del siguiente proyecto son las siguientes:

- Diseñar una herramienta funcional para la automatización del proceso de evaluación de eficiencia energética del centro PEVI UNAB.
- Formular metodologías de medición para evaluar el potencial de ahorro en los diferentes procesos.
- Hacer la estandarización de un informe básico que presente los estudios de oportunidades de mejora.

## 4. LIMITACIONES

Las limitaciones del presente proyecto se pueden dar en términos de:

1. La herramienta solo servirá para entidades manufactureras las cuales tienen un producto o varios definidos para su posterior análisis. Por lo tanto, entidades que sean prestadoras de servicios en donde no haya una cantidad específica de producción, no será posible la realización del análisis con la herramienta.
2. La implementación de la herramienta solo será posible para empresas que tengan como máximo cuatro energéticos primarios en su matriz: electricidad, carbón, gas y Diesel. No será posible el análisis para otros energéticos diferentes a estos.
3. En el proceso de trabajo con la herramienta se debe operar en unidades internacionales, a excepción del Diesel que tiene la posibilidad de trabajar en galones. Esto dado que para los energéticos escogidos son las unidades más comunes en los procesos industriales colombianos.
4. No se pueden realizar diagramas de Sankey, procesos, entre otros necesarios para la revisión energética dado que estos son muy específicos y la herramienta está programada de manera general.
5. El estudio solo es posible con máximo 15 producciones porque el complemento de análisis de datos en Excel trabaja con este valor. Por la misma razón, si hay más datos no será posible ejecutar los procesos de producción equivalente en la herramienta.
6. Una vez realizado el informe de resultados, la edición del mismo dependerá de alguna aplicación externa (aplicaciones de conversión de textos), porque el informe final se guarda en formato "pdf".

## 5. MARCO REFERENCIAL

### 5.1 MARCO TEÓRICO

Dado que el estudio de este proyecto está orientado a la disminución de los procesos y automatización en conjunto con la herramienta computacional Ms. Excel, a continuación, se presentan frases básicas que se emplearán a lo largo de la investigación y permitirá entender el contexto del tema:

#### 5.1.1 DEFINICIONES

Según la norma NTC ISO-50001 [2] y el libro Excel 2019 Power Programming With VBA [3], estos son algunos conceptos a tener en cuenta para un sistema de gestión energética:

**Aplicación:** Es un programa informático diseñado para dar soporte computacional a los usuarios del mismo.

**Complementos:** Son herramientas informáticas diseñadas para que funcionen complementariamente con la aplicación de Ms. Excel.

**Formulario:** Es básicamente un panel donde se restringe y facilita el ingreso y visualización de información.

**Función VBA:** Es una subrutina entre la cual se escribirá un bloque de instrucciones cuyo resultante refleja como resultado un dato.

**Macro:** Es el resultado de una grabación automática de código VBA de una secuencia de pasos metódicamente planificados.

**Método:** Los métodos definen la función, capacidad y diseño de los objetos.

**Microsoft Excel (Ms Excel):** Es una de las aplicaciones de Ms Office, se categoriza como un libro de cálculo cuyos objetos principales son las hojas, rangos y formularios, siendo las tablas dinámicas su herramienta estandarte.

**Programación:** Es la codificación algorítmica informática que se realiza manualmente dentro de una subrutina.

**Software:** Es un programa informático que puede agrupar un conjunto de aplicaciones y no necesariamente interactúa directamente con el usuario.

**Visual Basic para Aplicaciones (VBA):** Es el lenguaje de programación que por defecto viene en la mayoría de las aplicaciones del paquete ofimático de Ms. Permitiendo automatizar a nuestro beneficio múltiples tareas, ya que de otra

forma se tendría que realizar manualmente macros; puesto que, en la programación manual se utilizan para codificar algoritmo en VBA.

**Indicador de control:** Aquel indicador que es medible. Relaciona 2 o más parámetros con una correlación significativa.

**Uso significativo de la energía:** Uso de la energía que ocasiona un consumo sustancial de energía y/o que ofrece un potencial considerable para la mejora del desempeño energético.

**Desempeño energético:** Resultados medibles relacionados con la eficiencia energética, el uso y consumo de la energía.

- **NOTA 1:** En el contexto de los sistemas de gestión de la energía los resultados se pueden medir respecto a la política, objetivos y metas energéticas y a otros requisitos de desempeño energético.
- **NOTA 2:** El desempeño energético es uno de los componentes del desempeño de un sistema de gestión de la energía.

**Eficiencia energética:** Proporción u otra relación cuantitativa entre el resultado en términos de desempeño, de servicios, de bienes o de energía y la entrada de energía [4].

**Energía:** La física básica define a la Energía como la capacidad de realizar un trabajo. En economía y a nivel social, la energía es ante todo un bien muy especial, irremplazable para lograr el bienestar personal y aún más indispensable para desarrollar la actividad económica y mantener e incrementar la competitividad de un país, una región, un continente o el mundo entero. Todo proceso productivo para generar un producto o servicio, requiere ser evaluado mediante balances de masa y Energía, para determinar la eficiencia en las transformaciones tanto de masa como Energía. Los indicadores de eficiencia son fundamentales para determinar las estrategias viables de suministro de energía, los costos de producción, entre otros.

**Caracterización energética:** Procedimiento de análisis cualitativo y cuantitativo que permite evaluar la eficiencia con que la empresa administra y usa la energía en su proceso productivo. Esto permite evaluar la situación energética actual; determinando las anomalías presentadas en cuanto al consumo energético real y los focos de desperdicio energético [4].

**Consumo de energía:** Cantidad de energía utilizada en una unidad de tiempo dada.

**Criterio de control:** Es el rango o especificación en que puede moverse un parámetro de control para mantener la eficiencia del uso significativo de energía.

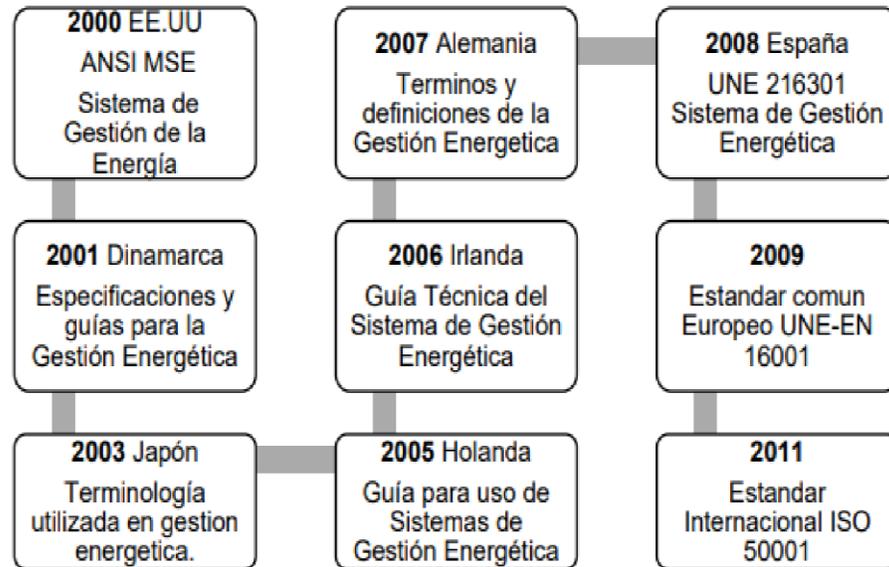
## **5.2 ESTÁNDAR ISO 50001**

En 1970 con la crisis del petróleo nace la necesidad de una gestión de la producción y compra de energía, una mejora en los servicios energéticos y la conservación de los mismos. Pero es en el año 1988 en donde las industrias comienzan a desarrollar e implementar programas de eficiencia energética en sus organizaciones, sin tener una guía estandarizada. Es así como en los años 1990 y 1992 surgen dos programas de Gestión Energética enfocados en la evaluación financiera de proyectos y una guía para definición y análisis de ahorros de energía y costos; AS3595 y AS3596 respectivamente.

Respecto a lo anterior, en el año 1995 surgen varias guías de gestión energética en industrias en Estados Unidos, Canadá y China; la ANSI 739, Guía Plus 1140 y la Guía GB/T 15587 respectivamente. Es así como se da la introducción a los sistemas de gestión energéticos a nivel mundial. Es así como en el año 1999 se genera la importancia de la gestión en el uso final de la energía con el fin de maximizar ganancias y ser más competitivos. [4]

A partir de la cronología descrita anteriormente, surgen diferentes guías mundialmente reconocidas y adoptadas. En la Figura 1 se reconstruye cronológicamente dichos aspectos.

Figura 1 Estándar ISO 50001



Fuente: Camacho, Hugo (2017) (4)

### 5.3 NORMAS ISO

ISO es la Organización Internacional para la Estandarización establecida desde 1947, es una organización no gubernamental integrada por cuerpos de estandarización nacionales de 153 países, uno por cada país. [5] Lo que buscan las Normas ISO, es que mediante documentos se especifiquen requerimientos para ejecutar sistemas de gestión con el fin de mantener un orden, los cuales pueden ser empleados en organizaciones para garantizar que los productos y/o servicios ofrecidos por dichas organizaciones cumplen con su objetivo de una manera estándar, con el fin de brindar unificación de criterios y orden [5].

Implementar Normas ISO ofrece ventajas para las organizaciones y consumidores, como lo son [5]:

- Reducción de costos
- Incremento en la satisfacción del cliente
- Abrir el acceso a nuevos mercados
- Mayor calidad en los productos y/o servicios
- Incremento de competitividad

## **5.4 SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA: NTC-ISO 50001**

De acuerdo a la Norma Técnica Colombia ISO 50001, un Sistema de Gestión de la Energía es definido como un “conjunto de elementos interrelacionados mutuamente o que interactúan para establecer una política y objetivos energéticos, y los procesos y procedimientos necesarios para alcanzar dichos objetivos” [6]

La aplicación de la NTC-ISO 50001 según [2] permite facilitar a las organizaciones establecer los sistemas y procesos necesarios para mejorar su desempeño energético, incluyendo la eficiencia energética, el uso y el consumo de la energía. El objetivo principal de esta norma se centra en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, impactos ambientales relacionados a la generación de energía eléctrica, beneficiándose por la implementación del sistema de gestión energético en la reducción de los costos de la energía. Cabe resaltar que la aplicación de esta norma no depende del tipo y tamaño de la organización, de sus condiciones geográficas, culturales o sociales.

La Norma Técnica Colombia ISO 50001, es clara en cuanto a los requisitos del SGE, a partir del cual la organización puede desarrollar e implementar una política energética y establecer objetivos, metas, y planes de acción que tengan en cuenta los requisitos legales y la información relacionada con el uso significativo de la energía. La Norma Técnica Colombia ISO 50001, está basada en el ciclo de mejora continua, que es mostrada en la figura 2. El ciclo está estructurado de tal manera que la organización tenga un orden específico en las etapas de Planificar, Verificar y Actuar (PHVA), incorporando un modelo de buenas prácticas en la organización. El éxito del SGE, depende del compromiso que preste la organización iniciando desde la alta gerencia con la política energética, hasta el personal operativo con las buenas prácticas operacionales; es importante que toda la empresa se encuentre comprometida a mejorar la cultura energética [2].

### **5.4.1 ESTRUCTURA DEL CICLO DE MEJORAMIENTO CONTINUO**

Esta herramienta tiene como fin mejorar la calidad y gestionar las actividades de la empresa con el objetivo de una mejora continua. Para la NTC-ISO 50001:2018, se basa y toma el ciclo de mejora continua PHVA incorporando la gestión de la energía a las prácticas habituales de la organización [4]. A continuación, el significado que tiene para la norma las cuatro fases del proceso:

### **PLAN (planificar):**

En esta fase se trabaja en la identificación del problema o actividades susceptibles de mejora, se establecen los objetivos a alcanzar, se fijan los indicadores de control y se definen los métodos o herramientas para conseguir los objetivos establecidos. Una forma de identificar estas mejoras puede ser realizando grupos de trabajo o bien buscar nuevas tecnologías o herramientas que puedan aplicarse a los procesos actuales. Para detectar tecnologías o herramientas a veces es conveniente fijarse en otros sectores, esto aporta una visión diferente, pero muchas de las soluciones pueden aplicarse a más de un sector.

### **DO (hacer/ejecutar):**

Llega el momento de llevar a cabo el plan de acción, mediante la correcta realización de las tareas planificadas, la aplicación controlada del plan y la verificación y obtención del feedback necesario para el posterior análisis. En numerosas ocasiones conviene realizar una prueba piloto para probar el funcionamiento antes de realizar los cambios a gran escala. La selección del piloto debe realizarse teniendo en cuenta que sea suficientemente representativo, pero sin que suponga un riesgo excesivo para la organización.

### **CHECK (comprobar/verificar):**

Una vez implantada la mejora se comprueban los logros obtenidos en relación a las metas u objetivos que se marcaron en la primera fase del ciclo mediante herramientas de control (Diagrama de Pareto, Check lists, KPIs, etc.) Para evitar subjetividades, es conveniente definir previamente cuáles van a ser las herramientas de control y los criterios para decidir si la prueba ha funcionado o no.

### **ACT (actuar):**

Por último, tras comparar el resultado obtenido con el objetivo marcado inicialmente, es el momento de realizar acciones correctivas y preventivas que permitan mejorar los puntos o áreas de mejora, así como extender y aprovechar los aprendizajes y experiencias adquiridas a otros casos, y estandarizar y consolidar metodologías efectivas. En el caso de que se haya realizado una prueba piloto, si los resultados son satisfactorios, se implantará la mejora de forma definitiva, y si no lo son habrá que decidir si realizar cambios para ajustar los resultados sin desecharla. Una vez finalizado, se debe volver al primer paso periódicamente para estudiar nuevas mejoras a implantar.

### 5.4.2 REQUISITOS GENERALES ETAPA DE PLANEACIÓN

De acuerdo con la norma NTC-ISO 50001, es necesario cumplir los requisitos que permitan cumplir con los lineamientos para la construcción de un Sistema de Gestión Energética. La tabla 1, presenta los requisitos necesarios para ejecutar la etapa de planeación y sirven como base para la elaboración de la herramienta de cálculo que permita a través de la metodología propuesta el uso y la organización de los datos de entrada y salida [2]. Por esta razón es de vital importancia conocer a fondo lo que norma NTC-ISO 50001 exige para que así la herramienta pueda realizar un proceso de cálculo idóneo que sirva en el momento de planear el sistema de gestión energética.

Tabla 1 Requisitos NTC ISO 50001 etapa de planeación.

ETAPA DE PLANEACIÓN	REQUISITOS SEGÚN LA NTC-ISO 50001
REQUISITOS GENERALES	RESPONSABILIDAD DE LA GERENCIA
	ALTA GERENCIA
	REPRESENTANTE DE LA DIRECCIÓN
	POLÍTICA ENERGÉTICA
PLANEAR	PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA
	REQUISITOS LEGALES
	REVISIÓN ENERGÉTICA
	INDICADORES DE DESEMPEÑO
	OBJETIVOS, BASES Y METAS ENERGÉTICAS

Fuente: Elaboración Propia.

### 5.4.3 BENEFICIOS DE UN SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA.

Existen diferentes beneficios que obtienen las organizaciones que buscan implementar un SGE [4]. Los beneficios obtenidos en las empresas que implementan un sistema de gestión energética son:

- Mejoramiento de los procesos productivos.
- Contrae una responsabilidad social dado que el SGEEn también incluye las emisiones que se podrían estar evitando.
- Tener un uso eficiente de las fuentes energéticas que utiliza la entidad.
- Mejora de la productividad y competitividad de la empresa en el mercado por motivos de sus ahorros propuestos.

La herramienta toma como base algunos de estos beneficios que conlleva tener un sistema de gestión energética según la norma NTC-ISO 50001 para que de esta forma la entidad tenga una mejor visión general acerca del rendimiento de sus procesos.

## **5.5 REVISIÓN ENERGÉTICA**

Inicialmente, la organización debe desarrollar, registrar y mantener una metodología específica (decidida por el evaluador que la esté realizando) para la revisión energética. La metodología y los criterios seleccionados por la entidad para desarrollar la revisión energética deben estar documentados. En este sentido, para desarrollar la revisión energética, la organización debe [2]:

a) Analizar el uso y el consumo de la energía basándose en mediciones y otro tipo de datos, es decir:

- Identificar las fuentes de energía actuales;
- Evaluar el uso y consumo pasados y presentes de la energía;

b) Identificar las áreas de uso significativo de la energía, análisis del uso y el consumo de la energía, Identificar las áreas de uso significativo de la energía, es decir:

- Identificar las instalaciones, equipamiento, sistemas, procesos y personal que trabaja para, o en nombre de, la organización que afecten significativamente al uso y al consumo de la energía;
- Identificar otras variables pertinentes que afectan a los usos significativos de la energía;
- Determinar el desempeño energético actual de las instalaciones, equipamiento, sistemas y procesos relacionados con el uso significativo de la energía;
- Estimar el uso y consumo futuros de energía; para que a medida que vaya teniendo los datos reales verificar si las metas propuestas se están cumpliendo o no.

c) Identificar, priorizar y registrar oportunidades para mejorar el desempeño energético.

NOTA: Las oportunidades pueden tener relación con fuentes potenciales de energía, la utilización de energía renovable u otras fuentes de energía alternativas tales como la energía desperdiciada.

La revisión energética debe ser actualizada a intervalos definidos, así como en respuesta a cambios mayores en las instalaciones, equipamiento, sistemas o procesos.

### **5.5.1 LÍNEA DE BASE ENERGÉTICA**

La organización debe establecer una(s) línea(s) de base energética utilizando la información de la revisión energética inicial y considerando un período para la recolección de datos adecuado al uso y al consumo de energía de la organización. Los cambios en el desempeño energético deben medirse en relación a la línea de base energética [2].

Deben realizarse ajustes en la(s) línea(s) de base cuando se den una o más de las siguientes situaciones:

- Los IDEns ya no reflejan el consumo de energía de la organización.
- Se hayan realizado cambios importantes en los procesos, patrones de operación, o sistemas de energía.

### **5.6 MACROS Y VISUAL BASIC**

Las denominadas macros, que se traducirían del inglés como “instrucciones”, registran una secuencia de comandos para que puedan ser ejecutadas automáticamente por el usuario en un determinado momento, convirtiéndose así en un elemento de apoyo más que bien recibido [8].

El conjunto de aplicaciones de Office tiene un conjunto muy completo de características. Puesto que hay muchas formas diferentes de crear, manipular y dar formato a documentos, correos electrónicos, bases de datos, formularios, hojas de cálculo y presentaciones. La ventaja de la programación de VBA de Office es que casi todas las operaciones que puede realizar con un ratón, teclado o cuadro de diálogo también pueden hacerse mediante VBA. Además, si se puede realizar una vez con VBA, puede hacerse cien veces más con la misma facilidad. (De hecho, la automatización de tareas repetitivas es uno de los usos más comunes de VBA de Office) [8].

## **6. OBJETIVOS**

### **6.1 OBJETIVO GENERAL**

- Desarrollar una herramienta que permita automatizar los procedimientos para la evaluación industrial del centro PEVI UNAB, en la etapa de revisión energética.

### **6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Desarrollar una herramienta que permita reducir el tiempo en la etapa de revisión energética y ayude en la interacción con el usuario según lo que demande.
- Generar un informe básico que presente los resultados de la etapa de revisión energética.
- Permitir un seguimiento de los datos pronosticados y ajustes a nuevas variaciones.

## 7. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para la realización de este proyecto, fue basada en los requerimientos de la norma NTC ISO 50001 para la etapa de revisión energética y la secuencia de programación en el editor de Visual Basic de Microsoft Office de la siguiente manera:

- FASE 1**
  - Información y caracterización de la organización.
  - Implementación de las variables de entrada.
  - Definición de parámetros y magnitudes de los procesos.
  - Conversión de unidades de entrada a las de salida, definidas por el usuario.
  
- FASE 2**
  - Adquisición de datos y organización de los mismos.
  - Formulación de las variables estadísticas para la depuración.
  - Depuración de datos por métodos estadísticos, según requerimientos del usuario.
  - Obtención de los diferentes indicadores propuestos.
  
- FASE 3**
  - Construcción de gráficas para cada indicador.
  - Determinación de las líneas base y meta.
  - Generación de informe.

## **8. DESARROLLO**

Para el desarrollo de la herramienta se llevó a cabo una secuencia de programación según la metodología planteada anteriormente. Donde por medio de macros en lenguaje VBA, donde el usuario puede ejecutar de manera ordenada los comandos y directrices para automatizar la etapa de caracterización energética, obtener los diferentes indicadores de desempeño y generar un informe básico del estudio.

### **8.1 PRIMERA ETAPA DE ADQUISICIÓN DE DATOS**

En la primera etapa se usa la herramienta de programación de macros en Microsoft Excel y se comienza con los primeros datos de ingreso por el usuario. Mediante estos ingresos la herramienta puede realizar los cálculos indicados en las macros que están grabadas en su memoria.

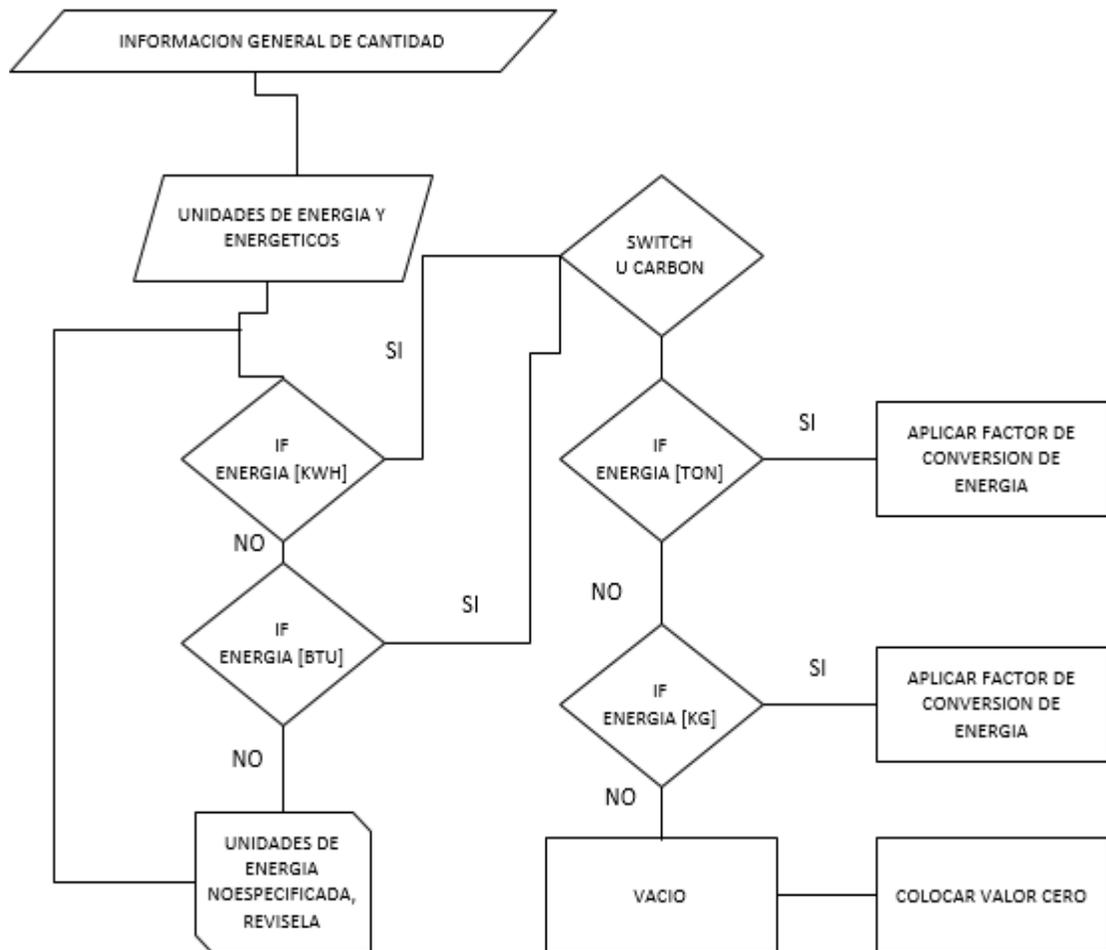
#### **8.1.2 INFORMACIÓN GENERAL DE CANTIDAD**

En la primera interacción del usuario con la herramienta, se presenta una pequeña tabla para definir información básica de la empresa y los usos significativos de energía en la misma.

Estos datos proporcionados por el usuario según parámetros de programación, podrán elegir ciertas unidades para la comodidad de trabajo durante todo el proceso de la etapa de revisión energética.

la herramienta recibe los datos de unidades de energía como se muestra en la figura 4, con estos datos se realizan unos condicionales para verificar las unidades de energía final para trabajar en la herramienta. seguido a esto para cada uno de los energéticos se debe revisar cuales son las unidades de entrada de los datos que son escogidas por el usuario al inicio del programa. posteriormente, a haber ingresado los valores de cantidad en cada uno de los energéticos se aplica el factor de conversión programado en la macro para cada uno y así tener todos los valores en las mismas unidades para poder realizar las correspondientes operaciones.

Figura 2 Diagrama de flujo conversión de unidades



Fuente: Elaboración propia

### 8.1.3 SELECCIÓN DE UNIDADES Y CONVERSIÓN

Inicialmente se debe escoger las unidades de los energéticos en las cuales los datos van a ser ingresados, además de las unidades de energía en las cuales va a trabajar todos los procesos.

A continuación, se realiza una condición para verificar en qué unidades está la energía con la cual el proceso de revisión va a ser llevado a cabo (kWh o BTU). en cada una de las condiciones se trabaja con “cases” para los energéticos en los cuales se requiere realizar una conversión.

- Combustible sólido: en el caso de que la entidad utilice energía producida por este combustible se revisa la unidad final de energía escogida para aplicar el

factor de conversión correspondiente, se toma como base para la validación y diseño de la herramienta el carbón.

1. si la energía fina está en kWh y el carbón ingresa en toneladas:

$$E_c = X * 1000 * PCc * 1/3600 \quad (1)$$

Donde:

$E_c$  = Energía asociada al carbón [kWh o BTU]

$X$  = Cantidad de energético ingresado [kg o Ton]

$PCc$  = Poder calorífico del carbón en [kJ/kg]

2. si la energía fina está en kWh y el carbón ingresa en kilogramos:

$$E_c = X * PCc * 1/3600 \quad (2)$$

Donde:

$E_c$  = Energía asociada al carbón [kWh o BTU]

$X$  = Cantidad de energético ingresado [kg o Ton]

$PCc$  = Poder calorífico del carbón en [kJ/kg]

3. si la energía fina está en BTU y el carbón ingresa en toneladas:

$$E_c = X * PCc * 1000 * 1/3600 * 3412.14 \quad (3)$$

Donde:

$E_c$  = Energía asociada al carbón [kWh o BTU]

$X$  = Cantidad de energético ingresado [kg o Ton]

$PCc$  = Poder calorífico del carbón en [kJ/kg]

4. si la energía fina está en BTU y el carbón ingresa en kilogramos:

$$E_c = X * PCc * 1/3600 * 3412.14 \quad (4)$$

Donde:

$E_c$  = Energía asociada al carbón [kWh o BTU]

$X$  = Cantidad de energético ingresado [kg o Ton]

$PC_c$  = Poder calorífico del carbón en [kJ/kg]

- Combustible líquido: se revisa la unidad final de energía y la unidad en la que vaya a ser ingresado el energético para después aplicar el correspondiente factor de conversión, se toma como base para la validación y diseño de la herramienta el Diesel.

1. si la energía fina está en kWh y el Diesel ingresa en litros:

$$E_{fo} = X * \rho * PC_{fo} * (1/3600) \quad (5)$$

Donde:

$E_{fo}$  = Energía asociada al Diesel [kWh o BTU]

$X$  = Cantidad de energético ingresado [Lt o Gal]

$PC_{fo}$  = Poder calorífico del Diesel en [kJ/kg]

$\rho$  = Densidad específica del Diesel[kg/Lt]

2. si la energía fina está en kWh y el Diesel ingresa en galones:

$$E_{fo} = X * PC_{fo} * \rho * (1/3600) * (1/264.17) * (1/0.001) \quad (6)$$

Donde:

$E_{fo}$  = Energía asociada al Diesel [kWh o BTU]

$X$  = Cantidad de energético ingresado [Lt o Gal]

$PC_{fo}$  = Poder calorífico del Diesel en [kJ/kg]

$\rho$  = Densidad específica del Diesel [kg/Lt]

3. si la energía fina está en BTU y el Diesel ingresa en litros:

$$Efo = X * PCfo * \rho * (1/3600) * 3412.14 \quad (7)$$

Donde:

Efo = Energía asociada al Diesel [kWh o BTU]

X = Cantidad de energético ingresado [Lt o Gal]

PCfo = Poder calorífico del Diesel en [kJ/kg]

$\rho$  = Densidad específica del Diésel [kg/Lt]

4. si la energía fina está en BTU y el Diesel ingresa en galones:

$$Efo = X * PCfo * \rho * (1/3600) * (1/264.17) * (1/0.001) * 3412.14 \quad (8)$$

Donde:

Efo = Energía asociada al Diesel [kWh o BTU]

X = Cantidad de energético ingresado [Lt o Gal]

PCfo = Poder calorífico del Diesel en [kJ/kg]

$\rho$  = Densidad específica del Diésel [kg/Lt]

- Combustible gaseoso: el energético solo tendrá una unidad por defecto, posteriormente se revisará la unidad de energía final para realizar la correspondiente conversión, se toma como base para la validación y diseño de la herramienta el Gas natural.

1. sí energía final es kWh:

$$Eg = X * PCg * (1/3412.14) \quad (9)$$

Donde:

$E_g$  = Energía asociada al gas [kWh o BTU]

$X$  = Cantidad de energético ingresado [ $m^3$ ]

$PC_g$  = Poder calorífico del gas en [ $BTU/m^3$ ]

2. sí energía final es BTU:

$$E_g = X * PC_g \quad (10)$$

Donde:

$E_g$  = Energía asociada al gas [kWh o BTU]

$X$  = Cantidad de energético ingresado [ $m^3$ ]

$PC_g$  = Poder calorífico del gas en [ $BTU/m^3$ ]

- Electricidad: en este caso si la energía final se escoge en kWh se pasaría el mismo valor de entrada dado que la unidad por defecto que se escogió fue esta. Por este motivo, solo se aplicaría el factor de conversión en el caso de que la unidad de energía a trabajar sea BTU sería así:

Donde:

$X$  = Energía ingresada [kWh]

$E_{elec}$  = Energía eléctrica [kWh]

$$E_{elec} = X * (1/3412.14) \quad (11)$$

Donde:

$X$  = Energía ingresada [kWh]

$E_{elec}$  = Energía eléctrica [kWh]

Después de haber hecho las correspondientes conversiones de unidades se procede a guardar los valores para después correrlos con la macro general.

El panel visual que muestra Excel para llenar los datos preliminares a la realización de los cálculos se muestra en la figura 3. Estos datos son importantes dado que son la base para que la herramienta general las tablas con las cuales se realizarán las operaciones y las gráficas correspondiente al proceso de análisis de caracterización energética.

Figura 3 formulario de ingreso de datos preliminares

Fuente: Llenado de valores preliminares, Herramienta del proyecto (2021)

## 8.2 PRODUCCIÓN EQUIVALENTE

En caso de que la entidad no tenga una única producción sino varias antes de hallar la función de comportamiento, lo que se debe hacer es una normalización mediante el complemento de Excel análisis de datos, la opción de regresión que utiliza el método de mínimos cuadrados. Por consiguiente, lo que se hace en este paso es hallar una producción equivalente, que representará todas las producciones que se tengan en la entidad o las que se quieran analizar en el SGen.

Inicialmente se debe estimar un consumo energético como la suma de cada nivel de producción, ponderando por la intensidad energética de cada producto así:

$$CE = \gamma * X1 + \beta * X2 + \dots + \lambda \quad (12)$$

CE = consumo energético [kWh o BTU]

X = productos que tiene la entidad

$\gamma, \beta, \dots$  = indicadores de consumo energético [energía / producción]

$\lambda$  = energía no asociada a la producción

Asimismo, los indicadores de consumo energético son hallados mediante la herramienta de *Excel* conocida como “análisis de regresión”, en la que se programa una regresión múltiple que depende del número de producciones que el usuario ingrese para así poder hallar la producción equivalente.

Posteriormente al haber hallado los indicadores de consumo, se debe escoger uno como base (se recomienda que el indicador base sea el que tenga mayor consumo energético) para relacionarlo con los demás de la siguiente manera:

$$\alpha = \frac{Ic\ n}{Ic\ base} \quad (13)$$

$\alpha$  = relación de indicadores de consumo.

Ic n = indicadores de consumo de cada producción que tiene la entidad [Energía / producción].

Ic base = indicador de consumo que se escogió como la base. [Energía / producción].

Teniendo la relación de indicadores se pasa a hallar la producción equivalente que represente a todos los productos que se analizaran de la siguiente manera:

$$P.eq = P1 + Pn\ \alpha2 * P2 + \alpha3 * P3 + \dots + \alpha n * \quad (14)$$

En este caso puesto que la herramienta no sabe cuál es el indicador que tiene mayor consumo toma por defecto como el indicador base, que es el de la primera producción ingresada. Esta es la razón de que la P1 no esté acompañada de ninguna relación dado que esto da un valor de 1. Teniendo la producción equivalente la nueva ecuación que describe el comportamiento que se va a analizar quedaría de la siguiente manera:

$$E = m * Peq + Eo \quad (15)$$

$$E = m [P1 + \alpha 2 * P2 + \dots] + Eo \quad (16)$$

Donde:

E = consumo energético [kWh o BTU].

m = pendiente de los datos.

Peq = producción equivalente hallada en la normalización hecha.

Eo =  $\lambda$  = energía no asociada a la producción.

### 8.3 DEPURACIÓN DE DATOS

Este proceso es realizado mediante el teorema estadístico de Pafnuti Chebyshev para saber si hay máximos o mínimos que aporten dispersión a la muestra de datos que se tiene. La desigualdad de Chebyshev es uno de los resultados más importantes de la teoría de probabilidad [8]. Por tal motivo en la herramienta se usa este teorema dado que es una manera de encontrar valores atípicos los cuales afectan a que la muestra tenga una mayor desviación.

$$P(|X - \mu| \geq k) \leq \frac{Var(X)}{k^2}, k > 0, \quad (17)$$

En otras palabras, la desigualdad de Chebyshev nos dice que la varianza es una medida de dispersión de los valores de X alrededor de su valor esperado.

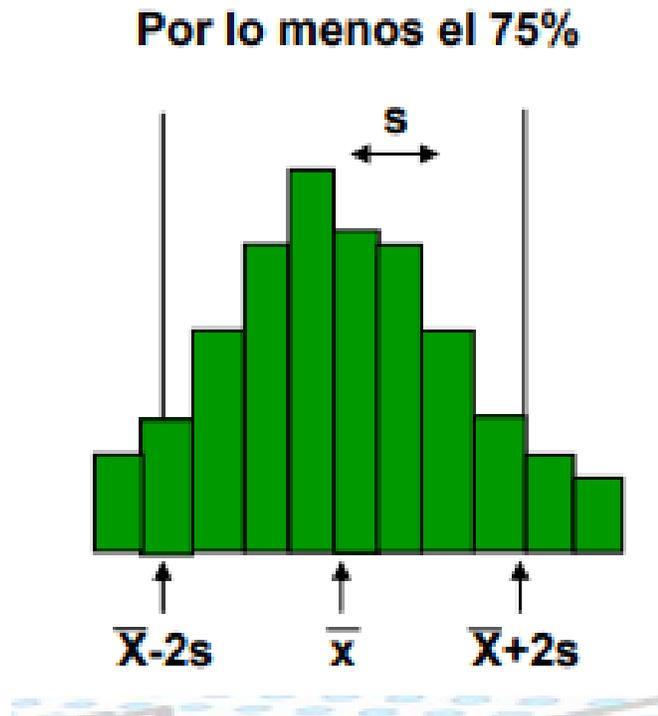
La proporción de cualquier distribución que esté a menos de k desviaciones estándar de la media es por lo menos

$$1 - \frac{1}{k^2} \quad (18)$$

Donde k es cualquier número positivo mayor que 1 establece que por cada número de desviaciones la cual representará un porcentaje de confiabilidad en el cual debería estar los datos, si algún dato está por fuera de este porcentaje puede ser despreciado siempre y cuando el usuario así lo desee. La distribución de chebyshev muestra en la figura 4 como sería el intervalo de confianza si se escogiera 2 desviaciones estándar, las cuales se le sumarían al promedio formando así el

intervalo con el cual se evaluará si hay máximos o mínimos en la muestra que la afecten de manera significativa.

Figura 4. Distribución de Chevyshev



Fuente: Estadística Basica, Univerisdad de Queretaro

se calcula el promedio:

$$\underline{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (19)$$

se calcula la desviación estándar de los datos:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^N (X_i - \bar{X})^2}{N}} \quad (20)$$

$\sigma$ : Desviación estándar

$X_i$ : Dato individual

$\bar{X}$ : Promedio

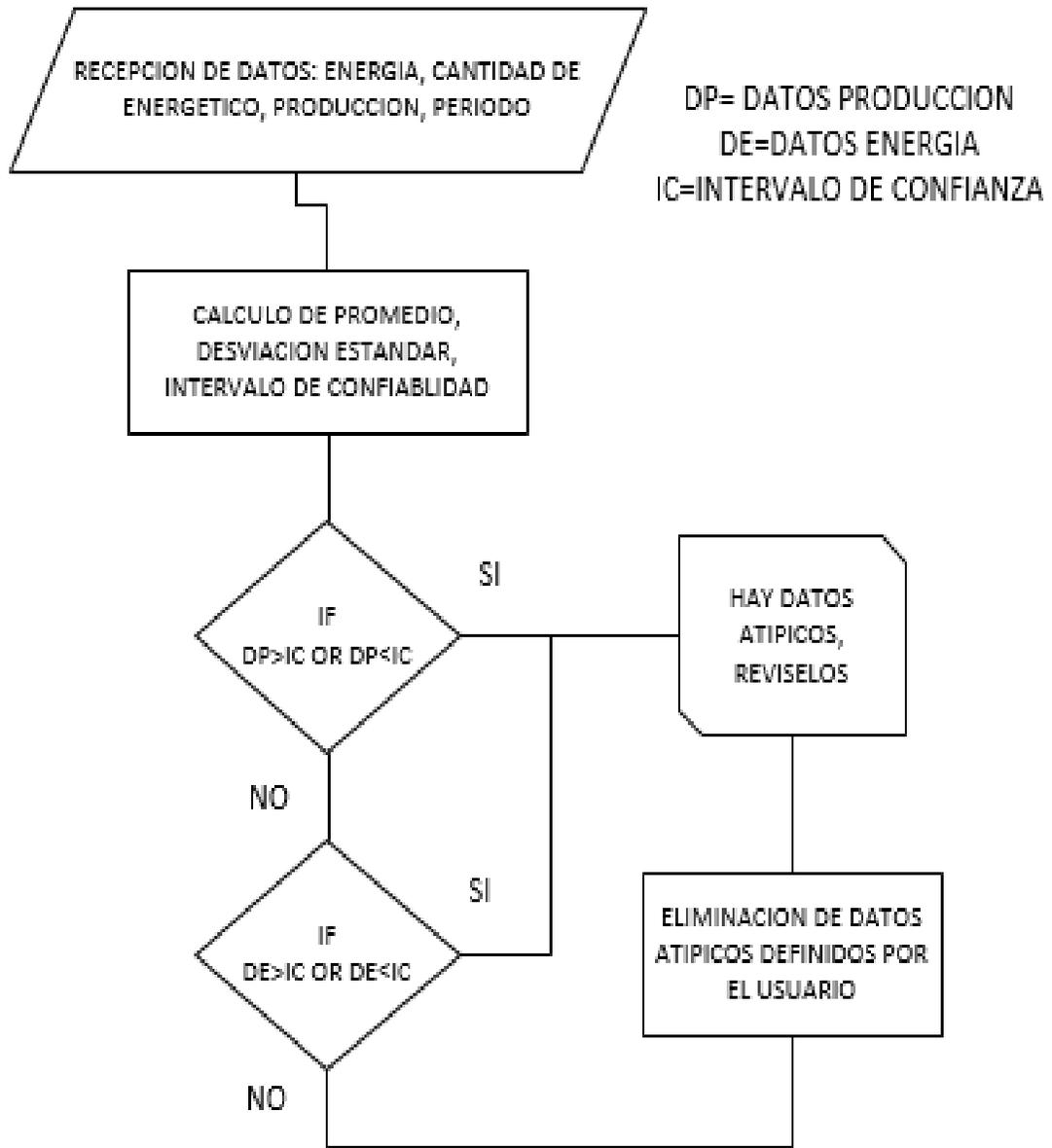
N: Total de datos

- Posteriormente, se multiplica el número de desviaciones estándar que el usuario ingresó al inicio, por la desviación estándar.
- Seguido, el intervalo de confianza es tomado como la multiplicación del paso anterior más el promedio.
- Asimismo, para hallar el límite superior y el límite inferior es el promedio por la multiplicación hecha anteriormente.

Finalmente, este proceso se realiza tanto para la energía como para la producción y cualquier dato que quede por fuera del intervalo se considera un valor atípico que se debe revisar para saber si se elimina o no, dependiendo de la importancia para el estudio.

Se presenta el diagrama de flujo de la depuración de los datos en la figura 5, la cual muestra el proceso realizado por la herramienta para buscar si hay datos atípicos en la muestra ingresada. Inicialmente el programa recibe el número de desviaciones para así definir el intervalo de confianza que el usuario quiere tener en la depuración. Seguido la herramienta realiza un cálculo interno de los promedios y las desviaciones de energía y producción, posteriormente se revisa en un condicional que revisa si los valores tanto de energía y producción están por fuera de los intervalos seleccionados respectivamente. Finalmente, la herramienta mostrará en las celdas de depuración en color naranja si hay un valor que esté por fuera del intervalo de confianza lo que quiere decir que es atípico por lo tanto aumenta la dispersión del estudio.

Figura 5.



Fuente: Elaboración propia.

## 8.4 CÁLCULOS DE INDICADORES Y GRÁFICOS CORRESPONDIENTES DEL ESTUDIO

**Indicadores de desempeño:** estos indicadores son determinados por la organización dado que permiten controlar y monitorear los procesos en los que se evalúa el desempeño. Estos sirven para alertar sobre las desviaciones que se obtuvieron, también puede utilizarse estos indicadores para medir la efectividad y los resultados que tiene el sistema de gestión energético al compararlos con la base energética obtenida.

De igual forma, la organización puede escoger cuales son los indicadores de desempeño energético (IDEn) que le sean más necesarios a la hora de la revisión energética para que posteriormente puedan contrastarse de la manera más adecuada ya sea con la base o con las metas planeadas.

Por consiguiente, los indicadores de desempeño energético que se proponen implantar en los SGEEn con los cuales se realice el proceso de revisión mediante la herramienta digital para el PEVI UNAB son los siguientes: Indicador de Consumo de energía IC, Indicador de Eficiencia Base 100 e Indicador Gráfico de Tendencia o de Sumas Acumulativas CUSUM. [7]

**Indicador de consumo de energía:** se define como la relación entre la energía consumida y la cantidad de producción obtenida con dicha energía. Dado que el indicador ofrece información acerca de la energía requerida en una sola unidad de producción por esta razón es posible hacer comparaciones respecto a estándares nacionales o internacionales. Además, puede llegar a ser la base para desarrollar programas de optimización y mejora energética buscando reducir en un nivel máximo este indicador.

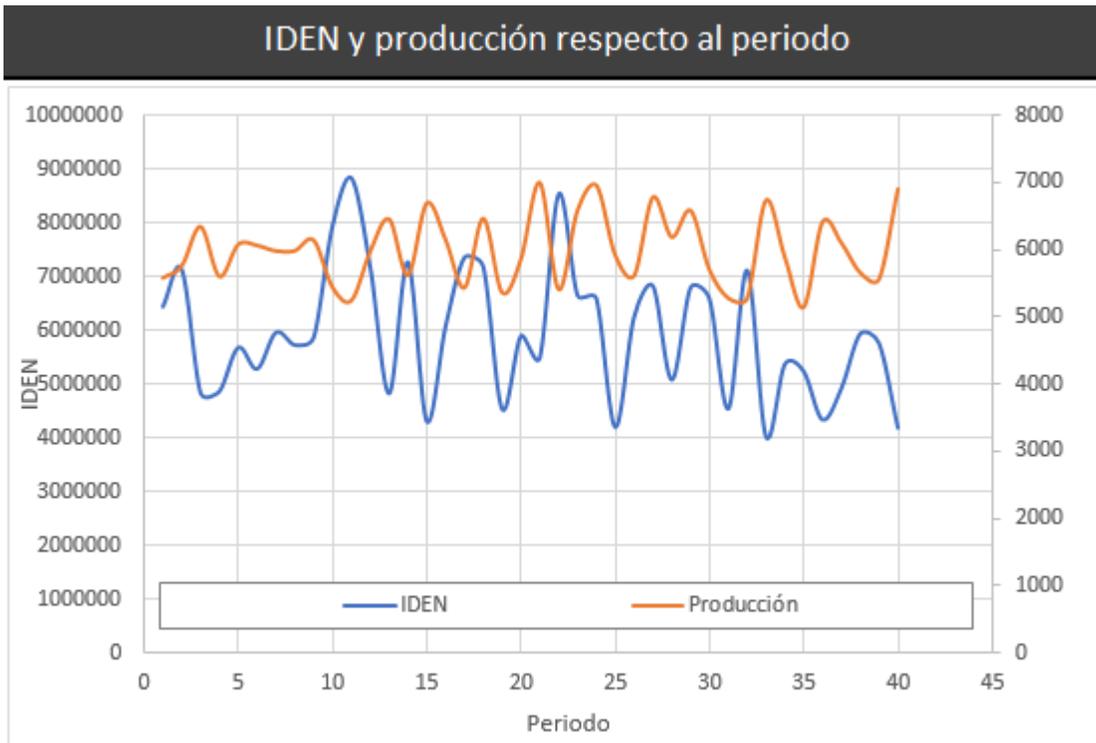
$$IC = \frac{\text{Consumo de energía}}{\text{Producción}} \quad (21)$$

A partir de la línea base se obtiene un indicador base de consumo de la siguiente manera.

$$IC_{Base} = \frac{m \cdot P + E_{nap}}{\text{Producción}} \quad (22)$$

En el momento de realizar el ajuste anterior el indicador de consumo energético referente corresponde a una función inversa a la producción que tiene la entidad como se muestra en la figura 6.

Figura 6 Diagrama variación del indicador de consumo.



Fuente: Elaboración de la herramienta

Una vez hallado el indicador de consumo, es posible tener el valor característico del rendimiento energético que corresponde a cada valor de producción. Lo anterior, concluye la posibilidad de realizar una comparación del rendimiento energético medido con un valor de referencia base, actualizado sobre el desempeño energético reciente.

**Indicador de eficiencia base 100:** esta herramienta para la gestión energética permite realizar una comparación acerca del comportamiento de los resultados de consumo de energía, medidos en un proceso de operación en un periodo específico, respecto a los valores de consumo base o de tendencia del mismo [7]. Se toma como referencia un valor adimensional de cumplimiento definido así

$$\text{Eficiencia base 100} = \frac{E. \text{ ingresada}}{E. \text{ base}} \times 100 \quad (23)$$

Este indicador es calculado a partir de los datos de producción y energía para el periodo que la entidad disponga y además de la línea base que se halló

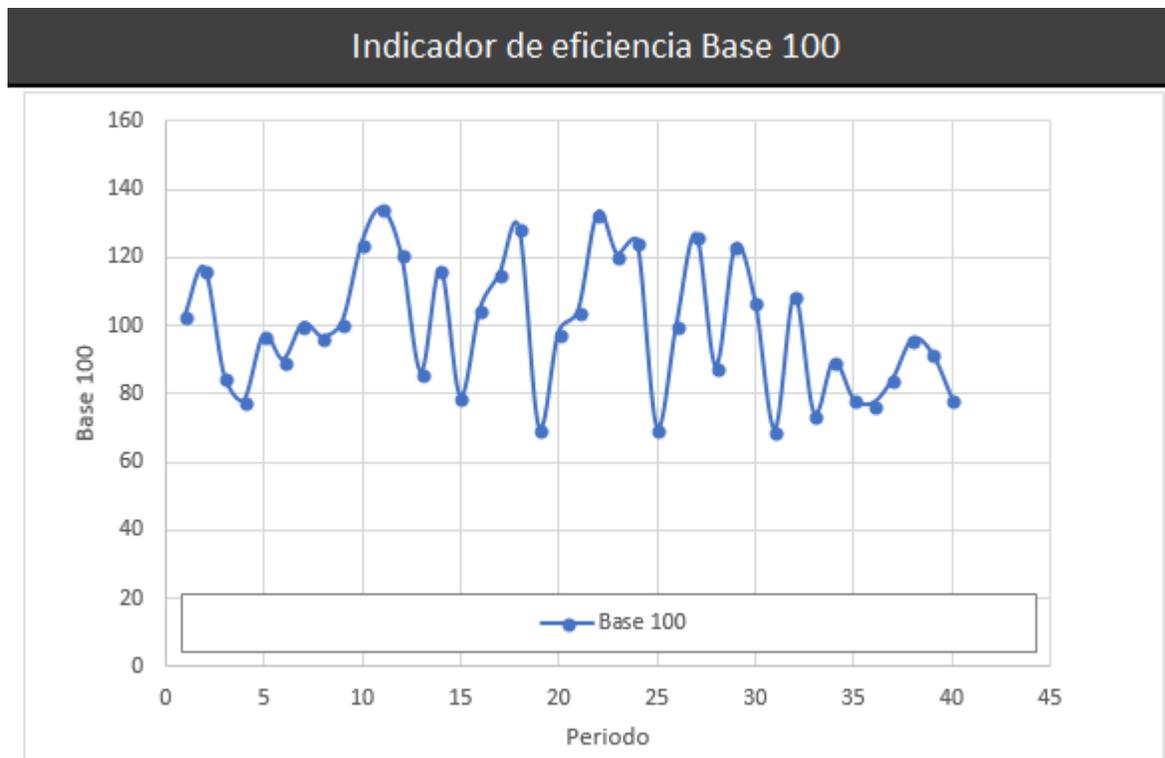
anteriormente en la caracterización. Este indicador puede estar en tres rangos lo cuales son necesarios conocer para su correcta interpretación.

Si  $base\ 100 > 100$ : quiere decir que el consumo energético del periodo analizado fue menor que el que debería ser según la tendencia por lo tanto es eficiente en ese punto.

Si  $base\ 100 < 100$ : corresponde a que la energía consumida en el periodo analizado fue mayor a la que debería ser según la tendencia por lo tanto es ineficiente.

Si  $base\ 100 = 100$ : quiere decir que el periodo tiene un consumo estable ósea que se haya dentro de la tendencia que se tenía.

Figura 7 diagrama indicador de eficiencia base 100.



Fuente: Elaboración de la herramienta

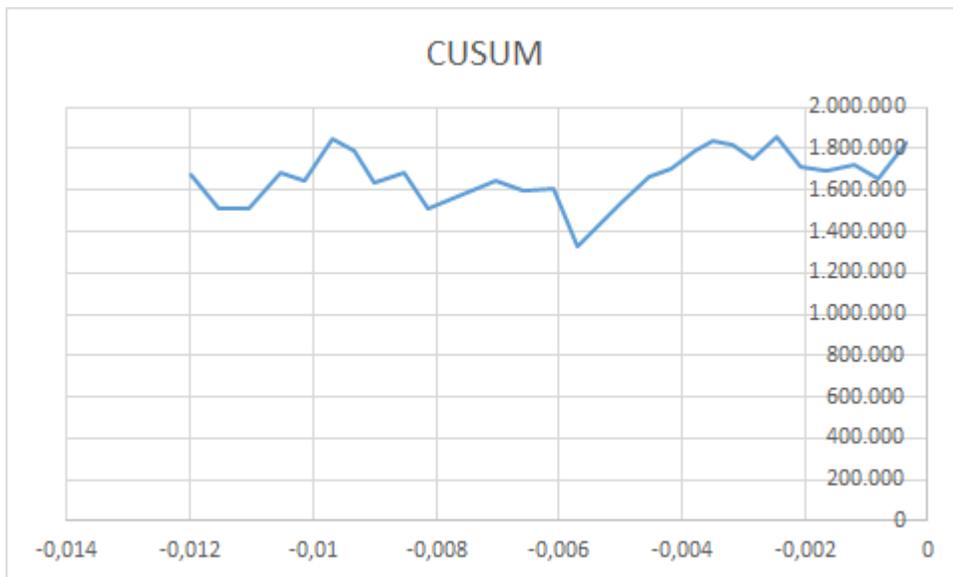
El indicador base 100 ayuda a que el usuario interprete alertas en cuanto a variaciones positivas o negativas de la eficiencia de algún proceso como lo muestra la figura 7. Por lo que brinda facilidad en el momento de analizar y generar planes de acción para mejorar las prácticas del consumo energético en la entidad. siempre en busca de un mejoramiento continuo.

**Indicador gráfico de tendencia o de sumas acumulativas:**

Se utiliza para monitorear la tendencia de una entidad respecto a sus variaciones acerca del consumo energético respecto a un periodo definido. A partir del CUSUM se puede determinar la cantidad de energía que se ha dejado de consumir o en su defecto se ha sobre consumido hasta el momento de su actualización.

$$\text{CUSUM} = \left( \begin{array}{l} (E_{\text{REAL}} - E_{\text{TENDENCIA}})_I + \\ (E_{\text{REAL}} - E_{\text{TENDENCIA}})_{I-1} \end{array} \right) \quad (24)$$

Figura 8 indicador grafico de tendencia o sumas acumulativas CUSUM.



Fuente: Elaboración de la herramienta

En el caso que este indicador tenga una tendencia negativa quiere decir que está la entidad lleva una tendencia hacia la eficiencia en un proceso lo cual es lo adecuado, dado que la suma acumulada de los consumos energéticos respecto a la base es inferior. Lo que traduce en disminución del consumo energético (ahorro).

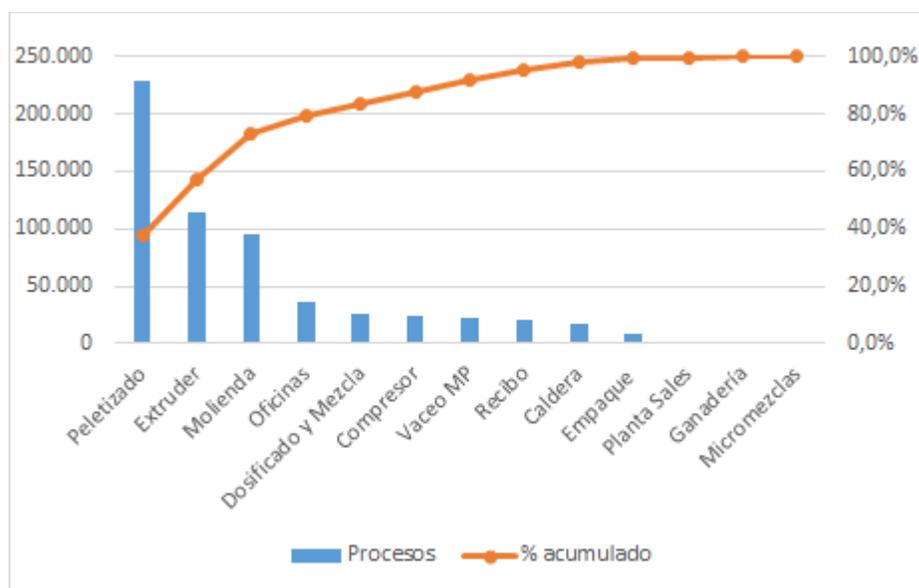
#### 8.4.1 DIAGRAMA DE PARETO

Con el diagrama de Pareto, se analiza diferentes problemas de calidad en la industria obteniendo que de forma general el 80% de los problemas tenían únicamente el 20% de las posibles causas. Esta relación 80-20 fue nombrada como

Principio de Pareto o Ley de Pareto [6]. En el caso de un sistema de gestión de la energía este diagrama sirve para identificar cuáles son los usos significativos de la energía. Conociendo esto se puede atacar el problema de ahorro energético de manera más específica, lo que quiere decir que se puede atacar con más certeza los procesos o equipos, en los cuales no hay eficiencia energética, o se tenga una mayor cantidad de oportunidades de mejora.

En el momento de realizar el diagrama de Pareto da una visión objetiva de las causas que se deben trabajar para que la entidad pueda cumplir de la mejor manera la norma ISO 50001.

Figura 9 ejemplo diagrama de Pareto

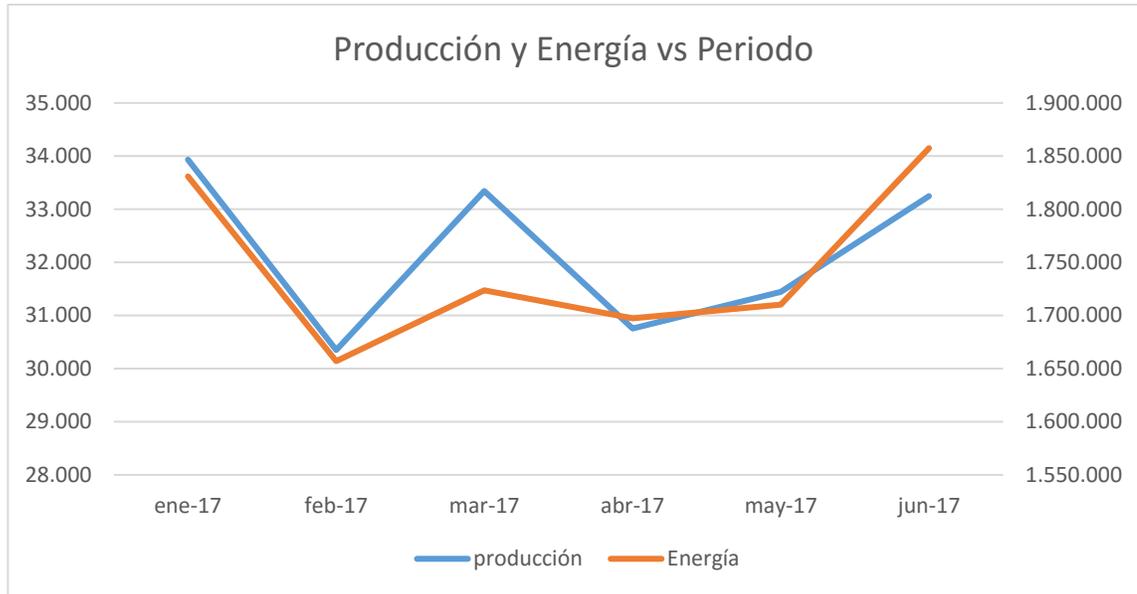


Fuente: Elaboración de la herramienta

### ENERGÍA-PRODUCCIÓN VS PERIODO

Esta gráfica representa la variación de la energía y producción de cualquier organización según un periodo o periodos de tiempo, pueden ser mensual, trimestral y anual, dependiendo del historial que maneje la organización.

Figura 10 ejemplo de energía-producción obtenido con la herramienta



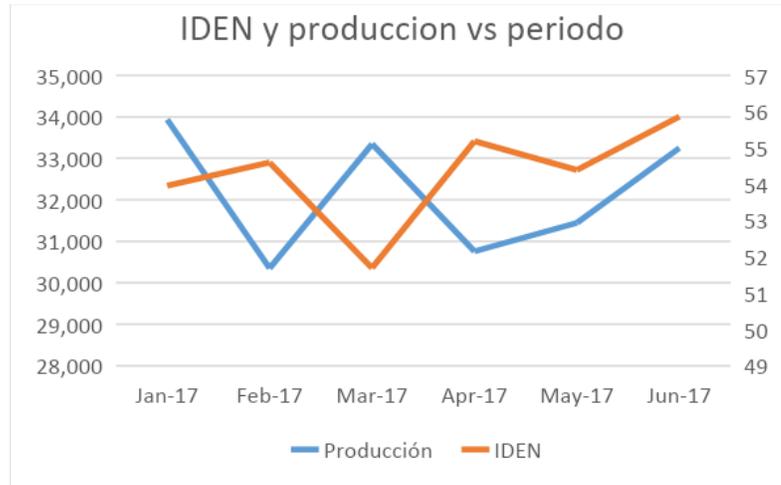
Fuente: Elaboración propia

Esta figura 10, es de suma importancia dado que la entidad podrá evidenciar si está siendo eficiente en su consumo energético respecto a la producción tenida en ese periodo específico. Por otro lado, esta gráfica es fundamental a la hora de buscar las metas que una empresa pueda llegar a proponerse y que se puedan cumplir.

### **IDEN-PRODUCCIÓN VS PERIODO**

En esta gráfica la herramienta presenta el IDEn contra los periodos de tiempo tomados en el histórico de la organización. Por consiguiente, esta gráfica es importante para que se pueda conocer el valor característico de la eficiencia energética base o meta que le corresponde a cada nivel de producción.

Figura 11 ejemplo de grafico IDEN-produccion vs periodo



Fuente: Elaboración propia de la herramienta

#### 8.4.2 LÍNEA BASE Y LÍNEA META

- LÍNEA BASE:** es el escenario de análisis relativamente más sencillo, pues implica que se cuenta con información histórica de las variables que componen el indicador, o bien, datos sobre el mismo. Esta línea base es una referencia cuantitativa con la cual se necesita a la hora de realizar las comparaciones imprescindibles en el desempeño energético. Se halla partiendo de los datos medidos, los cuales se utilizan para hallar una función de regresión lineal la que describe el consumo energético de una entidad y está relacionada con la producción que se tenga en la misma.

$$E = m * P + Eo \quad (25)$$

Donde:

E = energía consumida [kWh o BTU]

m = pendiente de la función [energía / producción]

P = producción correspondiente de la entidad

Eo = energía no asociada a la producción

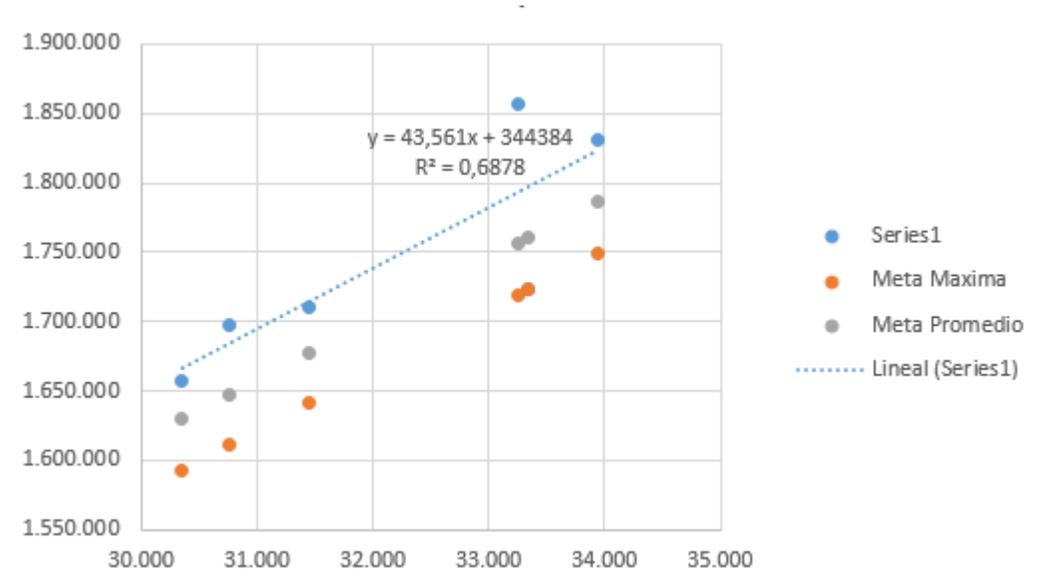
- **LÍNEA META:** Las metas planteadas son el objetivo cuantitativo que el programa o proyecto se compromete alcanzar en un periodo determinado por el usuario.

Asimismo, la línea meta se obtiene tomando los puntos por debajo de la línea base ya que son los puntos más eficientes. A partir de los consumos y datos de producción de estos periodos se realizó la ecuación de energía meta usando como referencia la misma pendiente de la línea base, en el que la organización valide el buen desempeño energético. De esta forma, como punto de partida, la herramienta para calcular las metas lo hace con la misma pendiente de la base y supone un nuevo intercepto para así hallar una ecuación de línea meta. También, hace un cálculo de energía consumida por la meta para posteriormente realizar una diferencia entre la energía medida y la energía meta. Seguido de este paso, se busca el mínimo de la diferencia para, con este valor, utilizar la herramienta de buscar objetivo de *Excel*. Asimismo, esta herramienta se corre buscando que el mínimo hallado de la diferencia tenga un valor de cero, cambiando el intercepto supuesto inicialmente; con este proceso se puede obtener una ecuación de línea meta, la que es máxima (ideal) dado que todos los puntos estarían por encima de ella.

Por último, lo que se hace es calcular una meta promedio que es a la que se busca que la entidad llegue, dado que esta es más factible que se pueda cumplir que la meta máxima. Se recomienda que los objetivos de ahorro se direccionen hacia esta meta promedio.

La siguiente figura [14] muestra un ejemplo en el cual se halló la línea base a partir de los datos históricos que se tiene. Así podemos conocer el modelo de comportamiento con el cual se va a realizar los análisis correspondientes para posteriormente hallar la línea meta que es idónea para la entidad.

Figura 12 ejemplo línea base, línea meta y línea meta promedio obtenida con la herramienta



Fuente: Elaboración propia de la herramienta

### 8.4.3 PRODUCCIÓN CRÍTICA

Para realizar el cálculo de la producción crítica, se debe tomar la producción equivalente y ordenar los valores de mayor a menor. seguido se debe realizar el cálculo del CUSUM, posteriormente se calcula la nueva razón de cambio de la siguiente forma:

$$RC = \frac{V.ac - V.an}{V.an} \quad (26)$$

Donde:

RC = razón de cambio para cada producción equivalente

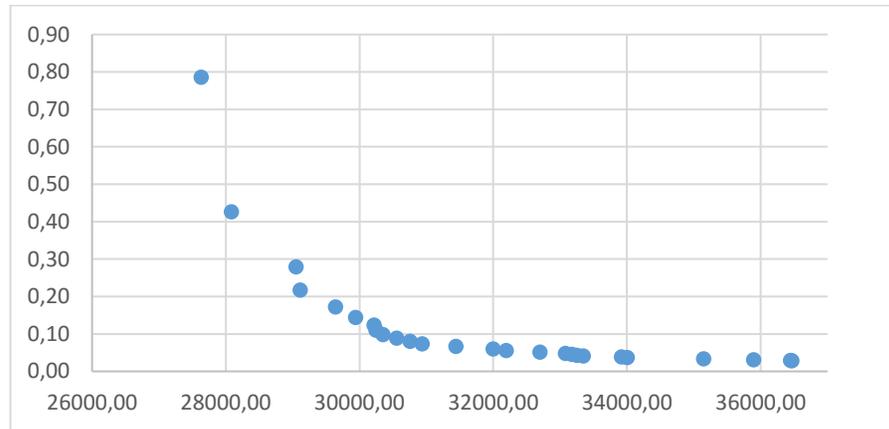
V.ac = valor actual de CUSUM

V. an = valor anterior de CUSUM

El objetivo de la figura 13, es que la entidad evidencie en cuáles de sus producciones la razón de cambio sufre una alteración en su pendiente, este valor

de producción equivalente se le denomina producción crítica. Lo anterior, aclara que por debajo de este valor de producción la entidad tiende hacia una mayor ineficiencia energética. Por tal razón, es recomendable que la mínima producción que se tenga en un periodo sea crítica o si es posible que sea mayor, porque de esta manera se garantizará que la razón de cambio no sufrirá un cambio drástico, sino que por el contrario se comporta casi constante, que debe ser lo ideal.

Figura 13 Producción crítica



Fuente: Elaboración propia de la herramienta

## 8.5 ELABORACIÓN DE INFORME BÁSICO

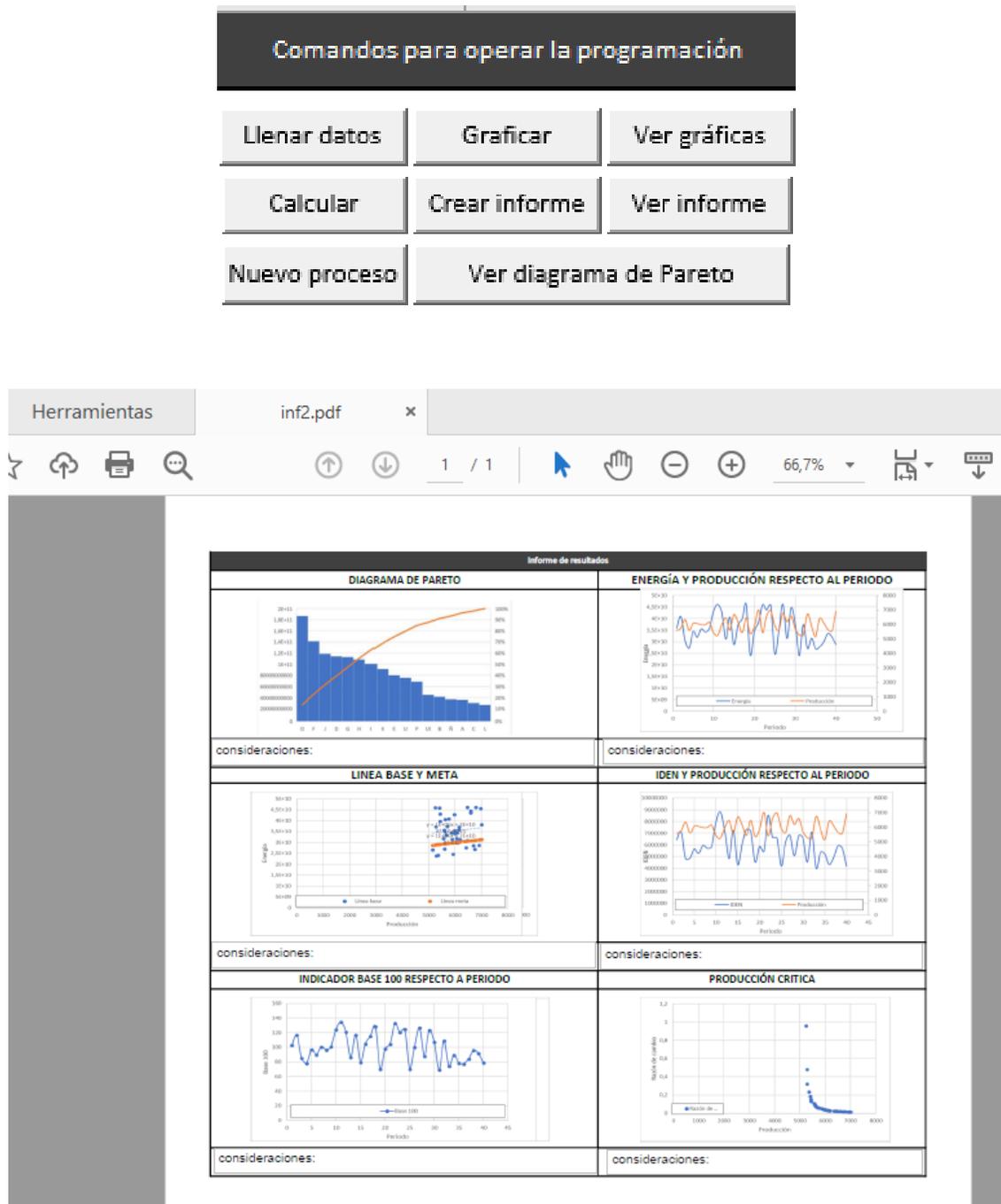
Inicialmente, uno de los objetivos fijados, por los representantes del proyecto, es que la herramienta imprima un breve informe de los objetivos y estudios finales. De esta manera, al utilizar una macro con el complemento programador en *Excel*, se obtuvo una impresión de los diferentes gráficos generados en un estudio de revisión energética según la ISO 50001.

En la ventana de comandos de programación de la herramienta, están ubicados dos botones con una macro asignada a cada uno:

**Botón “ver informe”:** con este botón la herramienta lo envía a una sección en la misma hoja donde se encuentran las gráficas del informe básico, ahí se puede editar o digitar conclusiones para cada gráfica (esto lo hará el usuario si es necesario).

**Botón “crear informe”:** al seleccionar esta opción la herramienta genera la ventana de guardado del informe, donde el usuario podrá renombrar el informe básico final en formato pdf.

Figura 14 ventana de comandos de programación y ejemplo del informe generado.



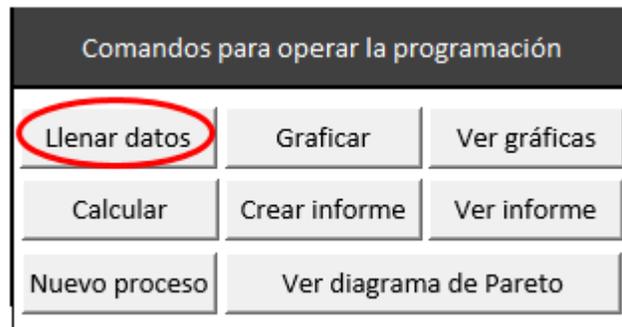
Fuente: Elaboración propia de la herramienta

## 8.6 TUTORIAL PARA EL MANEJO DE LA HERRAMIENTA

Para la adaptación de los usuarios a la herramienta se han definido unos pasos a seguir para un primer proceso o caso de estudio de la etapa de revisión energética:

- Las primeras pestañas que aparecen son de introducción y referencias de la herramienta.
- Al pasar a la pestaña de “Llenado de datos”, se pueden observar diferentes ventanas. La ventana “comandos para operar” es la principal y con la cual se ejecutan todas las macros de VBA y está presente en la anterior gráfica (Figura 17).
- El primer botón que debe ejecutar el usuario es el de “llenar datos”, que lo llevará a una ventana emergente con diferentes casillas vacías para que sean digitadas (Figura 5).

Figura 15 visualización del botón llenar datos y ventana emergente.



Fuente: Llenado de valores preliminares, Herramienta del proyecto (2021)

- La ventana emergente tiene los diferentes datos necesarios para comenzar con la etapa de revisión energética (periodos, producciones, unidades y variables de confianza), los cuales deben ser validados para poder pasar al siguiente paso.
- Cuando se validen todos los datos la herramienta automáticamente crea una tabla con la cantidad de periodos y demás datos propuestos en el anterior paso.

Figura 16 ejemplo de la tabla generada por la herramienta.

Caracterización		Producciones		Consolidado	
Período	Línea/Equipo/Proceso	Prod. 1		Sumatoria	Prod. Equiv.

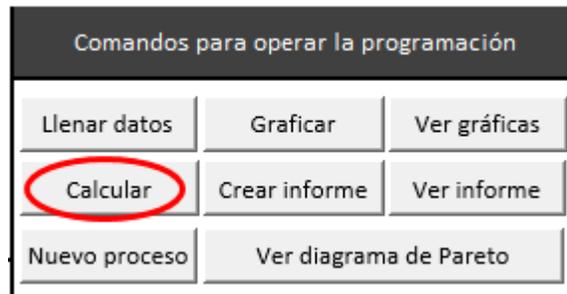
  

Electricidad		Carbón		Gas		Fuel Oil		Total equivalente
Cant(kWh)	Energía asociada	Cant(Kg)	Energía asociada	Cant(m3)	Energía asociada	Cant(Lt)	Energía asociada	Energía total de energéticos(kWh)

Fuente: Herramienta del proyecto (2021)

- Una vez generada la tabla, el usuario digita en cada una de las casillas de la tabla que aparece con color oscuro los valores.
- Las casillas con color claro, son las que el programa va a calcular automáticamente cuando el usuario ejecute el botón “calcular”.

Figura 17 visualización del botón calcular datos



Fuente: Herramienta del proyecto (2021)

- Una vez calculado todos los datos de las casillas en color claro, el usuario puede ir a la ventana depuración de datos, donde podrá según el nivel de confianza que escogió, eliminar o conservar el dato para el estudio final.

Figura 18 tabla de máximos y mínimos

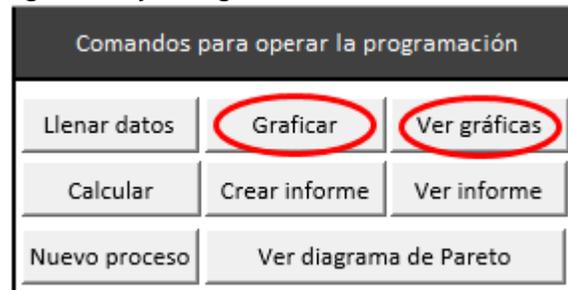
Depuración	
Máximos/Mínimos Producción	Máximos/Mínimos Energía

Fuente: Herramienta del proyecto (2021)

- Al realizar la depuración de datos que no son relevantes en el estudio por el usuario, se debe volver a correr el botón calcular para modificar los valores de los IDEns, Línea base y meta.
- El siguiente paso es realizar los gráficos correspondientes ejecutando el botón “Graficar”, después con el botón “ver gráficos” los enviará en la misma pestaña al lugar donde se crearon las gráficas.

- 

Figura 19 botón graficar y ver gráficas.



Fuente: Herramienta del proyecto (2021)

- Por último, los botones de “crear informe” y “ver informe” que ya están explicados en el numeral **7.5**.
- Si el usuario quiere analizar un nuevo proceso, lo podrá hacer con el botón “nuevo proceso”, que abrirá una nueva pestaña de llenado de datos en el mismo documento, con las mismas opciones de estudio presentadas en los pasos anteriores.

## 9. VERIFICACION DE RESULTADOS CON LA HERRAMIENTA

Para comprobar el funcionamiento de la herramienta y los diferentes parámetros usados para la elaboración de la misma. Se tomó como referencia comparativa un análisis de datos de la etapa de revisión energética en la planta de alimentos a la que se aplicó estudios previos por el centro PEVI., realizado por el director del presente proyecto, el profesor Leonardo Esteban Pacheco.

Periodo	Producción Equivalente	Energía (kBTU)	Energía Meta (kBTU)	Total equivalente		Depuración		L.Base, L.Meta	
				Energía total de energéticos(k/wh)	Máximos/Mínimos Producción	Máximos/Mínimos Energía	Energía Base	Energía Meta	
				1830996,343				1759845,763	1706837,844
ene-17	33.933	1.830.996	1.708.899,4	1657058,992			1618391,367	1565383,448	
feb-17	30.350	1.657.059	1.567.455,7	1723736,659			1736627,369	1683619,45	
mar-17	33.345	1.723.736	1.685.682,8	1697363,214			1634439,776	1581431,857	
abr-17	30.757	1.697.363	1.583.502,9	1710220,165			1661515,692	1608507,773	
may-17	31.443	1.710.220	1.610.576,8	1857437,031			1732814,322	1679806,403	
jun-17	33.248	1.857.437	1.681.870,0	1748654,532			1711146,433	1658138,514	
jul-17	32.700	1.748.655	1.660.203,8	1817023,621			1837284,701	1784276,782	
ago-17	35.894	1.817.024	1.786.332,5	1838257,381			1859109,941	1806102,022	
sep-17	36.447	1.838.257	1.808.156,1	1793861,765			1859844,62	1806836,701	
oct-17	36.466	1.793.852	1.808.890,7	1702733,925			1759267,993	1706260,074	
nov-17	33.918	1.702.734	1.708.321,7	1660471,134			1729946,139	1676938,22	
dic-17	33.176	1.660.471	1.679.002,1	1535443,427			1641459,265	1588451,346	
ene-18	30.935	1.535.443	1.590.521,8	1323627,888			1386885,886	1333877,967	
feb-18	24.487	1.323.628	1.335.967,6	1603860,286			1683394,162	1630386,244	
mar-18	31.997	1.603.860	1.632.453,6	1599096,936			1590397,765	1537389,846	
abr-18	29.641	1.599.097	1.539.464,2	1641240,302			1602288,401	1549280,482	
may-18	29.943	1.641.240	1.551.353,9	1574539,75			1528833,125	1475825,206	
jun-18	28.082	1.574.540	1.477.904,2	1515260,607			1510955,268	1457947,349	
jul-18	27.629	1.515.261	1.460.027,7	1686185,036			1691176,681	1638168,763	
ago-18	32.194	1.686.185	1.640.235,5	1638790,384			1613061,423	1560053,504	
sep-18	30.215	1.638.790	1.562.126,1	1789494,46			1807676,133	1754668,214	
oct-18	35.145	1.789.494	1.756.726,2	1847517,934			1762648,733	1709640,814	
nov-18	34.004	1.847.518	1.711.702,2	1647597,123			164268,481	1561260,562	
dic-18	30.246	1.647.597	1.563.333,1	1686908,411			1726064,382	1673056,463	
ene-19	33.077	1.686.908	1.675.120,6	1506433,396			1569524,812	1516516,893	
feb-19	29.113	1.506.433	1.518.592,8	1514571,355			1567039,061	1514031,142	
mar-19	29.050	1.514.571	1.516.107,2	1674065,108			1626528,473	1573520,554	
abr-19	30.557	1.674.065	1.575.592,2						

Cálculos de referencia

Cálculos de la herramienta

Figura 20. Comparación de datos obtenidos con la herramienta.

En el gráfico anterior se observa los datos correspondientes al estudio realizado por el profesor encargado y los que corre la herramienta. Se puede evidenciar la similitud entre ambos valores ya que se implementaron las mismas fórmulas de cálculos, con la diferencia de la programación automática presentada con macros en la herramienta.

Periodo	Energía consumida (kBTU)	Energía estimada LB (kBTU)	Indicador Base 100%	(-Eo/P <sup>2</sup> )	Cosum (-Eo/P <sup>2</sup> )	Razón de cambio de (-Eo/P <sup>2</sup> )	Producción Equivalente
ene-17	1830.996	1759744,8	104%	-0,000365	-0,000365		33.933
feb-17	1657.059	1618301,1	102%	-0,000456	-0,000821	1,25	30.350
mar-17	1723.736	1736528,2	99%	-0,000378	-0,001199	0,46	33.345
abr-17	1697.363	1634348,3	104%	-0,000444	-0,001643	0,37	30.757
may-17	1.710.220	1661422,2	103%	-0,000425	-0,002068	0,26	31.443
jun-17	1.857.437	1732715,4	107%	-0,00038	-0,002448	0,18	33.248
jul-17	1.748.655	1711049,2	102%	-0,000393	-0,00284	0,16	32.700
ago-17	1.817.024	1837177,9	99%	-0,000326	-0,003166	0,11	35.894
sep-17	1.838.257	1859001,5	99%	-0,000316	-0,003483	0,10	36.447
oct-17	1.793.852	1859736,1	96%	-0,000316	-0,003799	0,09	36.466
nov-17	1.702.734	1759167,1	97%	-0,000365	-0,004164	0,10	33.918
dic-17	1.660.471	1729847,4	96%	-0,000382	-0,004545	0,09	33.176
ene-18	1.535.443	1641367,2	94%	-0,000439	-0,004984	0,10	30.935
feb-18	1.323.628	1386813	95%	-0,000701	-0,005685	0,14	24.487
mar-18	1.603.860	1683299	95%	-0,00041	-0,006095	0,07	31.937
abr-18	1.599.097	1590309,6	101%	-0,000478	-0,006573	0,08	29.641
may-18	1.641.240	1602199,3	102%	-0,000469	-0,007042	0,07	29.943
jun-18	1.574.540	1528749,6	103%	-0,000533	-0,007574	0,08	28.082
jul-18	1.515.261	1510873,1	100%	-0,00055	-0,008125	0,07	27.629
ago-18	1.686.185	1691080,9	100%	-0,000405	-0,00853	0,05	32.194
sep-18	1.638.790	1612971,5	102%	-0,00046	-0,00899	0,05	30.215
oct-18	1.789.494	1807571,6	99%	-0,00034	-0,00933	0,04	35.145
nov-18	1.847.518	1762547,6	105%	-0,000363	-0,009694	0,04	34.004
dic-18	1.647.597	1614178,5	102%	-0,000459	-0,010153	0,05	30.246
ene-19	1.686.908	1725966	98%	-0,000384	-0,010537	0,04	33.077
feb-19	1.506.433	1569438,2	96%	-0,000496	-0,011032	0,05	29.113
mar-19	1.514.571	1566952,6	97%	-0,000498	-0,01153	0,05	29.050
abr-19	1.674.065	1626437,6	103%	-0,00045	-0,01198	0,04	30.557

Cálculos de referencia

Indicadores Energéticos						
IDEN datos	IDEN ec LB	IDEN ec LM	Indicador Base 100	(-Eo/P <sup>2</sup> )	Cosum(-Eo/P <sup>2</sup> )	Razón de cambio(-Eo/P <sup>2</sup> )
53,9590206	51,8622302	50,3000996	104,0430009	-0,00036	-0,000364814	
54,5975591	53,32352	51,5769901	102,389263	-0,00046	-0,000820838	1,250021121
51,6939306	52,0805462	50,4908665	99,25765828	-0,00038	-0,001198633	0,460254477
55,1864443	53,1406119	51,4171631	103,8498474	-0,00044	-0,001642684	0,370464802
54,3917338	52,8427398	51,1568793	102,9313279	-0,00042	-0,002067577	0,258657794
55,865363	52,1171375	50,5228403	107,1919252	-0,00038	-0,00244757	0,183786324
53,4762221	52,3291737	50,7081198	102,1919865	-0,00039	-0,002840424	0,16050783
50,6213458	51,1858091	49,7090356	98,89722701	-0,00033	-0,003166459	0,114783899
50,4361874	51,0083182	49,5539422	98,87835792	-0,00032	-0,003482679	0,099865601
49,1927179	51,0024371	49,5488033	96,45170064	-0,00032	-0,003798577	0,090705364
50,2008068	51,8675709	50,3047664	96,78650051	-0,00037	-0,004163706	0,096122444
50,0506556	52,144802	50,5470138	95,98397874	-0,00038	-0,004545364	0,091663155
49,635032	53,0621198	51,3485759	93,54136652	-0,00044	-0,004984326	0,09657356
54,0543162	56,6376463	54,4729089	95,43884622	-0,0007	-0,005684888	0,140553102
50,1256894	52,6113737	50,9547092	95,27538602	-0,00041	-0,006095192	0,072174476
53,9480575	53,6545772	51,8662715	100,5469808	-0,00048	-0,006573294	0,078439093
54,8129278	53,5120411	51,7417219	102,4310169	-0,00047	-0,007041826	0,071278172
56,0690644	54,4414601	52,5538581	102,9896412	-0,00053	-0,007574495	0,075643568
54,8424297	54,6866048	52,7680682	100,2849415	-0,00055	-0,008124766	0,072647884
52,3759441	52,5309936	50,8844722	99,7048419	-0,00041	-0,008530061	0,049883894
54,2368727	53,3853554	51,6310225	101,5950391	-0,00046	-0,008990169	0,053939668
50,9181817	51,435522	49,9272375	98,99419633	-0,00034	-0,009330267	0,037829893
54,3322387	51,8363854	50,2775162	104,8148675	-0,00036	-0,009693559	0,038936934
54,4732223	53,3713033	51,6187437	102,0646282	-0,00046	-0,010152738	0,047369497
50,9986715	52,1824361	50,5798989	97,73148835	-0,00038	-0,010536668	0,037815469
51,744779	53,9119186	52,0911391	95,98022181	-0,0005	-0,011032291	0,04703789
52,1370599	53,9431894	52,1184638	96,65179333	-0,0005	-0,011530064	0,045119661
54,7858666	53,230171	51,4954208	102,9225824	-0,00045	-0,011979958	0,039019221

Cálculos de la herramienta

Figura 21. Comparación de Indicadores energéticos.

En las tablas anteriores se demuestra la similitud de los resultados de cada operación en los diferentes indicadores de desempeño. Donde se evidencia que la herramienta realiza los mismos cálculos usados para el análisis de la etapa de revisión energética del proyecto de referencia.

Para los parámetros de la ecuación de línea base y línea meta utilizados en el estudio en la entidad antes mencionada, las instrucciones de cálculo en la macro asignada fueron las mismas que se utilizan en el proceso de obtención según la estándar ISO 50001 [2].

A continuación, se presentan los valores obtenidos por el estudio de referencia y los que la herramienta imprime.

Parámetros de la Ecuación de la Línea de Base $E=mP+E_0$			
<b><math>E = 39,483 P + 420.066</math></b>	Energía No Asociada a Producción ( $E_0$ )	Razón de Cambio Energía/Producción (m)	Coefficiente de Determinación ( $R^2$ )
	420.066,39	39,48	0,7892
Parámetros de la Ecuación de la Línea Meta $E_m=mP+E_{0m}$			
<b><math>E = 39,483 P + 369.221</math></b>	Energía No Asociada a Producción ( $E_0$ )	Razón de Cambio Energía/Producción (m)	% Ahorro promedio con respecto de línea base
	369.221,00	39,48	3,14%

Cálculos de referencia

### Funciones lineales de línea base, meta máxima y promedio

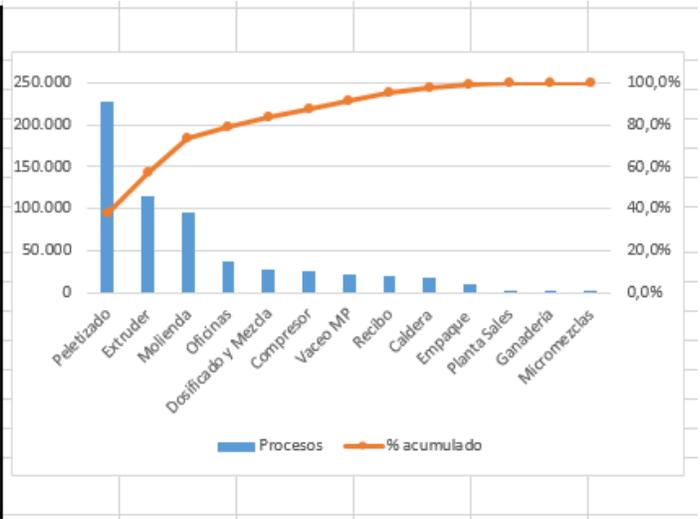
Función	Pendiente	Intercepto
Base	39,48297505	420066,3873
Meta máxima	39,48297505	314050,5497
Promedio	39,48297505	367058,4685

Cálculos de la herramienta

Figura 22. Parámetros de la ecuación de la línea de base y línea meta.

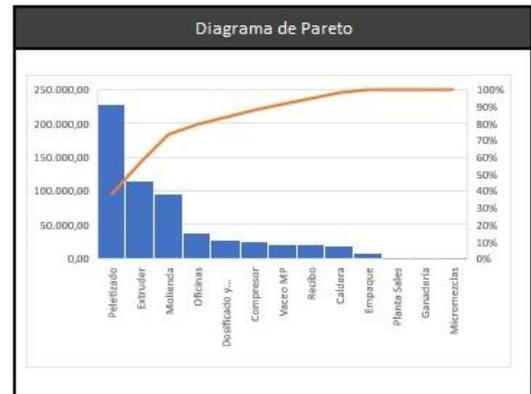
Para los usos significativos de la energía y los diagramas de Pareto destinados en el análisis de datos en la empresa tomada como ejemplo, también se compararon los resultados y efectivamente dan correctos cuando se calculan con la herramienta como a continuación se presenta en el grafico 23.

	Consumo total [kWh]	% acumulado	Acumulada [kWh]
Peletizado	227.871,14	38,0%	227871,14
Extruder	114.763,48	57,1%	342634,62
Molienda	95.913,92	73,1%	438548,54
Oficinas	37.010,39	79,3%	475558,93
Dosificado y Mezcla	26.753,98	83,8%	502312,91
Compresor	24.507,71	87,8%	526820,62
Vaceo MP	21.827,97	91,5%	548648,59
Recibo	20.309,83	94,9%	568958,42
Caldera	17.746,40	97,8%	586704,82
Empaque	9.116,26	99,4%	595821,08
Planta Sales	1.595,00	99,6%	597416,08
Ganadería	1.392,53	99,8%	598808,61
Micromezclas	899,93	100,0%	599708,54



Cálculos de referencia

User's	Consumo Energetico	% Consumo	Acumulado
Peletizado	227.871,14	0,37996981	227871,14
Extruder	114.763,48	0,571335236	342634,62
Molienda	95.913,92	0,73126946	438548,54
Oficinas	37.010,39	0,792983422	475558,93
Dosificado y Mezcla	26.753,98	0,837595059	502312,91
Compresor	24.507,71	0,878461094	526820,62
Vaceo MP	21.827,97	0,914858725	548648,59
Recibo	20.309,83	0,948724892	568958,42
Caldera	17.746,40	0,9783166	586704,82
Empaque	9.116,26	0,993517751	595821,08
Planta Sales	1.595,00	0,996177376	597416,08
Ganadería	1.392,53	0,998499388	598808,61
Micromezclas	899,93	1	599708,54

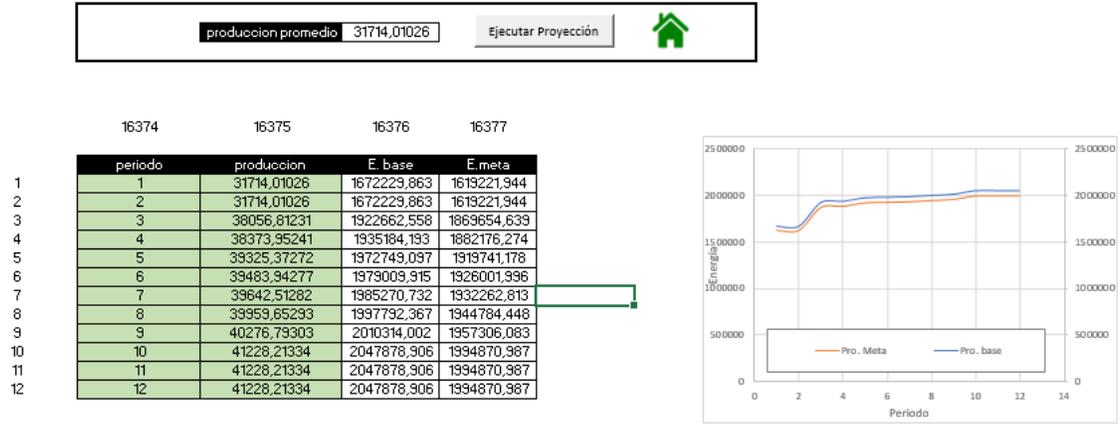


Cálculos de la herramienta

Figura 23. Comparativos de los usos significativos de la energía.

Además la herramienta tiene en su estructura una sección para pronóstico de la energía según las características de ahorro meta y base con una producción promedio, para que el usuario defina un gráfico de tendencia según el comportamiento de los datos futuros de producción.

Figura 24. Sección de proyección de datos.



Finalmente, contenido en el **ANEXO D**, se imprimió el análisis grafico en un informe básico del proceso, con los valores obtenidos por la herramienta y comparados con las bases de datos del profesor que realizo el estudio de referencia.

## 10. CONCLUSIONES

1. Según las corridas generadas por el profesor a cargo del estudio de análisis de revisión energética en estudios del centro PEVI, la herramienta ahorra cierta cantidad de tiempo de trabajo dependiendo del conocimiento del usuario, ya que automatiza la creación de tablas de cálculos y generación de gráficos.
2. La herramienta presenta mayor interacción con el usuario al usar botones y ventanas emergentes con una interfaz gráfica metodológica, para ejecutar acciones o instrucciones de cálculo y permitir una mayor afinidad con los conceptos.
3. El informe de resultados generado mediante la herramienta servirá como base para la posterior realización de un informe más completo según el usuario lo demande, en él se imprimen los gráficos necesarios para la interpretación del análisis de revisión energética de un SGE.
4. La herramienta es de gran utilidad, porque la norma ISO 50001 pide que la entidad lleve un seguimiento de los métodos utilizados en el proceso de revisión, además de ser necesario hay la posibilidad de hacer una predicción para las producciones del siguiente año con los diferentes complementos de Excel.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

1. UPME. Proyección de la demanda de energía eléctrica y potencia máxima en Colombia. Colombia : s.n., 2017.
2. ICONTEC. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC ISO-50001. Bogotá : s.n., 2018.
3. . Excel 2019 Power Programming With VBA, Michael Alexander
4. Prías, Omar Fredy y Campos, Juan Carlos. Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía-Guía con base en la norma ISO 50001. Bogotá : s.n., 2013.
5. ISOTools. ISOTools. [En línea] 2018. <https://www.isotools.org/normas/>.
6. ICONTEC. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC-ISO 50001. Bogota D.
7. Energy efficiency improvement in the cement industry by wet process through integral energy management system implementation, Rosaura Del Pilar Castrillon MSc., Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia,2012.
8. El método de Chebyshev para el cálculo de las raíces de ecuaciones no lineales, Martín García Olivo (2013).

## 12. ANEXO

### ANEXO A: CODIGO DE PROGRAMACION VISUAL BASIC (LIMPIAR DATOS)

Sub Limpiar()

'DEFINICIÓN DE VARIABLES

Dim i As Double

Dim j As Double

i = Cells(1, 16382)

j = Cells(1, 16383)

'LIMPIEZA EN GENERAL

Range(Cells(9, 3), Cells(10 + i, 4 + j + 22)).Select

Selection.ClearContents

Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeTop).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlInsideVertical).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlInsideHorizontal).LineStyle = xlNone

With Selection.Interior

.Pattern = xlNone

.TintAndShade = 0

.PatternTintAndShade = 0

End With

'QUITAR LAS COMBINACIONES

Range(Cells(9, 3), Cells(10 + i, 4 + j + 22)).Select

With Selection

.HorizontalAlignment = xlGeneral

```

.VerticalAlignment = xlCenter
.WrapText = False
.Orientation = 0
.AddIndent = False
.IndentLevel = 0
.ShrinkToFit = False
.ReadingOrder = xlContext
.MergeCells = False
End With
With Selection
.HorizontalAlignment = xlGeneral
.VerticalAlignment = xlCenter
.WrapText = False
.Orientation = 0
.AddIndent = False
.IndentLevel = 0
.ShrinkToFit = False
.ReadingOrder = xlContext
.MergeCells = False
End With
With Selection
.HorizontalAlignment = xlGeneral
.VerticalAlignment = xlCenter
.WrapText = False
.Orientation = 0
.AddIndent = False
.IndentLevel = 0
.ShrinkToFit = False
.ReadingOrder = xlContext
.MergeCells = False
End With
With Selection
.HorizontalAlignment = xlGeneral
.VerticalAlignment = xlCenter
.WrapText = False
.Orientation = 0
.AddIndent = False
.IndentLevel = 0
.ShrinkToFit = False
.ReadingOrder = xlContext
.MergeCells = False
End With
With Selection
.HorizontalAlignment = xlGeneral
.VerticalAlignment = xlCenter

```

```

        .WrapText = False
        .Orientation = 0
        .AddIndent = False
        .IndentLevel = 0
        .ShrinkToFit = False
        .ReadingOrder = xlContext
        .MergeCells = False
    End With
    With Selection
        .HorizontalAlignment = xlGeneral
        .VerticalAlignment = xlCenter
        .WrapText = False
        .Orientation = 0
        .AddIndent = False
        .IndentLevel = 0
        .ShrinkToFit = False
        .ReadingOrder = xlContext
        .MergeCells = False
    End With

    Selection.UnMerge

    Cells(2, 3).Select

End Sub

```

## **ANEXO B: CODIGO DE PROGRAMACION VISUAL BASIC (CALCULAR DATOS)**

```
Sub Calcular()
```

```
'DEFINICIÓN DE VARIABLES
```

```

Dim i As Double
Dim j As Double
Dim h As Double
Dim w As Double
Dim f As Double
Dim fa As Double
Dim fas As Double
Dim fass As Double
Dim fap As Double
Dim fapp As Double
Dim nel As Double
Dim nell As Double

```

Dim net As Double  
Dim nett As Double  
Dim far As Double  
Dim farr As Double  
Dim faz As Double  
Dim fazz As Double  
Dim Pend As Double  
Dim Corte As Double  
Dim pot As Double  
Dim pott As Double  
Dim fok As Double  
Dim da As Double  
Dim min As Double  
Dim ta As Double  
Dim wa As Double  
Dim wap As Double  
Dim wapp As Double  
Dim wappp As Double  
Dim wal As Double  
Dim hp As Double  
Dim jo As Double  
Dim asd As Double  
Dim hulk As Double  
Dim contador As Double  
Dim cortemeta As Double  
Dim foss As Double  
Dim corteprom As Double  
Dim holita As Double

Dim promprod As Double  
Dim promener As Double

Dim desvprod As Double  
Dim desvener As Double

i = Cells(1, 16382)  
j = Cells(1, 16383)

'CÁLCULO DE LA COLUMNA SUMATORIA

For h = 1 To i

Cells(10 + h, 4 + j + 1) = Application.WorksheetFunction.Sum(Range(Cells(10 + h, 5), Cells(10 + h, 4 + j)))

Next

'BORRADO DE LOS VALORES DE LA REGRESIÓN MÚLTIPLE ANTERIOR

```
Selection.End(xlDown).Select
Range("A999998:L999998").Select
ActiveWindow.SmallScroll Down:=30
Selection.AutoFill Destination:=Range("A999998:L1001336"), Type:= _
    xlFillDefault
Range("A999998:L1001336").Select
```

'APLICACIÓN DE LA REGRESIÓN MÚLTIPLE PARA LA TABLA DINÁMICA

```
Application.Run "ATPVBAEN.XLAM!Regress", ActiveSheet.Range(Cells(11, 5 +
j), Cells(10 + i, 5 + j)), _
ActiveSheet.Range(Cells(11, 5), Cells(10 + i, j + 4)), False, False, ,
ActiveSheet.Range( _
"$A$1000000"), False, False, False, False, , False
```

'CÁLCULO DE LA PRODUCCIÓN EQUIVALENTE

For jo = 1 To i

```
Cells(10 + jo, j + 6) = Cells(10 + jo, 5) + (Cells(1000018, 2) / Cells(1000017, 2)) *
(Cells(10 + jo, 6) + (Cells(1000019, 2) / Cells(1000017, 2)) * (Cells(10 + jo, 7)) +
(Cells(1000020, 2) / Cells(1000017, 2)) * (Cells(10 + jo, 8)) + (Cells(1000021, 2) /
Cells(1000017, 2)) * (Cells(10 + jo, 9)) + (Cells(1000022, 2) / Cells(1000017, 2)) *
(Cells(10 + jo, 10)) + (Cells(1000023, 2) / Cells(1000017, 2)) * (Cells(10 + jo, 11)) +
(Cells(1000024, 2) / Cells(1000017, 2)) * (Cells(10 + jo, 12)) + (Cells(1000025, 2) /
Cells(1000017, 2)) * (Cells(10 + jo, 13)) + (Cells(1000026, 2) / Cells(1000017, 2)) *
(Cells(10 + jo, 14)) + (Cells(1000027, 2) / Cells(1000017, 2)) * (Cells(10 + jo, 15)) +
(Cells(1000028, 2) / Cells(1000017, 2)) * (Cells(10 + jo, 16)) + (Cells(1000029, 2) /
Cells(1000017, 2)) * (Cells(10 + jo, 17)) + (Cells(1000030, 2) / Cells(1000017, 2)) *
(Cells(10 + jo, 18)) + (Cells(1000031, 2) / Cells(1000017, 2)) * (Cells(10 + jo, 19)) _
+ (Cells(1000032, 2) / Cells(1000017, 2)) * (Cells(10 + jo, 20)) + (Cells(1000033,
2) / Cells(1000017, 2)) * (Cells(10 + jo, 21)) + (Cells(1000034, 2) / Cells(1000017,
2)) * (Cells(10 + jo, 22)) + (Cells(1000035, 2) / Cells(1000017, 2)) * (Cells(10 + jo,
23)) + (Cells(1000036, 2) / Cells(1000017, 2)) * (Cells(10 + jo, 24)) +
(Cells(1000037, 2) / Cells(1000017, 2)) * (Cells(10 + jo, 25)) + (Cells(1000038, 2) /
Cells(1000017, 2)) * (Cells(10 + jo, 26)) + (Cells(1000039, 2) / Cells(1000017, 2)) *
(Cells(10 + jo, 27)) + (Cells(1000040, 2) / Cells(1000017, 2)) * (Cells(10 + jo, 28)) +
(Cells(1000041, 2) / Cells(1000017, 2)) * (Cells(10 + jo, 29)) + (Cells(1000042, 2) /
Cells(1000017, 2)) * (Cells(10 + jo, 30)) + (Cells(1000043, 2) / Cells(1000017, 2)) *
(Cells(10 + jo, 31)) + (Cells(1000044, 2) / Cells(1000017, 2)) * (Cells(10 + jo, 32)) +
```



(Cells(1000101, 2) / Cells(1000017, 2)) \* (Cells(10 + jo, 89)) + (Cells(1000102, 2) /  
 Cells(1000017, 2)) \* (Cells(10 + jo, 90)) + (Cells(1000103, 2) / Cells(1000017, 2)) \*  
 (Cells(10 + jo, 91)) + (Cells(1000104, 2) / Cells(1000017, 2)) \* (Cells(10 + jo, 92)) +  
 (Cells(1000105, 2) / Cells(1000017, 2)) \* (Cells(10 + jo, 93)) + (Cells(1000106, 2) /  
 Cells(1000017, 2)) \* (Cells(10 + jo, 94)) \_  
 + (Cells(1000107, 2) / Cells(1000017, 2)) \* (Cells(10 + jo, 95)) + (Cells(1000108,  
 2) / Cells(1000017, 2)) \* (Cells(10 + jo, 96)) + (Cells(1000109, 2) / Cells(1000017,  
 2)) \* (Cells(10 + jo, 97)) + (Cells(1000110, 2) / Cells(1000017, 2)) \* (Cells(10 + jo,  
 98)) + (Cells(1000111, 2) / Cells(1000017, 2)) \* (Cells(10 + jo, 99))

Next

'BORRADO DEL COLOR DE LAS CELDAS CON VALORES ATÍPICOS

Range(Cells(11, j + 16), Cells(10 + i, j + 17)).Select

With Selection.Interior

.Pattern = xlNone

.TintAndShade = 0

.PatternTintAndShade = 0

End With

'CÁLCULO DE TODOS LOS ENERGÉTICOS SEGÚN LAS UNIDADES  
RESPECTIVAS

If Cells(1, 16384) = "kWh" Then

'ELECTRICIDAD

For fas = 1 To i

Cells(10 + fas, 8 + j) = Cells(10 + fas, 7 + j)

Next

'CARBÓN

If Cells(2, 16384) = "Kg" Then

For fap = 1 To i

Cells(10 + fap, 10 + j) = Cells(10 + fap, 9 + j) \* (1 / 3600) \* Cells(4, 16384)

Next

```

Else

For nel = 1 To i

Cells(10 + nel, 10 + j) = Cells(10 + nel, 9 + j) * (1000) * (1 / 3600) * Cells(4,
16384)

Next

End If

'GAS

For net = 1 To i

Cells(10 + net, 12 + j) = Cells(10 + net, 11 + j) * (1 / 3412.14) * Cells(5, 16384)

Next

'FUEL OIL

If Cells(3, 16384) = "Lt" Then

For far = 1 To i

Cells(10 + far, 14 + j) = Cells(10 + far, 13 + j) * (1 / 3600) * Cells(6, 16384) *
Cells(7, 16384)

Next

Else

For farr = 1 To i

Cells(10 + farr, 14 + j) = Cells(10 + farr, 13 + j) * Cells(6, 16384) * Cells(7,
16384) * (1 / 264.172) * (1 / 3600) * (1 / 0.001)

Next

End If

Else 'PUNTO DE INFLEXIÓN DEL CONDICIONAL, APLICA SI SE ELIGE BTU

'ELECTRICIDAD

```

```

For fass = 1 To i
Cells(10 + fass, 8 + j) = Cells(10 + fass, 7 + j) * 3412.14
Next
'CARBÓN
If Cells(2, 16384) = "Kg" Then
For fapp = 1 To i
Cells(10 + fapp, 10 + j) = Cells(10 + fapp, 9 + j) * (1 / 3600) * Cells(4, 16384) *
3412.14
Next
Else
For nell = 1 To i
Cells(10 + nell, 10 + j) = Cells(10 + nell, 9 + j) * (1000) * (1 / 3600) * Cells(4,
16384) * 3412.14
Next
End If
'GAS
For nett = 1 To i
Cells(10 + nett, 12 + j) = Cells(10 + nett, 11 + j) * Cells(5, 16384)
Next
'FUEL OIL
If Cells(3, 16384) = "Lt" Then
For faz = 1 To i
Cells(10 + faz, 14 + j) = Cells(10 + faz, 13 + j) * (3412.14 / 3600) * Cells(6,
16384) * Cells(7, 16384)

```

```

Next
Else
For fazz = 1 To i
Cells(10 + fazz, 14 + j) = Cells(10 + fazz, 13 + j) * Cells(6, 16384) * Cells(7,
16384) * (10 / 36) * (1 / 264.172) * (3412.14)
Next
End If
End If

'CÁLCULO DE LA ENERGÍA TOTAL EQUIVALENTE

For fa = 1 To i
Cells(10 + fa, 15 + j) = Cells(10 + fa, j + 8) + Cells(10 + fa, j + 10) + Cells(10 +
fa, j + 12) + Cells(10 + fa, j + 14)
Next

'CÁLCULO DE LOS PROMEDIOS Y DESVIACIONES

promprod = Application.WorksheetFunction.Average(Range(Cells(11, j + 6),
Cells(10 + i, j + 6)))
promener = Application.WorksheetFunction.Average(Range(Cells(11, j + 15),
Cells(10 + i, j + 15)))

desvprod = Application.WorksheetFunction.StDev(Range(Cells(11, j + 6),
Cells(10 + i, j + 6)))
desvener = Application.WorksheetFunction.StDev(Range(Cells(11, j + 15),
Cells(10 + i, j + 15)))

'GENERACIÓN DE LA LÍNEA DE TENDENCIA

For w = 1 To i
Cells(2 + w, 16382) = Cells(10 + w, j + 6) * Cells(10 + w, j + 15)
Cells(2 + w, 16383) = Cells(10 + w, j + 6) * Cells(10 + w, j + 6)
Next

```

```
Cells(3 + i, 16380) = Application.WorksheetFunction.Sum(Range(Cells(11, j + 6), Cells(i + 10, j + 6)))
```

```
Cells(3 + i, 16381) = Application.WorksheetFunction.Sum(Range(Cells(11, j + 15), Cells(i + 10, j + 15)))
```

```
Cells(3 + i, 16382) = Application.WorksheetFunction.Sum(Range(Cells(3, 16382), Cells(2 + i, 16382)))
```

```
Cells(3 + i, 16383) = Application.WorksheetFunction.Sum(Range(Cells(3, 16383), Cells(2 + i, 16383)))
```

```
Pend = ((i) * Cells(3 + i, 16382) - Cells(3 + i, 16380) * Cells(3 + i, 16381)) / ((i) * Cells(3 + i, 16383) - Cells(3 + i, 16380) * Cells(3 + i, 16380))
```

```
Corte = (Cells(3 + i, 16381) / i) - Pend * (Cells(3 + i, 16380) / i)
```

```
'CÁLCULO DE LA ENERGÍA BASE
```

```
For f = 1 To i
```

```
Cells(10 + f, 18 + j) = Pend * Cells(10 + f, j + 6) + Corte
```

```
Next
```

```
'CÁLCULO DE LA ENERGÍA META
```

```
For fok = 1 To i
```

```
Cells(10 + fok, 19 + j) = Pend * Cells(10 + fok, j + 6) + Cells(9, 16384)
```

```
Next
```

```
'EVALUACIÓN DE LOS VALORES ATÍPICOS DE LA PRODUCCIÓN
```

```
For pot = 1 To i
```

```
If (Cells(10 + pot, j + 6) <= (promprod + Cells(8, 16384) * desvprod)) And  
(Cells(10 + pot, j + 6) >= (promprod - Cells(8, 16384) * desvprod)) Then
```

```
Else
```

```
Cells(10 + pot, j + 16).Select
```

```
With Selection.Interior
```

```
.Pattern = xlSolid
```

```
.PatternColorIndex = xlAutomatic
```

```

        .Color = 49407
        .TintAndShade = 0
        .PatternTintAndShade = 0
    End With

End If

Next

'EVALUACIÓN DE LOS VALORES ATÍPICOS DE LA ENERGÍA
For pott = 1 To i

    If (Cells(10 + pott, j + 15) <= (promener + Cells(8, 16384) * desvener)) And
    (Cells(10 + pott, j + 15) >= (promener - Cells(8, 16384) * desvener)) Then

        Else

            Cells(10 + pott, j + 17).Select

            With Selection.Interior
                .Pattern = xlSolid
                .PatternColorIndex = xlAutomatic
                .Color = 49407
                .TintAndShade = 0
                .PatternTintAndShade = 0
            End With

        End If

    Next

'DIFERENCIA PARA LA EC. DE ENERGÍA META

For hulk = 1 To i

    Cells(hulk, 16379) = Cells(10 + hulk, j + 15) - Cells(10 + hulk, j + 19)

Next

'APLICANDO LA FUNCIÓN MÍNIMO

Cells(10, 16384) = Application.WorksheetFunction.min(Range(Cells(1, 16379),
Cells(i, 16379)))

```

'IDENTIFICANDO LA FILA CON LA CELDA QUE TIENE EL MÍNIMO

For asd = 1 To i

If Cells(10, 16384) = Cells(asd, 16379) Then

contador = asd

Else

End If

Next

'CÁLCULO DEL CORTE DE LA LÍNEA META

cortemeta = Cells(contador + 10, j + 15) - Pend \* Cells(contador + 10, j + 6)

'CÁLCULO DEL CORTE DE LA LÍNEA PROMEDIO

corteprom = (Corte + cortemeta) / 2

'RECÁLCULO DE LA ENERGÍA META

For foss = 1 To i

Cells(10 + foss, 19 + j) = Pend \* Cells(10 + foss, j + 6) + corteprom

Next

'CÁLCULO DE IDEN DATOS

For wa = 1 To i

Cells(10 + wa, j + 20) = Cells(10 + wa, j + 15) / Cells(10 + wa, j + 6)

Next

'CÁLCULO DE IDEN EC LB

For hp = 1 To i

Cells(10 + hp, j + 21) = Pend + Corte / Cells(10 + hp, j + 6)

Next

'CÁLCULO DE IDENTEC LM

For holita = 1 To i

Cells(10 + holita, j + 22) = Pend + corteprom / Cells(10 + holita, j + 6)

Next

'CÁLCULO DE INDICADOR BASE 100

For wap = 1 To i

Cells(10 + wap, j + 23) = 100 \* Cells(10 + wap, j + 15) / Cells(10 + wap, j + 18)

Next

'CÁLCULO DE (-E0/P^2)

For wapp = 1 To i

Cells(10 + wapp, j + 24) = -Corte / ((Cells(10 + wapp, j + 6)) ^ 2)

Next

'CÁLCULO DEL COSUM (-E0/P^2)

Cells(11, j + 25) = Cells(11, j + 24)

For wappp = 1 To i - 1

Cells(11 + wappp, j + 25) = Cells(11 + wappp, j + 24) + Cells(10 + wappp, j + 25)

Next

'CÁLCULO DE LA RAZÓN DE CAMBIO (-E0/P^2)

For wal = 1 To i - 1

Cells(11 + wal, j + 26) = (Cells(11 + wal, j + 25) - Cells(10 + wal, j + 25)) /  
Cells(10 + wal, j + 25)

Next

'IMPRESIÓN DE LOS VALORES DE LAS FUNCIONES CONSIDERADAS

Cells(5, 7) = Pend  
Cells(6, 7) = Pend  
Cells(7, 7) = Pend

Cells(5, 8) = Corte  
Cells(6, 8) = cortemeta  
Cells(7, 8) = corteprom

'IMPRESIÓN DE LOS ESTADÍSTICOS

Cells(4, 12) = promprod  
Cells(5, 12) = desvprod  
Cells(6, 12) = promprod + Cells(8, 16384) \* desvprod  
Cells(7, 12) = promprod - Cells(8, 16384) \* desvprod

Cells(4, 13) = promener  
Cells(5, 13) = desvener  
Cells(6, 13) = promener + Cells(8, 16384) \* desvener  
Cells(7, 13) = promener - Cells(8, 16384) \* desvener

'SELECCIÓN DE LA CELDA FINAL TRAS LOS CÁLCULOS  
Cells(11, 3).Select

End Sub

### **ANEXO C: CODIGO DE PROGRAMACION VISUAL BASIC (GENERAR INFORME Y GRAFICOS)**

Sub PrintResults()

'GENERACIÓN DE INFORME EN PDF

Range("K30").Select  
Selection.End(xlDown).Select  
Selection.End(xlDown).Select  
Range("K1048573").Select  
Selection.End(xlToRight).Select  
Range("XFD1048559").Select  
Selection.End(xlToLeft).Select  
Range("A1048558").Select  
Selection.End(xlToRight).Select  
Selection.End(xlUp).Select  
Range("XEB1045175:XEH1045211").Select

```

Application.PrintCommunication = False
With ActiveSheet.PageSetup
    .PrintTitleRows = ""
    .PrintTitleColumns = ""
End With
Application.PrintCommunication = True
ActiveSheet.PageSetup.PrintArea = ""
Application.PrintCommunication = False
With ActiveSheet.PageSetup
    .LeftHeader = ""
    .CenterHeader = ""
    .RightHeader = ""
    .LeftFooter = ""
    .CenterFooter = ""
    .RightFooter = ""
    .LeftMargin = Application.InchesToPoints(0.393700787401575)
    .RightMargin = Application.InchesToPoints(0.393700787401575)
    .TopMargin = Application.InchesToPoints(0.393700787401575)
    .BottomMargin = Application.InchesToPoints(0.393700787401575)
    .HeaderMargin = Application.InchesToPoints(0.31496062992126)
    .FooterMargin = Application.InchesToPoints(0.31496062992126)
    .PrintHeadings = False
    .PrintGridlines = False
    .PrintComments = xlPrintNoComments
    .PrintQuality = 600
    .CenterHorizontally = True
    .CenterVertically = True
    .Orientation = xlPortrait
    .Draft = False
    .PaperSize = xlPaperLetter
    .FirstPageNumber = xlAutomatic
    .Order = xlDownThenOver
    .BlackAndWhite = False
    .Zoom = 100
    .PrintErrors = xlPrintErrorsDisplayed
    .OddAndEvenPagesHeaderFooter = False
    .DifferentFirstPageHeaderFooter = False
    .ScaleWithDocHeaderFooter = True
    .AlignMarginsHeaderFooter = True
    .EvenPage.LeftHeader.Text = ""
    .EvenPage.CenterHeader.Text = ""
    .EvenPage.RightHeader.Text = ""
    .EvenPage.LeftFooter.Text = ""
    .EvenPage.CenterFooter.Text = ""
    .EvenPage.RightFooter.Text = ""

```

```

.FirstPage.LeftHeader.Text = ""
.FirstPage.CenterHeader.Text = ""
.FirstPage.RightHeader.Text = ""
.FirstPage.LeftFooter.Text = ""
.FirstPage.CenterFooter.Text = ""
.FirstPage.RightFooter.Text = ""
End With
Application.PrintCommunication = True
Application.PrintCommunication = False
With ActiveSheet.PageSetup
    .PrintTitleRows = ""
    .PrintTitleColumns = ""
End With
Application.PrintCommunication = True
ActiveSheet.PageSetup.PrintArea = ""
Application.PrintCommunication = False
With ActiveSheet.PageSetup
    .LeftHeader = ""
    .CenterHeader = ""
    .RightHeader = ""
    .LeftFooter = ""
    .CenterFooter = ""
    .RightFooter = ""
    .LeftMargin = Application.InchesToPoints(0.393700787401575)
    .RightMargin = Application.InchesToPoints(0.393700787401575)
    .TopMargin = Application.InchesToPoints(0.393700787401575)
    .BottomMargin = Application.InchesToPoints(0.393700787401575)
    .HeaderMargin = Application.InchesToPoints(0.31496062992126)
    .FooterMargin = Application.InchesToPoints(0.31496062992126)
    .PrintHeadings = False
    .PrintGridlines = False
    .PrintComments = xlPrintNoComments
    .PrintQuality = 600
    .CenterHorizontally = True
    .CenterVertically = True
    .Orientation = xlPortrait
    .Draft = False
    .PaperSize = xlPaperLetter
    .FirstPageNumber = xlAutomatic
    .Order = xlDownThenOver
    .BlackAndWhite = False
    .Zoom = False
    .FitToPagesWide = 1
    .FitToPagesTall = 1
    .PrintErrors = xlPrintErrorsDisplayed

```

```

.OddAndEvenPagesHeaderFooter = False
.DifferentFirstPageHeaderFooter = False
.ScaleWithDocHeaderFooter = True
.AlignMarginsHeaderFooter = True
.EvenPage.LeftHeader.Text = ""
.EvenPage.CenterHeader.Text = ""
.EvenPage.RightHeader.Text = ""
.EvenPage.LeftFooter.Text = ""
.EvenPage.CenterFooter.Text = ""
.EvenPage.RightFooter.Text = ""
.FirstPage.LeftHeader.Text = ""
.FirstPage.CenterHeader.Text = ""
.FirstPage.RightHeader.Text = ""
.FirstPage.LeftFooter.Text = ""
.FirstPage.CenterFooter.Text = ""
.FirstPage.RightFooter.Text = ""
End With
Application.PrintCommunication = True
Application.PrintCommunication = False
With ActiveSheet.PageSetup
    .PrintTitleRows = ""
    .PrintTitleColumns = ""
End With
Application.PrintCommunication = True
ActiveSheet.PageSetup.PrintArea = ""
Application.PrintCommunication = False
With ActiveSheet.PageSetup
    .LeftHeader = ""
    .CenterHeader = ""
    .RightHeader = ""
    .LeftFooter = ""
    .CenterFooter = ""
    .RightFooter = ""
    .LeftMargin = Application.InchesToPoints(0.393700787401575)
    .RightMargin = Application.InchesToPoints(0.393700787401575)
    .TopMargin = Application.InchesToPoints(0.393700787401575)
    .BottomMargin = Application.InchesToPoints(0.393700787401575)
    .HeaderMargin = Application.InchesToPoints(0.31496062992126)
    .FooterMargin = Application.InchesToPoints(0.31496062992126)
    .PrintHeadings = False
    .PrintGridlines = False
    .PrintComments = xlPrintNoComments
    .PrintQuality = 600
    .CenterHorizontally = True
    .CenterVertically = True

```

```

.Orientation = xlPortrait
.Draft = False
.PaperSize = xlPaperLetter
.FirstPageNumber = xlAutomatic
.Order = xlDownThenOver
.BlackAndWhite = False
.Zoom = False
.FitToPagesWide = 1
.FitToPagesTall = 0
.PrintErrors = xlPrintErrorsDisplayed
.OddAndEvenPagesHeaderFooter = False
.DifferentFirstPageHeaderFooter = False
.ScaleWithDocHeaderFooter = True
.AlignMarginsHeaderFooter = True
.EvenPage.LeftHeader.Text = ""
.EvenPage.CenterHeader.Text = ""
.EvenPage.RightHeader.Text = ""
.EvenPage.LeftFooter.Text = ""
.EvenPage.CenterFooter.Text = ""
.EvenPage.RightFooter.Text = ""
.FirstPage.LeftHeader.Text = ""
.FirstPage.CenterHeader.Text = ""
.FirstPage.RightHeader.Text = ""
.FirstPage.LeftFooter.Text = ""
.FirstPage.CenterFooter.Text = ""
.FirstPage.RightFooter.Text = ""
End With
Application.PrintCommunication = True
Application.PrintCommunication = False
With ActiveSheet.PageSetup
    .PrintTitleRows = ""
    .PrintTitleColumns = ""
End With
Application.PrintCommunication = True
ActiveSheet.PageSetup.PrintArea = ""
Application.PrintCommunication = False
With ActiveSheet.PageSetup
    .LeftHeader = ""
    .CenterHeader = ""
    .RightHeader = ""
    .LeftFooter = ""
    .CenterFooter = ""
    .RightFooter = ""
    .LeftMargin = Application.InchesToPoints(0.393700787401575)
    .RightMargin = Application.InchesToPoints(0.393700787401575)

```

```

.TopMargin = Application.InchesToPoints(0.393700787401575)
.BottomMargin = Application.InchesToPoints(0.393700787401575)
.HeaderMargin = Application.InchesToPoints(0.31496062992126)
.FooterMargin = Application.InchesToPoints(0.31496062992126)
.PrintHeadings = False
.PrintGridlines = False
.PrintComments = xlPrintNoComments
.PrintQuality = 600
.CenterHorizontally = True
.CenterVertically = True
.Orientation = xlPortrait
.Draft = False
.PaperSize = xlPaperLetter
.FirstPageNumber = xlAutomatic
.Order = xlDownThenOver
.BlackAndWhite = False
.Zoom = False
.FitToPagesWide = 0
.FitToPagesTall = 1
.PrintErrors = xlPrintErrorsDisplayed
.OddAndEvenPagesHeaderFooter = False
.DifferentFirstPageHeaderFooter = False
.ScaleWithDocHeaderFooter = True
.AlignMarginsHeaderFooter = True
.EvenPage.LeftHeader.Text = ""
.EvenPage.CenterHeader.Text = ""
.EvenPage.RightHeader.Text = ""
.EvenPage.LeftFooter.Text = ""
.EvenPage.CenterFooter.Text = ""
.EvenPage.RightFooter.Text = ""
.FirstPage.LeftHeader.Text = ""
.FirstPage.CenterHeader.Text = ""
.FirstPage.RightHeader.Text = ""
.FirstPage.LeftFooter.Text = ""
.FirstPage.CenterFooter.Text = ""
.FirstPage.RightFooter.Text = ""
End With
Application.PrintCommunication = True
Application.PrintCommunication = False
With ActiveSheet.PageSetup
    .PrintTitleRows = ""
    .PrintTitleColumns = ""
End With
Application.PrintCommunication = True
ActiveSheet.PageSetup.PrintArea = ""

```

```
Application.PrintCommunication = False
With ActiveSheet.PageSetup
    .LeftHeader = ""
    .CenterHeader = ""
    .RightHeader = ""
    .LeftFooter = ""
    .CenterFooter = ""
    .RightFooter = ""
    .LeftMargin = Application.InchesToPoints(0.393700787401575)
    .RightMargin = Application.InchesToPoints(0.393700787401575)
    .TopMargin = Application.InchesToPoints(0.393700787401575)
    .BottomMargin = Application.InchesToPoints(0.393700787401575)
    .HeaderMargin = Application.InchesToPoints(0.31496062992126)
    .FooterMargin = Application.InchesToPoints(0.31496062992126)
    .PrintHeadings = False
    .PrintGridlines = False
    .PrintComments = xlPrintNoComments
    .PrintQuality = 600
    .CenterHorizontally = True
    .CenterVertically = True
    .Orientation = xlPortrait
    .Draft = False
    .PaperSize = xlPaperLetter
    .FirstPageNumber = xlAutomatic
    .Order = xlDownThenOver
    .BlackAndWhite = False
    .Zoom = False
    .FitToPagesWide = 1
    .FitToPagesTall = 1
    .PrintErrors = xlPrintErrorsDisplayed
    .OddAndEvenPagesHeaderFooter = False
    .DifferentFirstPageHeaderFooter = False
    .ScaleWithDocHeaderFooter = True
    .AlignMarginsHeaderFooter = True
    .EvenPage.LeftHeader.Text = ""
    .EvenPage.CenterHeader.Text = ""
    .EvenPage.RightHeader.Text = ""
    .EvenPage.LeftFooter.Text = ""
    .EvenPage.CenterFooter.Text = ""
    .EvenPage.RightFooter.Text = ""
    .FirstPage.LeftHeader.Text = ""
    .FirstPage.CenterHeader.Text = ""
    .FirstPage.RightHeader.Text = ""
    .FirstPage.LeftFooter.Text = ""
    .FirstPage.CenterFooter.Text = ""
```

```

        .FirstPage.RightFooter.Text = ""
    End With
    Application.PrintCommunication = True
    Selection.PrintOut Copies:=1, Collate:=True

End Sub
Sub cero()

'SELECCIÓN DE CELDA POR DEFECTO

Cells(900001, 16374).Select

'DECLARACIÓN DE VARIABLES

Dim one As Double
Dim two As Double
Dim three As Double
Dim four As Double

i = Cells(1, 16382)

'GENERACIÓN DE LA TABLA ACUM. Y ACUM. %

'LÍNEA

For one = 1 To i

Cells(900000 + one, 16374) = Cells(10 + one, 4)

Next

'ENERGÍA

For two = 1 To i

Cells(900000 + two, 16375) = Cells(10 + two, 15 + Cells(1, 16383))

Next

'ORDENAMIENTO DE LÍNEA Y ENERGÍA

Range(Cells(900001, 16375), Cells(900000 + i, 16375)).Select
ActiveSheet.Sort.SortFields.Clear
ActiveSheet.Sort.SortFields.Add2 Key:=Range(Cells(900001, 16375),
Cells(900000 + i, 16375)), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlDescending, _

```

```
DataOption:=xlSortNormal
```

```
With ActiveSheet.Sort
```

```
.SetRange Range(Cells(900001, 16374), Cells(900000 + i, 16375))
```

```
.Header = xlNo
```

```
.MatchCase = False
```

```
.Orientation = xlTopToBottom
```

```
.SortMethod = xlPinYin
```

```
.Apply
```

```
End With
```

```
'ACUM.
```

```
For three = 1 To i - 1
```

```
Cells(900001, 16377) = Cells(900001, 16375)
```

```
Cells(900001 + three, 16377) = Cells(900000 + three, 16377) + Cells(900001 +  
three, 16375)
```

```
Next
```

```
'ACUM.%
```

```
For four = 1 To i
```

```
Cells(900000 + four, 16376) = Cells(900000 + four, 16377) / Cells(900000 + i,  
16377)
```

```
Next
```

```
'GENERACIÓN DEL DIAGRAMA DE PARETO
```

```
Range(Cells(900001, 16374), Cells(900000 + i, 16376)).Select  
ActiveSheet.Shapes.AddChart2(366, xlPareto).Select
```

```
ActiveChart.ChartTitle.Select
```

```
ActiveChart.SetElement (msoElementChartTitleNone)
```

```
'SELECCIÓN DE CELDA POR DEFECTO
```

```
Cells(899989, 16371).Select
```

```
End Sub
```

Sub Uno()

'LIMPIAR RESULTADOS ANTERIORES

```
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 106").Activate  
ActiveChart.PlotArea.Select  
ActiveChart.FullSeriesCollection(2).Delete  
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Delete
```

'GENERACIÓN DEL PRIMER GRÁFICO

```
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 106").Activate  
Application.CutCopyMode = False  
Application.CutCopyMode = False  
Application.CutCopyMode = False  
Application.CutCopyMode = False
```

'ENERGÍA

```
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries  
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Name = ""Energía""
```

```
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).XValues = Range(Cells(11, 3), Cells(10 +  
Cells(1, 16382), 3))
```

```
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Values = Range(Cells(11, 15 + Cells(1,  
16383)), Cells(10 + Cells(1, 16382), 15 + Cells(1, 16383)))
```

'PRODUCCIÓN

```
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries  
ActiveChart.FullSeriesCollection(2).Name = ""Producción""
```

```
ActiveChart.FullSeriesCollection(2).XValues = Range(Cells(11, 3), Cells(10 +  
Cells(1, 16382), 3))
```

```
ActiveChart.FullSeriesCollection(2).Values = Range(Cells(11, Cells(1, 16383) +  
6), Cells(10 + Cells(1, 16382), Cells(1, 16383) + 6))
```

'EJE SECUNDARIO

```
ActiveChart.FullSeriesCollection(2).AxisGroup = 2
```

'SELECCIÓN DE CELDA POR DEFECTO

```

Cells(11, 3).Select

End Sub

Sub Dos()

'LIMPIAR RESULTADOS ANTERIORES

ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 3").Activate
ActiveChart.PlotArea.Select
Application.CutCopyMode = False
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Delete
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Delete

'GENERACIÓN DEL SEGUNDO GRÁFICO

ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 3").Activate
Application.CutCopyMode = False
Application.CutCopyMode = False

'LÍNEA BASE

ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Name = ""Línea base""
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).XValues = Range(Cells(11, Cells(1, 16383)
+ 6), Cells(10 + Cells(1, 16382), Cells(1, 16383) + 6))
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Values = Range(Cells(11, 15 + Cells(1,
16383)), Cells(10 + Cells(1, 16382), 15 + Cells(1, 16383)))

'LÍNEA DE TENDENCIA

ActiveChart.SeriesCollection(1).Trendlines.Add
ActiveChart.SeriesCollection(1).Trendlines(1).Select
Selection.DisplayRSquared = True
Selection.DisplayEquation = True

ActiveChart.HasLegend = True

'LÍNEA META

ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(2).Name = ""Línea meta""

ActiveChart.FullSeriesCollection(2).XValues = Range(Cells(11, Cells(1, 16383)
+ 6), Cells(10 + Cells(1, 16382), Cells(1, 16383) + 6))

```

```
ActiveChart.FullSeriesCollection(2).Values = Range(Cells(11, Cells(1, 16383) + 19), Cells(10 + Cells(1, 16382), Cells(1, 16383) + 19))
```

```
'LÍNEA DE TENDENCIA
```

```
ActiveChart.SeriesCollection(2).Trendlines.Add  
ActiveChart.SeriesCollection(2).Trendlines(1).Select  
Selection.DisplayRSquared = True  
Selection.DisplayEquation = True
```

```
'SELECCIÓN DE CELDA POR DEFECTO
```

```
Cells(11, 3).Select
```

```
End Sub
```

```
Sub Tres()
```

```
'LIMPIAR RESULTADOS ANTERIORES
```

```
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 98").Activate  
ActiveChart.PlotArea.Select  
ActiveChart.FullSeriesCollection(2).Delete  
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Delete
```

```
'GENERACIÓN DEL PRIMER GRÁFICO
```

```
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 98").Activate  
Application.CutCopyMode = False  
Application.CutCopyMode = False  
Application.CutCopyMode = False  
Application.CutCopyMode = False
```

```
'IDEN
```

```
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries  
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Name = ""IDEN""
```

```
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).XValues = Range(Cells(11, 3), Cells(10 + Cells(1, 16382), 3))
```

```
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Values = Range(Cells(11, 20 + Cells(1, 16383)), Cells(10 + Cells(1, 16382), 20 + Cells(1, 16383)))
```

'PRODUCCIÓN

```
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries  
ActiveChart.FullSeriesCollection(2).Name = ""Producción""
```

```
ActiveChart.FullSeriesCollection(2).XValues = Range(Cells(11, 3), Cells(10 +  
Cells(1, 16382), 3))
```

```
ActiveChart.FullSeriesCollection(2).Values = Range(Cells(11, Cells(1, 16383) +  
6), Cells(10 + Cells(1, 16382), Cells(1, 16383) + 6))
```

'EJE SECUNDARIO

```
ActiveChart.FullSeriesCollection(2).AxisGroup = 2
```

'SELECCIÓN DE CELDA POR DEFECTO

```
Cells(11, 3).Select
```

End Sub

Sub Cuatro()

'LIMPIAR RESULTADOS ANTERIORES

```
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 100").Activate  
ActiveChart.PlotArea.Select  
Application.CutCopyMode = False  
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Delete
```

'GENERACIÓN DEL CUARTO GRÁFICO

```
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 100").Activate  
Application.CutCopyMode = False  
Application.CutCopyMode = False
```

'BASE 100

```
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries  
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Name = ""Base 100""  
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).XValues = Range(Cells(11, 3), Cells(10 +  
Cells(1, 16382), 3))  
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Values = Range(Cells(11, 23 + Cells(1,  
16383)), Cells(10 + Cells(1, 16382), 23 + Cells(1, 16383)))
```

```

'SELECCIÓN DE CELDA POR DEFECTO

Cells(11, 3).Select

End Sub

Sub Cinco()

'LIMPIAR RESULTADOS ANTERIORES

ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 119").Activate
ActiveChart.PlotArea.Select
Application.CutCopyMode = False
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Delete

'DECLARACIÓN DE VARIABLES

Dim qw As Double
Dim qwe As Double
Dim qwer As Double
Dim qwert As Double
Dim qwerty As Double

i = Cells(1, 16382)

'GENERACIÓN DE LA TABLA

'PERIODO

For qw = 1 To i

Cells(800000 + qw, 16371) = Cells(10 + qw, 3)

Next

'PRODUCCIÓN EQUIVALENTE

For qwe = 1 To i

Cells(800000 + qwe, 16372) = Cells(10 + qwe, 6 + Cells(1, 16383))

Next

'ORDENAMIENTO DE PRODUCCIÓN EQUIV. Y PERIODO

```

```

Range(Cells(800001, 16372), Cells(800000 + i, 16372)).Select
ActiveSheet.Sort.SortFields.Clear
ActiveSheet.Sort.SortFields.Add2 Key:=Range(Cells(800001, 16372),
Cells(800000 + i, 16372)), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, _
DataOption:=xlSortNormal

```

```

With ActiveSheet.Sort
.SetRange Range(Cells(800001, 16371), Cells(800000 + i, 16372))
.Header = xlNo
.MatchCase = False
.Orientation = xlTopToBottom
.SortMethod = xlPinYin
.Apply
End With

```

```
'-E0/P^2
```

```
For qwer = 1 To i
```

```
Cells(800000 + qwer, 16373) = -Cells(5, 8) / (Cells(800000 + qwer, 16372) ^ 2)
```

```
Next
```

```
'ACUMULADO
```

```
For qwert = 1 To i - 1
```

```
Cells(800001, 16374) = Cells(800001, 16373)
```

```
Cells(800001 + qwert, 16374) = Cells(800000 + qwert, 16374) + Cells(800001 +
qwert, 16373)
```

```
Next
```

```
'RAZÓN DE CAMBIO
```

```
For qwerty = 1 To i - 1
```

```
Cells(800001 + qwerty, 16375) = (Cells(800001 + qwerty, 16374) - Cells(800000
+ qwerty, 16374)) / Cells(800000 + qwerty, 16374)
```

```
Next
```

```
'GENERACIÓN DE LA GRÁFICA
```

```
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 119").Activate  
Application.CutCopyMode = False  
Application.CutCopyMode = False
```

```
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries  
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Name = ""Razón de cambio""  
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).XValues = Range(Cells(800001, 16372),  
Cells(800000 + i, 16372))  
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Values = Range(Cells(800001, 16375),  
Cells(800000 + i, 16375))
```

```
'SELECCIÓN DE CELDA POR DEFECTO
```

```
Cells(11, 3).Select
```

```
End Sub
```

```
Sub CreateGraphs()
```

```
Uno  
Dos  
Tres  
Cuatro  
Cinco
```

```
End Sub
```

# ANEXO D: INFORME GENERADO POR LA HERRAMIENTA DEL ESTUDIO EN LA EMPRESA DE REFERENCIA.

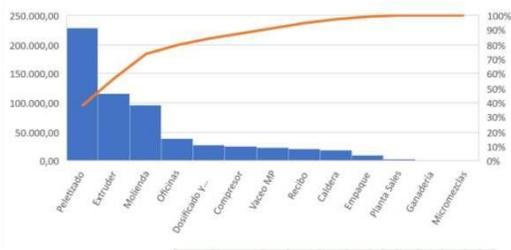
## Informe de Resultados

Funciones lineales de línea base, meta máxima y promedio

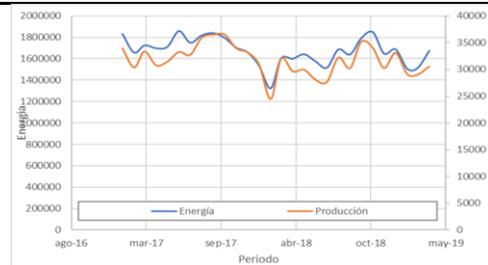
Función	Pendiente	Intercepto
Base	9,2590723 5	311773,08 4
Meta máxim	9,2590723 5	241446,69 2
Promedio	9,2590723 5	276609,88 8

### Gráficos de analisis

**DIAGRAMA DE PARETO**



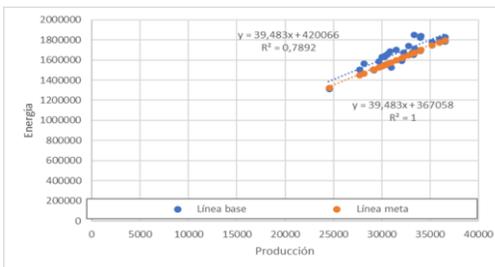
**ENERGÍA Y PRODUCCIÓN RESPECTO AL PERIODO**



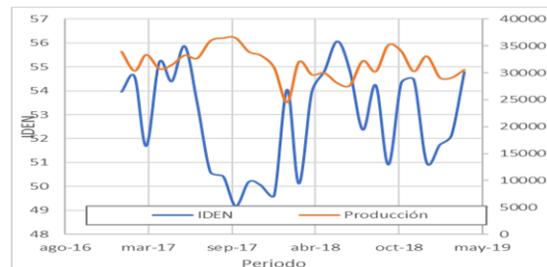
consideraciones:

consideraciones:

**LINEA BASE Y META**



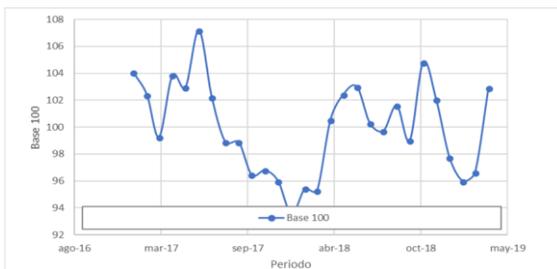
**IDEN Y PRODUCCIÓN RESPECTO AL PERIODO**



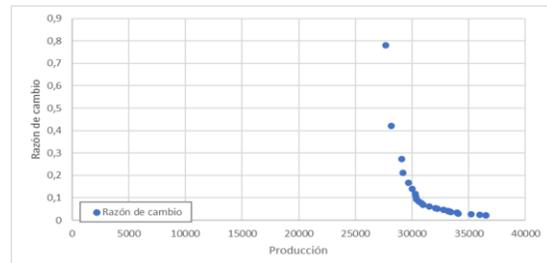
consideraciones:

consideraciones:

**INDICADOR BASE 100 RESPECTO A PERIODO**



**PRODUCCIÓN CRÍTICA**



consideraciones:

consideraciones: