



POSGRADOS

Maestría en **PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES**

RPC-SO-30-NO.506-2019

Opción de Titulación:

PROYECTOS DE DESARROLLO

Tema:

PROPUESTA DE MEJORA DE LA EFICIENCIA
ENERGÉTICA EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN
CUATRO DE LA EMPRESA CERÁMICA RIALTO S.A.

Autor:

FREDDY PATRICIO MATUTE CÁRDENAS

Director:

JOHN IGNACIO CALLE SIGUENCIA

CUENCA – ECUADOR

2025

Autor:**Freddy Patricio Matute Cárdenas**

Ingeniero Eléctrico.

Candidato a Magíster en Producción y Operaciones Industriales por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Cuenca.

fmatutec@est.ups.edu.ec

Dirigido por:**John Ignacio Calle Siguencia**

Ingeniero Mecánico.

Licenciado en Ciencias de la Educación Especialidad Docencia Técnica.

Máster en Gestión y Auditorías Ambientales.

Doctor en Ingeniería Industrial.

jcalle@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

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

DERECHOS RESERVADOS

2025 © Universidad Politécnica Salesiana.

CUENCA – ECUADOR – SUDAMÉRICA

FREDDY PATRICIO MATUTE CÁRDENAS

Propuesta de mejora de la eficiencia energética en la línea de producción cuatro de la empresa Cerámica Rialto S.A.

DEDICATORIA

A mis amados padres, Ángel y Yolanda

Les debo tanto por ser un modelo de integridad y dedicación; desde pequeño me enseñaron la importancia del trabajo arduo y la perseverancia. Agradezco profundamente todos los valores que me inculcaron y su fe inquebrantable en mí. Han sido guías esenciales en todas las etapas de mi vida; anhelo con todo corazón hacerles sentir orgullosos con cada uno de mis logros.

A mi querida esposa, Margoth

Te agradezco por estar siempre a mi lado y brindarme tu apoyo incondicional. Tu paciencia en los momentos difíciles y la confianza que has tenido en mí, incluso cuando mis fuerzas flaqueaban, han sido fundamentales. Sin tu comprensión diaria este sueño no habría podido materializarse.

A mis hijos Jennifer y Fernando

Ustedes son quienes alimentan mi inspiración diaria y dan sentido a mi existencia. Cada sonrisa suya, palabra alentadora o abrazo recibido ha impulsado constantemente lo mejor de mí mismo. Gracias por su amor constante, su comprensión y por acompañarme con alegría a lo largo de este camino.

A toda mi familia este triunfo es tan mío como de ustedes, y se los dedico con profunda gratitud y cariño.

Freddy

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios, cuyo amparo y guía han sido esenciales a lo largo de todo este proceso. Sin su bendición, este logro no habría sido posible.

Deseo también manifestar mi más sincero y profundo agradecimiento al Ing. John Ignacio Calle Sigüencia Phd, cuya invaluable orientación, generosidad y apoyo constante han sido pilares fundamentales para la realización de esta tesis de maestría. Su profesionalismo, paciencia y compromiso con la excelencia han dejado una huella imborrable tanto en mi desarrollo académico como en lo personal.

Extiendo igualmente mi agradecimiento a la empresa Cerámica Rialto S.A., por su confianza, apertura y el valioso respaldo brindado durante esta etapa. Su colaboración ha enriquecido significativamente el alcance y la relevancia de este trabajo.

Freddy

Tabla de Contenido

Resumen.....	11
Abstract	12
1 Introducción.....	13
2 Determinación del problema.....	15
2.1 Formulación del problema.....	15
2.1.1 Problema general.....	15
2.1.2 Problemas específicos.....	15
2.2 Justificación de la investigación	15
2.3 Objetivos	16
2.3.1 Objetivo general	16
2.3.2 Objetivos específicos	17
2.4 Hipótesis.....	17
2.4.1 Hipótesis general	17
2.4.2 Hipótesis específicas	17
3 Marco teórico.....	19
3.1. Proceso de Producción de Cerámica	19
3.1.1 Introducción	19
3.1.2 Preparación de las materias primas	19
3.1.3 Atomización.....	22
3.1.4 Prensado.....	23
3.1.5 Secado	24
3.1.6 Esmaltado.....	24
3.1.7 Cocción.....	26
3.1.8 Clasificación y empaquetado.....	27
3.1.9 Almacenamiento.....	29
3.2 Eficiencia energética.....	29
3.2.1 Conceptos fundamentales de eficiencia energética.....	29
3.2.2 Eficiencia Energética	30

3.2.3	Eficiencia Energética Eléctrica	33
3.2.4	Gestión Energética	34
3.2.5	Energía.....	36
3.2.6	Línea base de energía	36
3.2.7	Pasos para elaborar la línea base	41
3.2.8	Indicadores de eficiencia energética	51
3.2.9	Norma ISO 50001.....	55
3.3	Importancia de la Eficiencia Energética en la Industria	58
3.4	Eficiencia Energética y Competitividad	58
3.5	Normativas Aplicadas a la Eficiencia Energética	60
4	Materiales y metodología.....	60
4.1	Elaboración de la línea base.....	61
4.2	Elaboración de la línea la meta	69
4.3	Potencial de ahorro	73
4.4	Indicador de desempeño energético	74
4.5	Huella de carbono	76
5	Resultados y discusión.....	78
6	Conclusiones	80
7	Recomendaciones	81
8	Referencias	83
9	Anexos	86

lista de figuras

Figura 1: Diseño de un proceso cerámico.	19
Figura 2: Área de materias primas.	20
Figura 3: Área de dosificación de la materia prima.	21
Figura 4: Proceso de Molienda.	21
Figura 5: Proceso de Atomizado.	22
Figura 6: Proceso de Prensado.	23
Figura 7: Proceso de Secado.	24
Figura 8: Proceso de Esmaltación.	25
Figura 9: Impresora Digital.	26
Figura 10: Proceso de Cocción.	27
Figura 11: Proceso de clasificación.	28
Figura 12: Proceso de Paletizado.	28
Figura 13: Proceso de Almacenaje.	29
Figura 14: Avance de las emisiones de GEI en “Desarrollo Sostenible” y “Nuevas Políticas” de la AIE.	32
Figura 15: Beneficios relacionados con una mejora en la eficiencia energética.	33
Figura 16: Tipos comunes de Línea base energéticas.	38
Figura 17: Metodología para elaborar la línea base.	38
Figura 18: Diagrama de consumo Electricidad vs Producción de un proceso industrial.	39
Figura 19: Ejemplos de variables para líneas de base.	42
Figura 20: Criterios de r^2	46
Figura 21: Cambios que se produce en el r^2	46
Figura 22: Filtrado de datos.	48
Figura 23: Ejemplo de procedimiento de datos filtrado.	48
Figura 24: Significado físico de la variabilidad del consumo con la variable significativa.	49
Figura 25: Atributos del modelo de la línea base.	50
Figura 26: Indicadores de consumo más usados.	54

Figura 27: Comparativa de valores de IDEn para la realización del seguimiento del desempeño energético.	54
Figura 28: Relación de herramientas normativas para la gestión de energía	57
Figura 29: Requerimientos que establece la política ISO 50001.	57
Figura 30: Consumos de energía eléctrica y producción.	62
Figura 31: Análisis de regresión.	63
Figura 32: Línea Base Energética.	64
Figura 33: Filtrado de datos línea base.	65
Figura 34: Gráfica de límites superior e inferior línea base.	66
Figura 35: Línea base filtrada.	66
Figura 36: Análisis de regresión con filtrado de datos.	67
Figura 37: Distribución t de Student.	68
Figura 38: Filtrado de datos para línea base.	70
Figura 39: Datos filtrados línea meta.	71
Figura 40: Línea meta energética.	71
Figura 41: Línea base vs Línea meta.	72
Figura 42: Valores para determinar potencial de ahorro.	73
Figura 43: Indicador de desempeño energético IDE, base 100.	74
Figura 44: Tendencia del desempeño energético.	75
Figura 45: Índice de consumo.	75
Figura 46: Procesamiento de datos de la huella de carbono.	76
Figura 47: Curva de tendencia de la huella de carbono	77

Lista de tablas

Tabla 1 : Frecuencia de la toma de datos.	43
Tabla 2 : Referencia productiva	44
Tabla 3 : Atributos del modelo de línea base	69
Tabla 4: Resumen del potencial de la tabulación de datos.....	73

Lista de Anexos

Anexo 1: Diagrama de flujo de la línea de producción cuatro.	86
Anexo 2: Diagrama de flujo de la molienda de esmalte para la línea cuatro.	87

**PROPUESTA DE
MEJORA DE LA
EFICIENCIA
ENERGÉTICA EN LA
LÍNEA DE PRODUCCIÓN
CUATRO DE LA
EMPRESA CERÁMICA
RIALTO S.A.**

Autor:

FREDDY PATRICIO MATUTE CÁRDENAS

Resumen

La propuesta para mejorar la eficiencia energética en la línea de producción cuatro de Cerámica Rialto S. A. se compone de tres etapas fundamentales, siguiendo un enfoque sistemático y progresivo que está en consonancia con las normativas de gestión energética industrial.

En la primera etapa, el diagnóstico energético inicial implica la extracción y recopilación de datos paramétricos del sistema general, centrándose específicamente en la cuarta línea de producción. Este proceso utiliza una metodología inductiva no experimental para recolectar variables cuantitativas relacionadas con el consumo energético (kWh) y la producción (m^2), basándose en registros históricos y facturas periódicas correspondientes al uso eléctrico durante un período determinado.

La segunda etapa lleva a cabo la implementación del Sistema de Gestión Energética, conforme a lo estipulado por la norma ISO 50001:2018, estableciendo así una estructura destinada a definir líneas base, metas energéticas e indicadores clave sobre el rendimiento energético como objetivos medibles enfocados en reducir el consumo eléctrico.

Y finalmente la tercera etapa, esta fase evaluativa surge naturalmente tras las anteriores e incluye los beneficios derivados de medir los ahorros proyectados (kWh) junto con una reducción significativa en las emisiones contaminantes (tCO_2e).

Palabras clave:

Eficiencia energética, estándar ISO 50001:2018, línea base energética (LBE), indicadores de desempeño energético (IDEn), consumo energético (kWh), reducción de emisiones (tCO_2e).

Abstract

The proposal to improve energy efficiency in production line four of Cerámica Rialto S. A. ,is composed of three fundamental stages, following a systematic and progressive approach that is in line with industrial energy management regulations.

In the first stage, the initial energy diagnosis involves the extraction and collection of parametric data from the overall system, focusing specifically on the fourth production line. This process uses a non-experimental inductive methodology to collect quantitative variables related to energy consumption (kWh) and production (m²), based on historical records and periodic invoices corresponding to electrical usage during a given period.

The second stage carries out the implementation of the Energy Management System, as stipulated by ISO 50001:2018, thus establishing a structure aimed at defining baselines, energy targets and key indicators on energy performance as measurable objectives focused on reducing electricity consumption.

And finally , the third stage, this evaluative phase arises naturally after the previous ones and includes the benefits derived from measuring projected savings (kWh) along with a significant reduction in pollutant emissions (tCO₂e).

Keywords:

Energy efficiency, ISO 50001:2018 standard, energy baseline (LBE), energy performance indicators (IDEn), energy consumption (kWh), emission reduction (tCO₂e).

1 Introducción

Cerámicas Rialto S.A. Inició operaciones en el año 1982 y está ubicada en la zona de Chaullabamba km 8 1/2 de la ciudad de Cuenca – Ecuador. Contamos con una superficie de 22.000 metros cuadrados (m^2), tecnología avanzada con maquinaria europea y con los controles de procesos más altos de calidad, aproximadamente 350 personas trabajando actualmente en diferentes procesos y finalmente la capacidad de producción supera los 420.000 m^2 mensuales. La industria cerámica, específicamente representada por la empresa Cerámica Rialto S.A. en la ciudad de Cuenca, desempeña un papel crucial en la economía regional. A lo largo de su historia, ha sido una fuente significativa de empleo y ha contribuido al desarrollo económico en esta área geográfica. Sin embargo, en la actualidad, se enfrenta a desafíos críticos relacionados con la sostenibilidad y la eficiencia energética. La producción de cerámica implica un consumo sustancial de energía, principalmente en forma de electricidad, con una potencia instalada de 5.5 megavoltamperios (MVA) en sus cinco líneas de producción de baldosas cerámicas y de porcelanato para pisos y paredes con una demanda promedio de 3.5 MVA, esta operación no sólo conlleva costos operativos elevados, sino que también tiene un impacto ambiental considerable. Es importante destacar que el costo promedio mensual de energía eléctrica es muy considerable, esta situación se agrava por la creciente conciencia ambiental y las regulaciones más estrictas relacionadas con las emisiones de carbono. Este panorama presiona a la industria cerámica para abordar de manera efectiva su consumo energético. La falta de eficiencia energética no sólo incrementa los costos operativos, lo que, a su vez, encarece el costo final del producto (considerando una producción mensual que supera aproximadamente los 420.000 m^2), sino que también puede afectar la competitividad de las empresas locales en un mercado global cada vez más agresivo.

Además, es importante señalar que la inversión en tecnologías y prácticas de eficiencia energética en la industria cerámica puede tener un impacto positivo en el crecimiento económico sostenible de la región. Por lo tanto, es imperativo evaluar

la situación actual de la eficiencia energética eléctrica y desarrollar estrategias efectivas de mejora que no solo reduzcan los costos de energía, sino que también promuevan la sostenibilidad y la competitividad a largo plazo de la empresa.

2 Determinación del problema

2.1 Formulación del problema

2.1.1 Problema general

¿Es factible desarrollar una propuesta de mejora de la eficiencia energética en la línea de producción cuatro de la empresa Cerámica Rialto S.A., partiendo de una evaluación previa y fundamentándose en normativa y buenas prácticas energéticas para disminuir las pérdidas y bajar los consumos energéticos que aportan directamente a disminuir la huella de carbono y los costos en la producción de cerámicas?

2.1.2 Problemas específicos

- ¿Se puede realizar un diagnóstico de la situación actual de la planta considerando los datos de consumo general de energía eléctrica para la fabricación de cerámicas tomando como referencia el análisis de una línea de producción?
- ¿Aplicando Normativa y criterios de buenas prácticas energéticas es factible realizar una propuesta para mejorar el consumo de energía eléctrica en la empresa y por ende disminuir la huella de carbono generada?
- ¿Cuáles son los costos en los que se debe incurrir para implementar la propuesta de eficiencia energética en la empresa y si estos pueden ser amortizados en función de los ahorros generados?

2.2 Justificación de la investigación

La revisión y optimización del sistema de gestión energética según la norma ISO 50001:2018 constituye un proceso completo que demanda la adopción de procedimientos apropiados.

Este enfoque no solo se traduce en un incremento significativo de la eficiencia energética, sino que también genera ventajas palpables para la empresa. Al mejorar la eficiencia energética eléctrica en la propuesta para la línea cuatro de producción, la organización podrá reducir de manera sustancial sus costos energéticos, lo que a su vez se traducirá en un aumento de los ingresos gracias a los ahorros obtenidos. Este proceso no solo se trata de reducir los gastos, sino también de contribuir al uso sostenible de cada kilovatio hora de energía eléctrica generado o requerido en la producción de cerámica. Esta perspectiva sostenible permite redireccionar la energía eléctrica hacia lugares donde la electricidad es un recurso escaso, beneficiando a comunidades que carecen de este servicio básico en nuestra localidad. No obstante, cabe destacar que este aspecto trasciende los intereses individuales de la empresa, ya que está intrínsecamente relacionado con la responsabilidad medioambiental. Según datos proporcionados por Schneider Electric, la electricidad se erige como la principal fuente de emisiones de gases con efecto invernadero, siendo responsable de hasta un 50% del CO_2 emitido. En el marco de compromisos internacionales, tales como el Protocolo de Kioto al que nuestro país ha suscrito, es crucial llevar a cabo una reducción mínima del 20% en las emisiones de gases contaminantes. La implementación de este análisis energético no solo ofrece beneficios económicos para la empresa, sino que también constituye un esfuerzo concreto hacia la mitigación de esta problemática global y la salvaguarda del medio ambiente.

2.3 Objetivos

2.3.1 Objetivo general

Proponer un plan de eficiencia energética en la línea de producción cuatro para la empresa Cerámica Rialto S.A., basado en una evaluación detallada y normativas vigentes para reducir la huella de carbono, optimizar costos y cumplir con normativas energéticas.

2.3.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar la situación actual de la empresa considerando los datos del consumo de energía eléctrica general de la línea de producción cuatro para determinar la eficiencia energética.
- Proponer un plan de mejora en la eficiencia energética fundamentado en la norma ISO 50001:2018 y criterios de buenas prácticas energéticas para optimizar el consumo de energía eléctrica de la empresa.
- Determinar los costos para implementar la propuesta de eficiencia energética en la empresa, estableciendo la factibilidad de la inversión a través del análisis del retorno de esta.

2.4 Hipótesis

2.4.1 Hipótesis general

Con la adopción de un plan orientado a la eficiencia energética en Cerámica Rialto S.A., fundamentado en análisis y el cumplimiento de normativas, se logrará disminuir tanto la huella de carbono como los gastos operativos. Esto contribuirá significativamente a mejorar la sostenibilidad y competitividad de la empresa.

2.4.2 Hipótesis específicas

- El diagnóstico del consumo de energía en la línea de producción cuatro revelará ineficiencias, lo que permitirá futuras recomendaciones para mejorar la eficiencia energética.
- Las prácticas energéticas determinarán una disminución en el uso de energía eléctrica y los gastos asociados, la optimización de la eficiencia, el cumplimiento con normativas internacionales y promoverán una imagen sostenible.

- El análisis de costos mostrará que la inversión inicial se amortizará con ahorros operativos a largo plazo, lo que respaldará la toma de decisiones informadas sobre la inversión.

3 Marco teórico

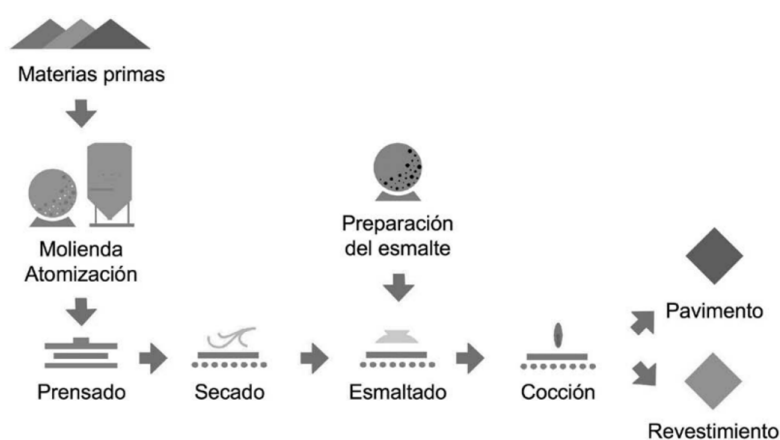
3.1. Proceso de Producción de Cerámica

3.1.1 Introducción

El proceso de producción de baldosas cerámicas y porcelanato implica un alto consumo energético a lo largo de todas sus etapas. La fabricación de una baldosa cerámica se puede dividir en cuatro fases que ocurren tanto sucesiva como simultáneamente. En primer lugar, está la preparación de la mezcla de materias primas que conforman el soporte; le sigue el conformado del producto, luego el esmaltado y, finalmente, se realiza el tratamiento térmico o cocción (Mezquita et al., 2012). En la Figura 1, se presenta un esquema resumido que ilustra este proceso.

Figura 1:

Diseño de un proceso cerámico.



Nota. Adaptado de *Optimización energética en la fabricación de baldosas cerámicas*.

Fuente: (Mezquita et al., 2012).

3.1.2 Preparación de las materias primas

El proceso de fabricación de cerámica inicia con la selección de las materias primas que conforman la pasta, incluyendo arcillas, feldespatos, arenas y caolines, los cuales son componentes esenciales en su formulación, tal como se ilustra en la Figura 2. En la industria cerámica en general, las materias primas se utilizan tal como

se extraen de la minería, tras un tratamiento rudimentario; después de preparar la mezcla de los componentes individuales, la materia prima se somete a un proceso de molienda húmeda, utilizando molinos de bolas, ya sean continuos o discontinuos. La conminución concluye una vez que se obtiene el tamaño de partícula requerido, y el producto resultante de esta operación se convierte en una pasta líquida o lechada. Después de esto, la barbotina de los molinos pasa a los tanques y son agitados para evitar la sedimentación. (Construmatica, 2025). En las figuras 3 y 4 se puede observar la mezcla en las balanzas de los materiales para posterior ser mezcladas en el molino.

Figura 2:

Área de materias primas.



Nota: Materias primas para las mezclas. Fuente: Autor (2024).

Figura 3:

Área de dosificación de la materia prima.



Nota: Balanza de dosificación de la materia prima. Fuente: Autor (2024).

Figura 4:

Proceso de Molienda.



Nota: Molinos de pasta barbotina. Fuente: Autor (2024).

3.1.3 Atomización

El procedimiento de secado por pulverización se basa en un hecho que involucra los siguientes pasos:

- Bombeo y atomización de la suspensión.
- Generación y calentamiento de gases a alta temperatura.
- Secado mediante contacto entre los gases calientes y las gotas de suspensión.
- Desprendimiento del polvo atomizado en relación con los gases.

La suma de aire caliente en la parte superior se realiza a contracorriente; el aire caliente provoca que el agua se evapore y se forme una pasta granulada que se descarga desde la parte inferior de la torre de pulverización hacia cintas transportadoras y cangilones. Estos se recogen en silos verticales para enfriamiento y mezclas homogéneas. (Construmatica, 2025). En la figura 5 se observa el atomizador con sus etapas.

Figura 5:

Proceso de Atomizado.



Nota: Atomizador 64.1. Fuente: Autor (2024).

3.1.4 Prensado

El método más común para fabricar las piezas es el prensado en seco, en prensas hidráulicas. Este proceso de conformado de piezas se lleva a cabo mediante la compactación mecánica de una pasta en un molde, siendo reconocido como uno de los métodos más rentables para la fabricación de productos cerámicos con formas regulares. Se utiliza un sistema oleo hidráulico que opera prensas capaces de mover pistones en direcciones opuestas contra el molde, gracias a la compresión del aceite. Entre las principales características se incluyen una gran fuerza de compactación, alta eficiencia productiva, facilidad para realizar ajustes y consistencia temporal durante el ciclo establecido del prensado. Las prensas son mucho más avanzadas hoy en día y son máquinas automáticas muy complejas, fáciles de configurar y muy versátiles. (Construmatica, 2025). En la figura 6 se muestra una prensa industrial hidráulica modelo PH 4900 de la marca SACMI, utilizada típicamente en la industria cerámica para la compactación y moldeo de materiales

Figura 6:

Proceso de Prensado.



Nota: Prensa PH 4900. Fuente: Autor (2024).

3.1.5 Secado

Después de formar la pieza de cerámica, se lleva a cabo la fase de secado, que se utiliza para disminuir la cantidad de humedad contenida en las piezas hasta un valor tal que las fases posteriores de cocción y esmaltado se realicen satisfactoriamente. En el caso del secadero horizontal, las piezas se cargan en diferentes niveles en el secador y se desplazan horizontalmente en él sobre los rodillos. El aire caliente, que entra en contacto transversal con las piezas, es suministrado por quemadores posicionados en los lados del secadero. (Construmatica, 2025).

En la figura 7 podemos observar el secadero 3 de la marca ByT con 8 quemadores.

Figura 7:

Proceso de Secado.



Nota: Secadero 3 ByT. Fuente: Autor (2024).

3.1.6 Esmaltado

El esmaltado se realiza en la pieza seca y normalmente implica la aplicación de una capa de engobe o capa(s) de esmalte, seguida de una secuencia de elementos decorativos. El engobe y el esmalte suelen aplicarse en forma de suspensión acuosa sobre una cortina continua, ya sea con campanas o con un pulverizador. Simultáneamente, la pieza se decora para transferir los efectos de diferentes

colores sobre el esmalte utilizando los métodos de impresión digital más modernos (Gómez Tena, 2013). En la figura 8 podemos ver la línea de esmaltes el velo de engobe y esmalte.

La impresión digital de Kerajet permite la decoración digital de las baldosas a partir de cero. En otras palabras, durante el proceso de fabricación, la baldosa es sometida inicialmente a un cabezal de impresión para esmaltado y posteriormente a un cabezal de impresión sólido. Este último tiene la capacidad de generar diversos tipos de relieves, diseños o efectos especiales y brillos. Todo esto es posible a través de una única impresora cerámica. Para la fabricación de azulejos, baldosas, losas cerámicas, esta tecnología de impresión es un excelente apoyo. Proporciona una serie de ventajas de especial interés, incluyendo una reproducción de imágenes y patrones complicados de alta precisión y calidad. Además, utilizando un proceso de fabricación más eficiente, el costo es, nuevamente, más bajo que los métodos competidores. (Diario Siglo XXI, s.f.). En la figura 9 observamos la impresora digital Kerajet S7 700 de 4 módulos con 5 tintas normales y 2 tintas especiales para la combinación de efectos y colores de acuerdo con el diseño.

Figura 8:

Proceso de Esmaltación



Nota: Línea de esmaltado cuatro. Fuente: Autor (2024).

Figura 9:

Impresora Digital.



Nota: Kerajet S7 700 Línea de esmaltado cuatro. Fuente: Autor (2024).

3.1.7 Cocción

La cocción de las baldosas cerámicas se realiza en un horno de rodillos. Se producen muchos cambios fisicoquímicos durante este tiempo en la superficie de la baldosa y en el esmalte. Con el aumento de la temperatura, las partículas del esmalte se vuelven más plásticas y comienzan a sinterizar por flujo viscoso; mientras tanto, la textura de la superficie del esmalte se suaviza.

En esta etapa, los factores fundamentales son el ciclo térmico (temperatura y tiempo) así como la atmósfera del horno (concentración de oxígeno). Según el tipo de producto, las temperaturas máximas de cocción están entre 1.140 °C (azulejos esmaltados) y 1.180 °C (de porcelana) (Gómez Tena, 2013).

En la figura 10 observamos la vista del horno ByT que para llegar a las temperaturas utiliza aproximadamente 108 quemadores distribuidos a lo largo del mismo.

Figura 10:

Proceso de Cocción.



Nota: Horno 3 ByT. Fuente: Autor (2024).

3.1.8 Clasificación y empaquetado

El clasificado y empaquetado es el último paso en el proceso de fabricación de azulejos de cerámica. Tras la salida de los azulejos del horno, se realiza una evaluación computarizada para detectar azulejos con defectos, y se lleva a cabo una clasificación por color o tono. También se realiza un análisis dimensional geométrico, subdividiendo en familias dimensionales, y un análisis cualitativo asociado a defectos geométricos. Con la tecnología actual, el control de la calidad final se realiza mediante sistemas automáticos formado por un equipo mecánico y de visión de superficie de las piezas capaz de verificar, en un modo de medida y control, los parámetros necesarios para una clasificación completa de las piezas.

Luego se empaquetan, siendo esta una operación automatizada de empaquetado del material preformado en estructuras de composición uniforme colocadas dentro de un soporte de cartón para facilitar su contención, manipulación y transporte. Por último, el paletizado implica apilar las cajas completas en palés transportables en una formación entrelazada. (Construmatica, 2025).

En la figura 11 se ve la clasificadora 3 completa con todas sus etapas y en la figura 12 se observa el robot Paletizador 3, apilando las cajas.

Figura 11:

Proceso de clasificación.



Nota: Clasificadora 3. Fuente: Autor (2024).

Figura 12:

Proceso de Paletizado.



Nota: Paletizador 3. Fuente: Autor (2024).

3.1.9 Almacenamiento

Las paletas completamente cargadas son recogidas por un montacargas, que se encarga de transportarlas y organizarlas en el almacén de productos terminados a temperatura ambiente. Posteriormente, estas son enviadas a su destino final, que es el cliente. Todo este procedimiento cumple con las regulaciones de calidad establecidas, ya que se efectúan controles rigurosos en cada una de las etapas previas del proceso. En la figura 13 observamos la logística para el almacenamiento de los pales ya revisados.

Figura 13:

Proceso de Almacenaje.



Nota: Bodega de Producto Terminado. Fuente: Autor (2024).

3.2 Eficiencia energética

3.2.1 Conceptos fundamentales de eficiencia energética

La eficiencia energética se refiere a un concepto que, tal como su nombre sugiere, integra los principios de eficiencia y energía. Este término es aplicable en múltiples contextos, abarcando tanto el consumo de energía como las prácticas productivas dentro de organizaciones e instituciones, así como en cadenas de valor, sectores

económicos o incluso regiones enteras. Es importante diferenciar entre la eficiencia energética técnica y la económica (Gillingham et al., 2009).

La primera se refiere a una noción física que relaciona insumos (por ejemplo, materiales y energía) con productos finales (como el nivel de producción en una empresa). Desde una perspectiva económica, la eficiencia energética tiene como objetivo optimizar el beneficio neto, ya sea a nivel privado o social, que se obtiene del uso particular de ciertos insumos para producir un bien final. Fundamentalmente, este principio promueve la utilización de energía de forma coste-efectiva en los procesos productivos o en la prestación de servicios, al mismo tiempo que busca reducir tanto las pérdidas energéticas como el consumo global de recursos. En relación con los procesos productivos específicamente, puede concebirse la eficiencia energética bajo dos perspectivas: ya sea maximizando la producción por cada unidad consumida de energía utilizada o reduciendo el gasto energético requerido para obtener una unidad determinada del output producido. Estas dos aproximaciones son complementarias entre sí.

Cuando los precios energéticos reflejan adecuadamente su valor económico realista, el ahorro resultante en costos debido a inversiones en equipamiento nuevo u optimizaciones procesales permitirá medir efectivamente las mejoras logradas en términos de eficiencia energética tras implementar dichos cambios. De forma más amplia, "eficiencia energética" también podría abarcar otros objetivos distintos al mero uso eficaz del recurso energético; esto incluye metas relacionadas con disminuir emisiones contaminantes o fortalecer la seguridad del suministro. Por consiguiente, existe cierta ambigüedad respecto al alcance preciso del término que puede variar según diferentes contextos específicos (Marchi et al., 2019).

3.2.2 Eficiencia Energética

Consiste en lograr un determinado nivel de producción o servicio, de acuerdo con el cliente, mientras se minimiza el consumo de energía, los costos y la contaminación ambiental debido a la producción de energía.

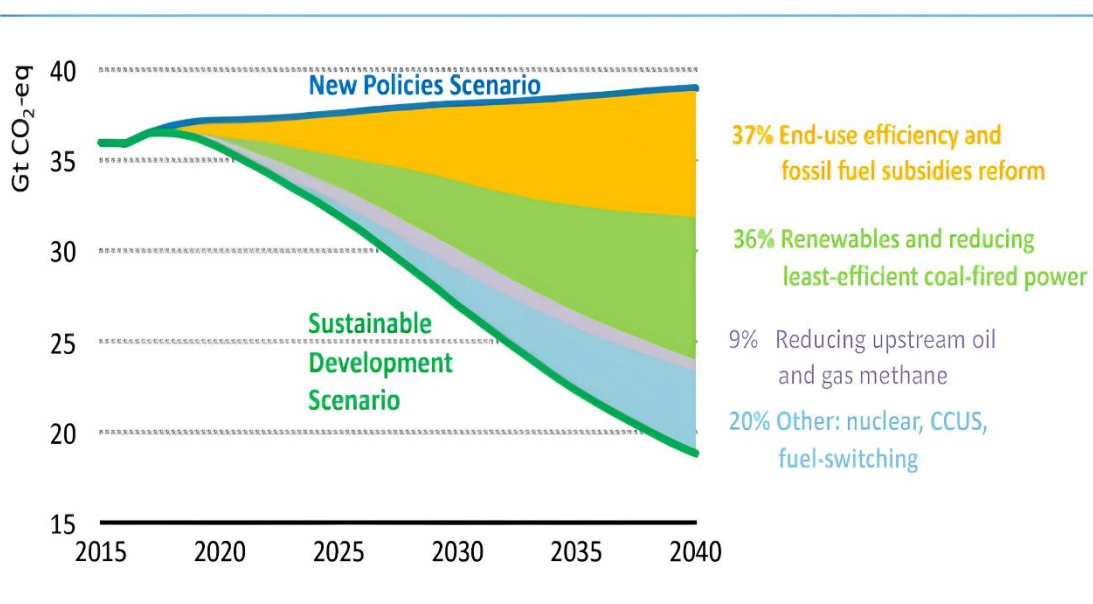
También hace referencia a la eficiencia o a una relación cuantitativa diferente entre la salida de un proceso, servicio, bien o energía y su entrada correspondiente, evaluada en términos de energía. Entre los ejemplos se encuentran la eficiencia de

conversión, que representa la proporción de energía que ingresa al sistema frente a aquella que el sistema recibe; así como también la comparación inicial entre entrada y salida y el análisis del consumo energético necesario en contraste con el utilizado para llevar a cabo una operación idealizada o real. Para medir, tanto las entradas como las salidas deben estar bien definidas en calidad y cantidad. (Zapata Benites, 2020). En su informe de 2020, la Agencia Internacional de Energía (AIE) añadió claramente contexto, afirmando: "la relación de un producto o servicio entregado a una cantidad determinada de energía." En realidad, esto significa que se puede obtener más producción o confort con una menor demanda de energía, así como un alto valor de productividad y rentabilidad. Y este concepto puede considerarse como una búsqueda continua del óptimo en sistemas, tecnologías y prácticas diseñadas para lograr los máximos resultados por unidad de energía consumida, una visión dinámica que siempre enfatiza la necesidad de adaptarse a nuevas tecnologías e innovaciones para mejorar las eficiencias. La creciente necesidad global de cumplir con metas ambiciosas para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. (GEI) ha destacado aún más la importancia de la eficiencia energética a largo plazo hacia sistemas energéticos sostenibles. Nuestra propia visión sobre cómo concebir esta entrada esencial también ha evolucionado en los últimos años, de ser considerada simplemente como "combustible fósil en el suelo", como se indexa por las reservas probadas, a ser vista como una forma más crucial de un conjunto necesario para esta era de transición energética.

Los escenarios futuros para la reducción de GEI a largo plazo también desarrollados por la Agencia Internacional de Energía resaltan la importancia de las medidas eficientes, así como el impulso por las energías renovables que forma parte de la transformación de nuestro sistema energético, tal como sostiene, por ejemplo. (Fernández Gómez, 2021)

Figura 14:

Avance de las emisiones de GEI en “Desarrollo Sostenible” y “Nuevas Políticas” de la AIE.



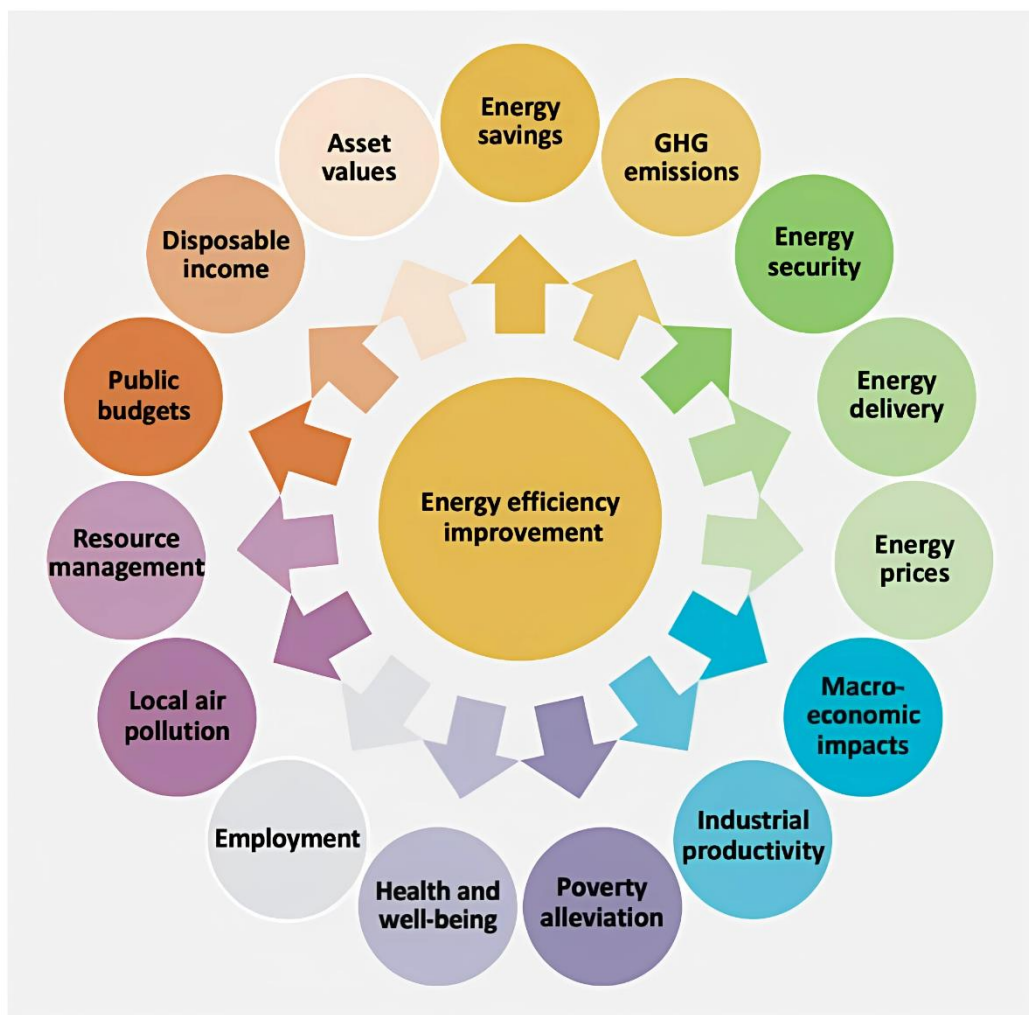
Nota: Evolución de las emisiones de GEI. Fuente: (Fernández Gómez, 2021).

Por ejemplo, en 2010, la energía no consumida como resultado de las inversiones realizadas en el período 1974-2010 por los miembros de la Agencia Internacional de la Energía (AIE) la cantidad de energía generada fue superior a la que proporciona cualquier otro tipo de combustible por separado. Este fenómeno ha sido evidente en los últimos años, porque la relevancia de la electricidad en las matrices energéticas ha aumentado, y, sin embargo, la importancia de la eficiencia energética como herramienta de equilibrio energético de manera sostenible sigue siendo importante. En el Escenario de Desarrollo Sostenible (SDS), que alcanza cero emisiones netas para el año 2070, por ejemplo, la eficiencia energética (junto con la eliminación de subsidios a los combustibles fósiles) proporciona el 37% de la reducción de GEI para 2040 en comparación con la trayectoria esperada en el Escenario de Nuevas Políticas, que refleja el impacto de las medidas anunciadas tras el Acuerdo de París como se observa en la figura 14. (Fernández Gómez, 2021).

De igual manera en la figura 15 se puede observar los beneficios que implica esta mejora en la eficiencia energética en varios campos.

Figura 15:

Beneficios relacionados con una mejora en la eficiencia energética.



Nota: Mejora en la eficiencia energética. Fuente: (Agency, 2015).

3.2.3 Eficiencia Energética Eléctrica

Es la reducción de las potencias (activa, reactiva y aparente) y energías (kWh y kVAR) demandadas al sistema eléctrico sin que afecte a las actividades normales realizadas en industrias o cualquier proceso de transformación. (Zapata Benites, 2020).

La eficiencia energética eléctrica es un tema crucial en el desarrollo sostenible, impulsado por iniciativas políticas para controlar y reducir la demanda de energía. Este ámbito engloba diversas tecnologías y enfoques destinados a maximizar la

eficiencia en el consumo de energía eléctrica, con el propósito de elevar la productividad energética y minimizar su impacto ambiental. Se puede mejorar mediante la adopción de tecnologías avanzadas como motores eléctricos eficientes, variadores de velocidad, transformadores eficientes y sistemas de iluminación controlados por sensores de ocupación. (Sumper & Baggini, 2012) Estas tecnologías no solo reducen el consumo de energía, sino que también mejoran la calidad de vida y el entorno laboral. (Maheswaran et al., 2012)

La optimización de la eficiencia energética en los sistemas eléctricos implica la integración de tecnologías emergentes como las redes inteligentes, sistemas de almacenamiento de energía y análisis de datos. Estas estrategias permiten una mejor gestión de la red, integración de energías renovables y gestión de la demanda, lo que contribuye a la sostenibilidad y resiliencia de los sistemas eléctricos. (Cosmas, 2023) La mejora de la eficiencia energética ofrece beneficios económicos al reducir los costos de energía y mejorar la competitividad industrial. Además, contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, apoyando los objetivos climáticos globales. (Cosmas, 2023)

La implementación de programas de eficiencia energética puede reducir los costos de manejo de energía y mejorar la eficiencia operativa. (Mahyudin et al., 2019)

La eficiencia energética eléctrica es esencial para abordar los desafíos energéticos globales y lograr una reducción significativa de las emisiones de carbono. La adopción de tecnologías avanzadas y estrategias de gestión de energía puede mejorar la eficiencia, reducir costos y contribuir a un futuro más sostenible. (Cosmas, 2023)

3.2.4 Gestión Energética

Esto incluye medidas técnicas y económicas basadas en infraestructuras que abarcan aspectos de comportamiento humano, los cuales generalmente influyen

en el uso eficiente de la energía y, por lo tanto, en la efectividad de costos energéticos. (Zapata Benites, 2020).

La gestión energética es un proceso importante que contribuye al desarrollo sostenible y a la reducción de costos energéticos en diferentes campos, como los sistemas de distribución de energía y los procesos de manufactura. Con la reducción del recurso de combustibles fósiles y el aumento de la demanda energética, la aplicación de sistemas de gestión energética se vuelve cada vez más necesaria para aumentar la utilización de recursos energéticos convencionales y renovables. La coordinación entre la generación y el consumo eléctrico se ve desafiada por la gestión energética de los sistemas de distribución para el ahorro de energía, la reducción de precios y la disminución global de emisiones. Actualmente existen limitaciones en los modelos de evaluación que ayudan a la ausencia de tomadores de decisiones industriales, y las estrategias para implementar con éxito la eficiencia energética deberían ser más amplias. (Trianni et al., 2019)

Por lo tanto, hay una enorme necesidad de ahorro de energía y reducción de costos en la industria. Se han reconocido cinco factores de éxito en el área de gestión energética: estrategia/planificación, implementación/operación, control, organización y cultura. Debe ser un esfuerzo combinado para desatar el potencial de la eficiencia energética. Además, se ha propuesto un nuevo modelo de evaluación para revelar aspectos vulnerables y buenas características en el proceso de gestión energética de empresas industriales. (Schulze et al., 2016)

Se pueden encontrar diversas causas de diferentes eficiencias energéticas: tecnológicas, económicas, sociales y organizativas. Dependiendo de qué aspecto del uso de la energía, actividad o sector se enfoque, la combinación de estos tres puede ser más o menos importantes, pero en general, para obtener un excelente resultado, es necesaria una zona óptima de los tres.

A veces sobredimensionamos la tecnología y ese es el factor que está ahí cuando miramos la posibilidad de cambio. Las potencialidades socio-organizativo apenas se consideran, pero no debemos olvidar que el elemento humano es crucial en todos los procesos de cambio. (Ivančić & Pérez Rodríguez, 2011).

Los siguientes aspectos tecnológicos pueden enfatizarse al evaluar o considerar un aumento de eficiencia energética en un sistema energético y en un proceso de producción:

- Tarifas energéticas.
- Gastos tecnológicos.
- Inversión en implementación.
- Período de recuperación financiera.
- Ciclo de inversión y depreciación de equipos.
- Gastos operativos y mantenimiento.
- Costo total del proyecto.

En un nuevo proyecto, así como en una mejora, una adecuada implementación y explotación económica eficiente es crucial. (Ivančić & Pérez Rodríguez, 2011)

3.2.5 Energía

Electricidad, combustibles, vapor, calor, aire comprimido y energías renovables son ejemplos de fuentes de energía que también incluyen los medios de comunicación. En el contexto de este estándar, se entiende por energía las diferentes modalidades tanto primarias como secundarias que pueden ser obtenidas, almacenadas, procesadas o empleadas en un equipo o proceso específico; además pueden ser recuperadas posteriormente.

Se define la capacidad de un sistema para generar actividad externa o llevar a cabo trabajo (Zapata Benites, 2020).

3.2.6 Línea base de energía

Informe cuantitativo que sirve como base hacia comparar el desempeño energético.

- La base energética se define a partir de la información recolectada durante un intervalo determinado y/o en condiciones específicas, tal como lo establezca la organización.
- Las líneas de base energética son utilizadas para evaluar las mejoras en el desempeño energético, sirviendo como comparación antes y después o

entre situaciones con y sin la implementación de acciones destinadas a mejorar dicho desempeño. (ISO 50001:2018)

Los requisitos relacionados con una Línea de Base Energética (LBE) están fundamentados en los siguientes aspectos:

- La entidad debe definir una o más líneas de base energética empleando información obtenida del análisis energético, considerando un periodo temporal adecuado. En caso de que existan datos que muestren que las variables significativas impactan considerablemente en el rendimiento energético, será necesario realizar la normalización del Indicador de Desempeño Energético (IDEn) junto con sus correspondientes LBE como se puede observar en las figuras 16 y 17. (ISO 50001:2018)

El objetivo al establecer una línea de base energética es proporcionar un parámetro del consumo utilizado para valorar el rendimiento energético incorporando solo aquellas variables independientes que afectan notablemente este consumo. Es esencial asegurar que esta referencia no esté influenciada por factores externos tales como clima, tipo o cantidad producida; esto implica su capacidad para ser normalizada restrictivamente a estas variables específicas consideradas dentro del modelo desarrollado. Además, es crucial garantizar que los valores obtenidos mediante este modelo estén libres errores operacionales y técnicos, así como variaciones debidas a cambios tecnológicos; todos estos elementos pueden distorsionar la referencia sobre el consumo establecido anteriormente. (Prias, s.f.).

Figura 16:

Tipos comunes de Línea base energéticas.

TIPOS	OBSERVACIONES
Costo mensual de energía del año anterior	Depende de cambio de tarifa , de cambio de cantidad de producción , de cambio de referencias de producción, de cambios climáticos y de cambios en el desempeño energético .
Consumo mensual del año anterior	Depende de cambio de cantidad de producción , de cambio de referencias de producción, de cambios climáticos y de cambios en el desempeño energético .
Presupuesto del costo mensual de la energía	Depende de cambio de tarifa , de cambio de cantidad de producción , de cambio de referencias de producción, de cambios climáticos y de cambios en el desempeño energético respecto a lo planificado.
Presupuesto de consumo mensual de la energía	Depende de cambio de cantidad de producción , de cambio de referencias de producción , de cambios climáticos y de cambios en el desempeño energético respecto a lo planificado.
Eficiencia de equipos o sistemas	Depende del estado técnico , de regímenes de trabajo , del factor de carga y de cambios del desempeño energético
Índice de consumo de energía	Depende de cambio de cantidad de producción , de cambio de referencias de producción, de cambios climáticos y de cambios en el desempeño energético respecto
Modelos de consumo de energía	Depende del grado de significación del modelo, nivel de confianza , precisión alcanzada , desempeño energético

Nota: Tipos comunes de Línea base energéticas. Fuente: (Prias, s.f.).

Figura 17:

Metodología para elaborar la línea base.



Nota: Elaboración de la línea base. Fuente: (Prias, s.f.).

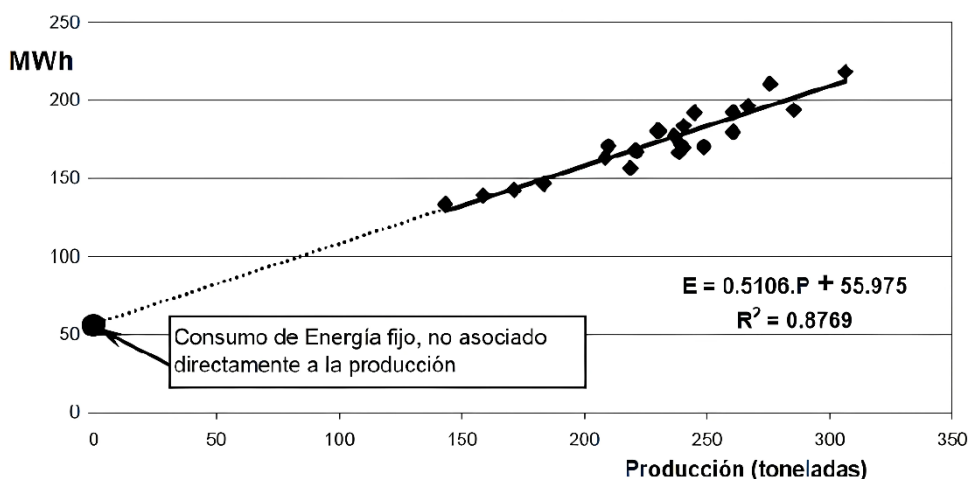
Una línea base de energía puede representar un instante específico o una duración determinada de tiempo. Esta línea se puede ajustar mediante factores que influyen en el consumo y uso energético, como la producción total, las temperaturas diarias, entre otros (Zapata Benites, 2020).

Durante la fase de verificación dentro del marco de seguimiento, medición y análisis es crucial contar con herramientas que faciliten el control del consumo y la eficiencia energética. En este sentido, la norma ISO 50001 establece como primer paso la definición de la Línea Base Energética (Artequim.com, 2012).

Los razonamientos desarrollados por los métodos de gestión energética realizados en la Universidad de Cienfuegos en Cuba y en la Universidad Autónoma de Occidente en Colombia utilizan diagramas dispersos para definir esta Línea Base Energética; estos son conocidos como gráficos que correlacionan el consumo energético con respecto a producción o servicio. La Figura 18 presenta un gráfico ilustrativo mostrando esta relación entre consumos y producción dentro de un proceso productivo. Además, se incluye una fórmula representativa del consumo energético frente a los niveles productivos empresariales. En este contexto particular, el modelo más adecuado para describir los datos experimentales (Línea Base Energética) resulta ser una recta lineal. El valor asignado a energías no vinculadas al proceso productivo junto con el coeficiente determinante o cuadrático R^2 indica cuán bien se ajusta dicho modelo a los puntos observacionales obtenidos (Castrillón Mendoza et al., 2015).

Figura 18:

Diagrama de consumo Electricidad vs Producción de un proceso industrial.



Nota: Consumo Electricidad vs Producción de un proceso industrial. Fuente: (Castrillón Mendoza et al., 2015).

La literatura y la experiencia acumulada por las instituciones de la Universidad de Cienfuegos en Cuba y la Universidad Autónoma de Occidente en Colombia sugieren que, para los análisis energéticos, es apropiado considerar magnitudes del coeficiente de determinación $R \geq 0,75$. Valores inferiores a este umbral indican una correlación débil entre los parámetros representados en el diagrama de dispersión; así, el índice de consumo, que se calcula como el cociente entre energía utilizada y producción generada, no refleja adecuadamente la relación existente entre el consumo energético y las actividades productivas del ente analizado (Castrillón Mendoza et al., 2015).

Las causas más comunes detrás de esta baja correlación incluyen:

1. Errores durante las mediciones o su procesamiento.
2. Ausencia o incumplimiento con manuales sobre buenas prácticas.
3. Diferencias temporales en la medición tanto de producción (P) como del consumo eléctrico (E).
4. Definición inadecuada del término producción (P), ya que hay procesos productivos activos que han consumido energía sin ser contabilizados.
5. Diversidad dentro estructuralmente productos con diferentes requerimientos energéticos.
6. Ignorancia hacia factores externos que afectan el consumo energético.
7. Inclusión en procesos productivos o servicios actividades consumidoras energética no reflejadas correctamente.

En aquellos casos donde se observe una débil correlación ($R < 0,75$) tras haber descartado estas posibles causas, puede adoptarse un enfoque alternativo mediante lo cual se considera una “producción equivalente”. Este criterio busca obtener un diagrama dispersivo correlacionante efectivo al establecer líneas base precisas e indicadores relevantes para evaluar desempeño energético; esto implica adicionar factores significativos relacionados con el nivel actividad económica o servicio al parámetro definido previamente acerca de una producción o nivel de servicios que tienen una influencia significativa sobre el consumo de energía y que no son normalmente considerados. (Castrillón Mendoza et al., 2015).

3.2.7 Pasos para elaborar la línea base

- Definición del periodo base: Este puede ser anual, semestral o semanal y debe abarcar el impacto de las variables significativas en el consumo energético (Campos, s.f.).

Se recomienda considerar los dos años más recientes; si no es posible, utilizar solo el último año o adoptar una frecuencia mensual (Prias, s.f.).

- Definición de la muestra mínima de datos: Para un análisis adecuado se sugiere recopilar información correspondiente a los últimos dos años con una periodicidad mensual. Al menos se deben contar con 12 registros mensuales, aunque lo óptimo sería disponer entre 18 y 24 datos mensuales para asegurar la robustez del estudio (Prias, s.f.).

Estimación inicial del número de datos de la muestra: (Campos, s.f.).

$$n_o = \frac{z^2 * cv^2}{e^2}$$

Donde:

- n_o , se trata de la determinación del tamaño de la muestra durante el proceso de conteo, de la estimación inicial del tamaño de la muestra apropiado.
- cv , que es la desviación estándar dividida por la media. Una estimación preliminar para el cv se toma como 0,5 hasta que los valores reales se puedan determinar basados en las muestras recogidas.
- e , donde es el nivel de precisión requerido en los resultados.
- z , es para una distribución normal, y para un número infinito de observaciones y con un nivel de confianza dado. Para un intervalo de confianza del 95%, $z = 1,96$ (90% $z = 1,64$; 80% $z = 1,28$; y 50% $z = 0,67$). (Campos, s.f.).

Es importante ajustar inicialmente la estimación del tamaño muestral al trabajar con conjuntos reducidos de datos; por lo tanto, puede ser necesario aplicar un

ajuste por población finita. Este ajuste disminuye efectivamente el tamaño total requerido en muestras (n) como sigue: (Campos, s.f.).

$$n = \frac{n_o * N}{n_o + N}$$

n_o Es un valor requerido para adquirir un 90% de confianza de que el valor estimado tiene una precisión del 10%.

N Es el valor de la población que tengo. (Campos, s.f.).

- Conjunto de variables que se introducirán en el modelo de referencia.

Las variables incluidas en la línea base deben ser:

- Variables significativas (derivadas de la revisión energética).
- Son variables independientes de operación y del mantenimiento.
La variable más común es la producción realizada. (Prias, s.f.).
- Son variables sobre las cuales no podemos actuar, por tanto, son referenciales para el cálculo del cambio del consumo de energía. (Campos, s.f.).

En la figura 19 se pueden observar ciertas variables que se consideran para la elaboración de líneas base.

Figura 19:

Ejemplos de variables para líneas de base.



Nota: Variables para líneas de base. Fuente: (Prias, s.f.).

- Recolección de Datos.

Se aplicaron las siguientes reglas para la selección de datos:

- Los datos necesarios para construir el modelo base deben asemejarse al comportamiento del proceso que describen.
- La población representativa debe abarcar al menos un año completo, particularmente si se toman en cuenta los movimientos del mercado, factores ambientales o cronogramas de mantenimiento, por ejemplo.
- La cantidad total de datos dentro de la población dependerá de la frecuencia con que se realicen las mediciones correspondientes. (Campos, s.f.).
- En las tablas 1 y 2 se pueden observar cómo está relacionada la muestra con el número de datos para determinar la línea base y como se vería los datos de un proceso previa a la obtención de la línea base.

Tabla 1 :

Frecuencia de la toma de datos.

FRECUENCIA	No. DATOS
MENSUAL	12
DIARIA	365
SEMANAL	46
HORARIA	8.640

Nota: Frecuencia de la toma de datos. Fuente: (Campos, s.f.).

Tabla 2 :

Referencia productiva

MES	CONSUMO (kWh/mes)	PRODUCCIÓN (Lt/mes)	MES	PRODUCCIÓN (Kg/mes)	TEMPERATURA CARBONATACIÓN °C	CONSUMO (kWh/mes)
ENERO	282.360	5.438.692	ene	7.150	10	19.780
FEBRERO	260.880	4.699.549	feb.	8.600	12	21.844
MARZO	274.800	5.711.667	mar.	10.300	14	25.628
ABRIL	256.800	5.320.030	abr.	8.250	11	22.876
MAYO	284.924	5.468.279	may.	12.215	15	29.584
JUNIO	266.680	5.624.705	jun.	12.500	15	29.584
JULIO	278.730	5.612.316	jul.	3.064	8	13.416
AGOSTO	273.400	5.450.000	ago.	5.585	9	17.028
SEPTIEMBRE	264.160	5.184.623	sep.	6.453	11	22.879
OCTUBRE	251.800	4.470.798	oct.	10.028	13	28.899
NOVIEMBRE	260.320	4.790.499	nov.	11.769	15	29.756
DICIEMBRE	288.360	5.648.546	dic.	8.240	13	24.596
			ene.	2.073	7	11.352
			feb.	6.004	9	18.748
			mar.	5.004	8	17.200
			abr.	6.820	9	18.060
			may.	7.852	10	19.436
			jun.	7.639	10	19.264
			jul.	6.914	9	18.060
			ago.	7.118	11	20.468
			sep.	8.677	12	21.470
			oct.	10.984	15	24.768

Nota: Referencia productiva vs consumo de energía. Fuente: (Prias, s.f.).

- Los datos deben muestrearse para correlacionarlos en el mismo paso de tiempo. Verificación de CV.
 - Indicamos que, para estimar el tamaño mínimo de muestra, hemos adoptado un coeficiente de variancia de 0,5.
 - Para mantener este número al mínimo, debemos asegurarnos de que la toma de datos real no esté por encima del valor de CV asumido.
- En caso de que no sea así se debe ampliar la muestra de datos hasta llegar al CV asumido o recalcular el número mínimo de datos con el cv real calculado de la muestra tomada. (Campos, s.f.).

- Validación de R^2 y muestra de datos (ajuste de R^2 hasta el número de prueba de ejemplo más bajo).
- Probar el coeficiente de determinación del conjunto de datos. La relación entre el consumo de energía y la variable independiente con la que se estableció el modelo base es significativa o no.
- La importancia es la probabilidad de que la asociación observada entre la variable independiente y el consumo de energía no se deba al azar, sino que realmente represente una relación natural del proceso. (Campos, s.f.).
- Esto se determina por una herramienta estadística denominada p-value. Esta herramienta establece la probabilidad de que la relación encontrada en el modelo sea real y no sea casual.
- La herramienta estadística p-value se usa de la siguiente forma:
 - Se asume la hipótesis de que no hay una conexión entre la variable independiente y el consumo energético.
 - Para validar esta hipótesis, el valor del p-value debe superar 0,05; esto implica que se necesita un nivel de probabilidad superior al 5% para considerarla cierta.
 - Si el valor de probabilidad es inferior al 5% entonces la hipótesis se considera nula o no válida y si existe relación entre la variable independiente y el consumo de energía. (Prias, s.f.).

En la figura 20 y 21 se muestra como clasificar y los cambios que produce la fuerza de relación entre dos variables según el valor de r^2 tomando en cuenta la energía y la variable significativa.

Figura 20:

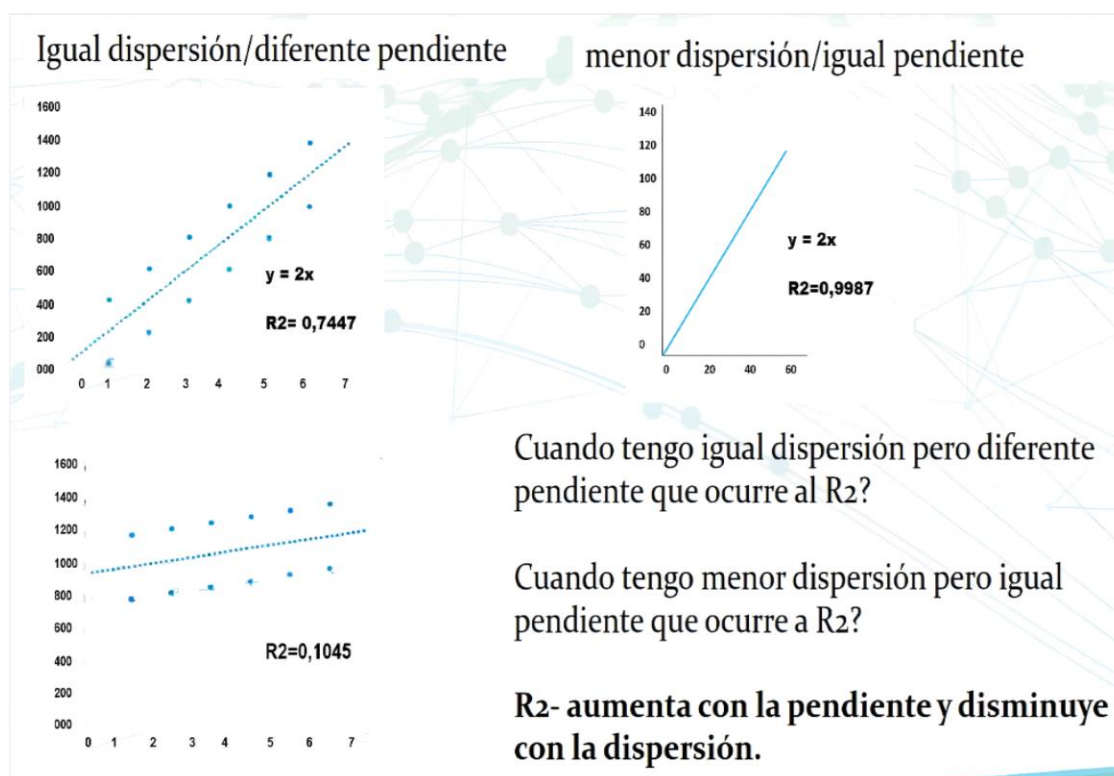
Criterios de r^2

Valor r^2	Relación E vs VS
0 - 0,04	Despreciable
0,04 - 0,16	Débil
0,16 - 0,49	Moderada
OBJETIVO: 0,75	FUERTE
0,49 - 0,8	
0,8 - 1	Muy Fuerte.

Nota: Criterios de r^2 Fuente: (Prias, s.f.).

Figura 21:

Cambios que se produce en el r^2



Nota: Cambios que se produce en el r^2 : Fuente: (Prias, s.f.).

El filtrado de datos se realiza exclusivamente cuando el p-value vinculado al coeficiente de la variable independiente no muestra significancia estadística ($>0,05$)

en comparación con la muestra evaluada. En esta situación, es fundamental identificar los datos que presentan comportamientos atípicos y excluirlos de la muestra original. Posteriormente, al recalcular el p-value, se puede evaluar si la nueva muestra cumple con los criterios establecidos para ser considerada válida como línea base. Para llevar a cabo este filtrado, calculamos el error estándar de la media (Se), ya sea obteniéndolo directamente desde una herramienta dedicada al análisis del p-value o mediante su cálculo manual; esto nos permite determinar cuáles puntos caen fuera del intervalo aceptable. (Prias, s.f.).

$$Y = m * x + b + - z * Se$$

Donde z es un valor arbitrario. El primer valor debe ser tal que todos los datos se encuentren en el intervalo y luego se va disminuyendo hasta encontrar los primeros valores que salen del intervalo. (Prias, s.f.).

Sacamos el/los valores que primero salen del intervalo y volvemos a aplicar p-value para verificar la significación del coeficiente. Este procedimiento se realiza hasta que ocurre una de las dos condiciones siguientes: (la que primero ocurra):

- a) que el p-value de significativo
- b) que al quitar los datos falsos el número de datos que quede sea inferior al mínimo calculado. (Prias, s.f.).

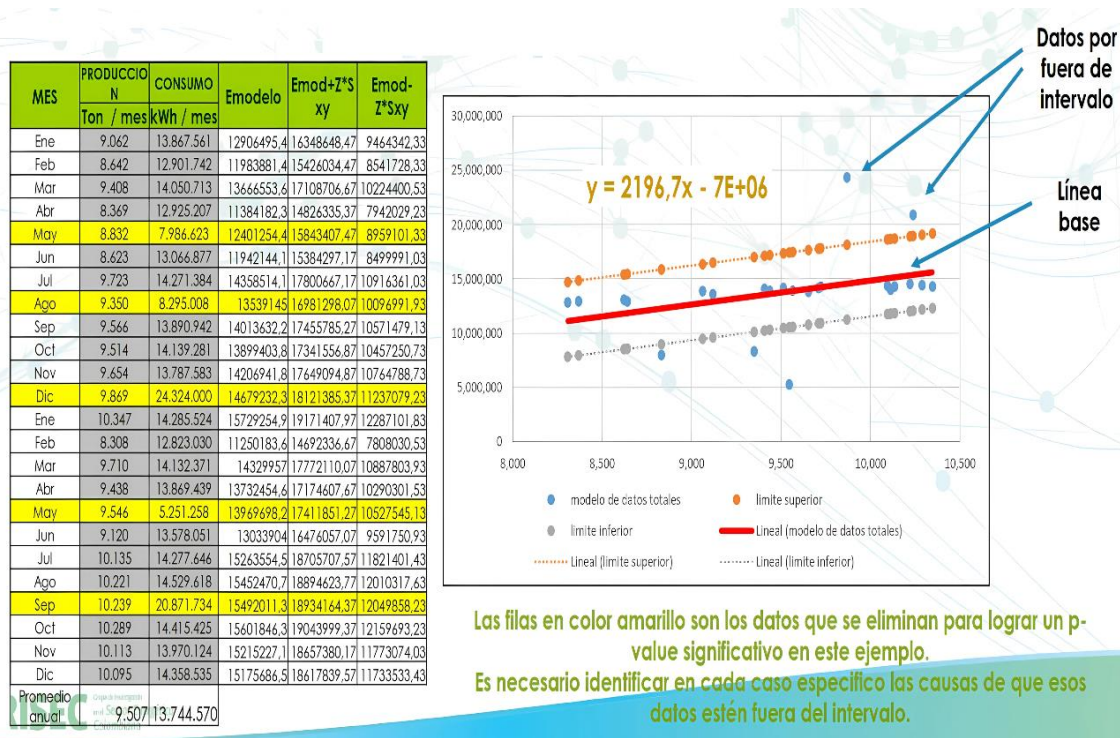
P-value=0,07 > 0,05 Se requiere filtrar datos. (Prias, s.f.).

Cuando el valor de R² ha llegado a ser > 0,75 o se ha sacado la cantidad máxima de datos de la muestra inicial, termina el filtrado. (Campos, s.f.).

En las figuras 22;23 y 24 podemos observar de manera gráfica cuando se debe realizar el filtrado de los datos una vez obtenida la línea base y de igual manera como influye R² y su interpretación del tipo posible de gráfica que se obtenga.

Figura 22:

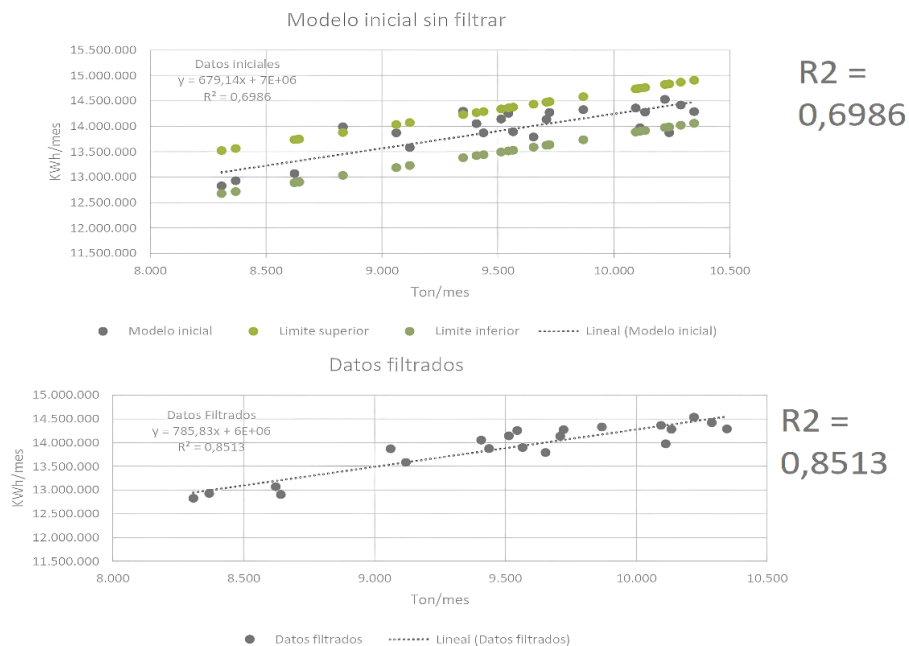
Filtrado de datos.



Nota: Filtrado de datos. Fuente: (Campos, s.f.).

Figura 23:

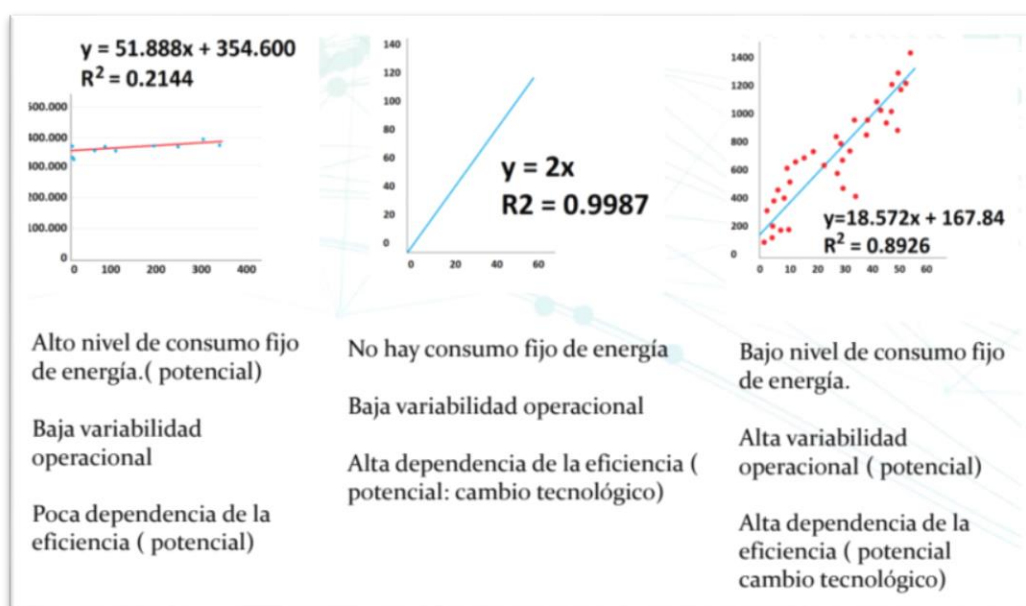
Ejemplo de procedimiento de datos filtrado.



Nota: Ejemplo de procedimiento de datos filtrado. Fuente: (Campos, s.f.).

Figura 24:

Significado físico de la variabilidad del consumo con la variable significativa.



Nota: Significado físico de la variabilidad del consumo con la variable significativa.

Fuente: (Campos, s.f.).

- Establecimiento del modelo lineal de referencia. Desde una perspectiva matemática, esta relación puede expresarse como la función $f(x)$:

$$f(x) = Ax$$

siendo:

$f(x)$: representa el consumo energético

x : es la variable que influye en dicho consumo

A : es un coeficiente numérico que relaciona ambos términos.

De este modo, en una instalación industrial donde gran parte del consumo energético provenga directamente de los procesos productivos, se podría expresar el consumo total como sigue:

$$f(x) = Ax + B$$

siendo:

$f(x)$: representa el consumo energético

x : es la variable que influye en dicho consumo

A: es un coeficiente numérico que relaciona ambos términos.

B: valor numérico fijo

Así, en una instalación industrial en la que la mayor parte del consumo sea debido a la producción, el consumo de energía o línea de base energética podría ser:

$$\text{Consumo de energía} = A * (\text{producción}) + B$$

siendo:

producción: corresponde al número de unidades fabricadas durante los períodos temporales para los cuales hay registros del consumo

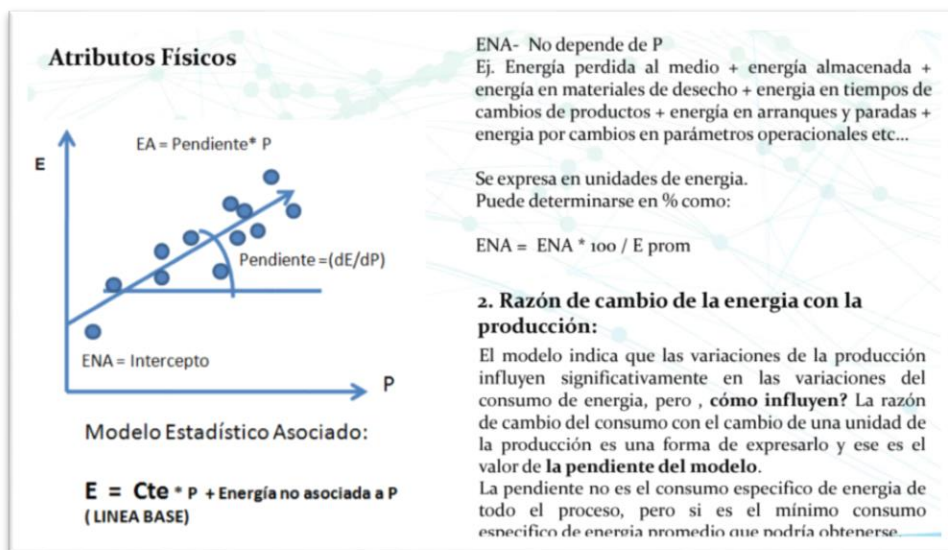
A: el coeficiente numérico que establece la conexión entre el gasto energético y las cantidades producidas.

B: denota aquel componente estable y predecible del consumo eléctrico independiente a la actividad productiva (como por ejemplo lo serían los sistemas de iluminación). (Cubillo Sagüés et al., 2020).

- Determinar atributos del modelo (confiabilidad, precisión absoluta y relativa) (Figura 25).

Figura 25:

Atributos del modelo de la línea base.



Nota: Atributos del modelo de la línea base. Fuente: (Campos, s.f.).

3.2.8 Indicadores de eficiencia energética

Valor cuantitativo o medida de la eficiencia energética según lo definido por la organización. (Zapata Benites, 2020).

Los indicadores de desempeño energético (IDEn) son fundamentales para medir y comparar la eficiencia energética, tanto antes como después de la ejecución de estrategias o iniciativas específicas. Su análisis es fundamental no solo para entender los resultados obtenidos, sino también para establecer posibles acciones o metas que promuevan mejoras continuas. Para las líneas base energéticas (LBE_n), se requiere un periodo adecuado durante el cual se recopilen datos que sirvan como referencia; además, puede ser necesaria una normalización de los valores IDEn en función de cambios en variables relevantes como clima y producción, garantizando así comparaciones precisas. (Cubillo Sagüés et al., 2020).

El sistema jerárquico de indicadores claves del rendimiento está organizado en grupos específicos según su usuario final. Estos agrupamientos se estructuran piramidalmente a diferentes niveles: los parámetros fundamentales forman la base con indicadores funcionales primarios que dan lugar a secundarios y terciarios conforme ascendemos hacia los índices corporativos mediante información adicional proporcionada por otros departamentos. (Cubillo Sagüés et al., 2020).

- Nivel 1: Corporativo, ejemplos incluyen:
 - Coste total energía / Coste total operación (OPEX).
 - kWh totales organizacionales/unidad/producto/servicio.
- Nivel 2: Direcciones específicas como servicios generales o dirección energética, ejemplos incluyen:
 - Consumo energético por tipo/Tm producto.
 - Consumo energético por tipo/m².
 - Consumo energético por tipo/número pasajeros, Tm transportado.
- Nivel 3: Jefaturas departamentales como energía producción o mantenimiento, ejemplos incluyen:

- Consumo específico por uso significativo de Energía USE/Tm producto.
- Consumo específico de energía USE/m².
- Consumo específico de Energía USE/número pasajeros, Tm transportado.
- Nivel 4: Mandos intermedios dentro del área energética, ejemplos incluyen:
 - Energía consumida central generación/utilizada generada.
 - Rendimiento específico proceso/equipo/instrumentación. — Consumo particularizado por vehículo y conductor.

Los IDEn pueden presentarse tanto como un único parámetro simple hasta modelos complejos multifacéticos; ejemplos son:

- Energía consumida temporalmente
- Energía utilizada cada unidad producida
- Modelos multivariantes

La entidad puede seleccionar sus propios IDEn indicativos del desempeño operativo e introducir actualizaciones cuando ocurran modificaciones significativas. (Cubillo Sagüés et al., 2020).

Los principios esenciales al diseñar IDEn son:

- Relación causa/efecto: Las dimensiones entre parámetros han de estar conectadas bajo esta relación esencial
- Enfoque estratégico sobre medidas clave: Un exceso incrementa carga laboral limitando decisiones estratégicas.
- Diseño equilibrado: Mezcla adecuada entre mediciones objetivas (cuantitativas) y subjetivas (cualitativas).

Además, los tipos comunes de indicadores comprenden:

- Indicadores Específicos de consumo como los ilustrados en figura 26 evalúan el desempeño de acuerdo con las expectativas correlacionado con parámetros producción como kWh/ton, m³/pieza, etc. (Cubillo Sagüés et al., 2020).

Ejemplo incluirán:

- Consumo eléctrico por unidad de producción.
- Consumo térmico en función de las horas laboradas.
- Energía generada en proporción al consumo de energía primaria.

- Energía utilizada por cada kilómetro recorrido.
 - Energía empleada por tonelada transportada.
 - Energía consumida por unidad de longitud del producto.
 - Consumo energético según el peso del artículo.
- Indicador de eficiencia base 100: Este indicador refleja, en este contexto, el comportamiento del consumo energético al compararlo con los valores esperados para dicho consumo. Se calcula utilizando la línea base y se expresa como:

$$(\text{consumo esperado} / \text{consumo real}) * 100$$

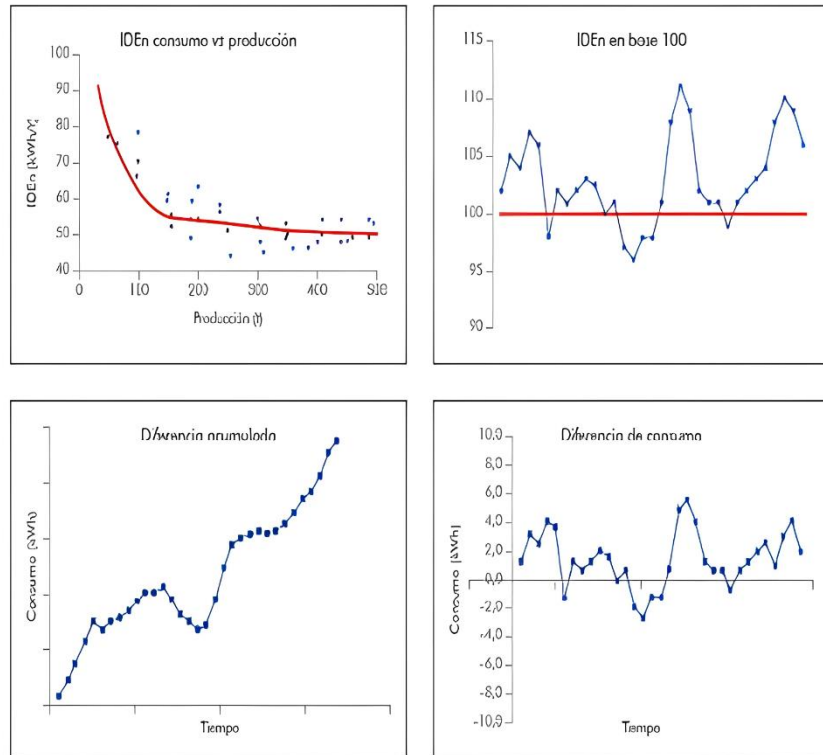
El "consumo esperado" corresponde a los datos obtenidos desde la línea base, considerando las variables que influyen en el consumo actualizado (Cubillo Sagüés et al., 2020).

- Indicadores gráficos de tendencia o sumas acumulativas (cumsum): Estos indicadores son utilizados para monitorear las tendencias del consumo respecto a las variaciones energéticas observadas durante un periodo base definido (suma positiva o negativa) (Cubillo Sagüés et al., 2020).

En la figura 26 tenemos las gráficas de los indicadores más comunes encontrados en la actualidad.

Figura 26:

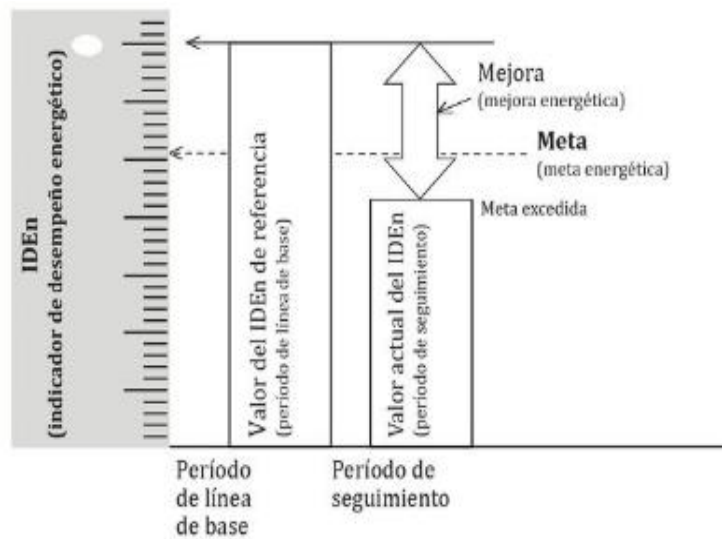
Indicadores de consumo más usados.



Nota: Indicadores de consumo más usados. Fuente: (Cubillo Sagüés et al., 2020).

Figura 27:

Comparativa de valores de IDEn para la realización del seguimiento del desempeño energético.



Nota: Comparativa de valores de IDEn Fuente: (ISO 50001:2018).

Como indicador de seguimiento del desempeño energético es posible utilizar una variación entre el consumo real en el período de seguimiento y el consumo de línea de base, expresado en porcentaje (%).

$$IDEn = (\text{Consumo base} - \text{Consumo real}) / \text{Consumo base} (\%)$$

De esta manera, un valor positivo indica el % de ahorro conseguido, y un valor negativo el % de sobreconsumos, como se representa en la figura 27.

3.2.9 Norma ISO 50001

La norma ISO 50001:2018 especifica los requisitos para un sistema de gestión de la energía (SGEn), permitiendo a una organización implementar políticas efectivas y establecer objetivos, además de identificar áreas que requieren priorización en términos de consumo energético. Desde hace casi dos décadas, diversas entidades normativas han estado trabajando en el desarrollo de documentos que guíen a las organizaciones hacia una gestión energética efectiva. En 2018, ISO lanzó una versión actualizada del estándar ISO 50001, diseñado para ayudar a las empresas implementadoras a lograr mejoras significativas en eficiencia energética y un impacto positivo en sus resultados financieros. Los datos desde el lanzamiento de la edición anterior en 2011 son contundentes: más de 26000 organizaciones alrededor del mundo están certificadas bajo esta norma y este número prácticamente se duplica cada año. Adicionalmente, ISO ha evaluado su implementación global y ha determinado que durante este periodo se ha logrado generar ahorros sistemáticos entre el 5% y el 30% sobre los costos energéticos actuales debido a reducciones en consumo energético. Un notable 90% de las organizaciones que aplican esta norma la recomiendan; además, un destacado 95% afirma que les ayuda a identificar y optimizar actividades con alto consumo energético. Desde su introducción al mercado, ISO 50001 cuenta con sólido apoyo organizacional ya que proporciona un marco robusto para avanzar hacia un futuro sustentable en términos energéticos. Esta normativa está alineada con la perspectiva europea sobre considerar la eficiencia energética como fuente legítima propia e incorpora el principio "primero lo eficiente" al establecer nuevas

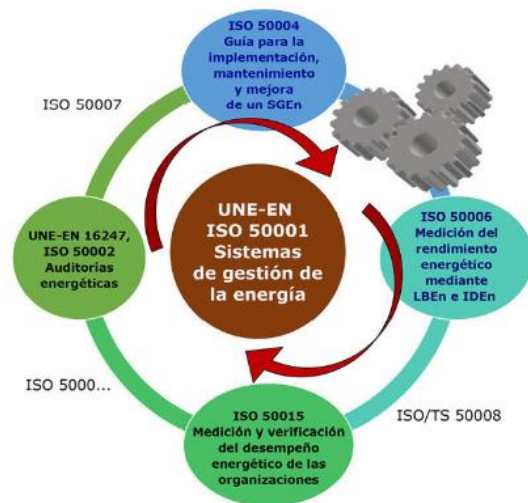
regulaciones relativas al suministro energético. Esto resalta no solo su enfoque comercial significativo sino también subraya la importancia del análisis contextual por parte del usuario. La aplicación de esta norma es factible para cualquier organización sin importar tamaño o sector; no impone requisitos absolutos respecto al rendimiento energético más allá aquellos establecidos dentro Políticas Energéticas internas ni define criterios específicos acerca del desempeño relacionado con energía. En resumen:

- La Norma ISO 50001 representa una herramienta valiosa destinada a asegurar cumplimiento continuo ante legislación vigente.
- Facilita labores administrativas asociadas a gestores energéticos
- Permite implementar acciones derivadas auditorías energéticas efectivas.

Además, promueve ahorro económico mientras mejora tanto rendimiento energético como competitividad empresarial mediante reducción simultánea del consumo primario eléctrico junto emisiones CO_2 , así como dependencia exterior e intensidad energética generalizadas. Actualmente existe gran diversidad entre organizaciones europeas de diferentes tamaños y sectores certificando sus sistemas efectivos dedicados a la gestión óptima de los recursos energéticos sostenibles. Se observa variedad notoria abarcando desde grandes consumidores industriales hasta firmas de ingenierías, servicios a pequeñas medianas empresas edificios etc., demostrando así valor agregado proporcionado cada vez más esencial respecto administración eficaz independientemente ámbito actividad u escala operativa. (Cubillo Sagüés et al., 2020). La figura 28 y 29 representa la forma en que la norma ISO 50001, destinada a la gestión energética, se interrelaciona y refuerza otras normativas internacionales relacionadas con auditorías, medición y optimización del rendimiento energético y de cómo se lo debe implementar.

Figura 28:

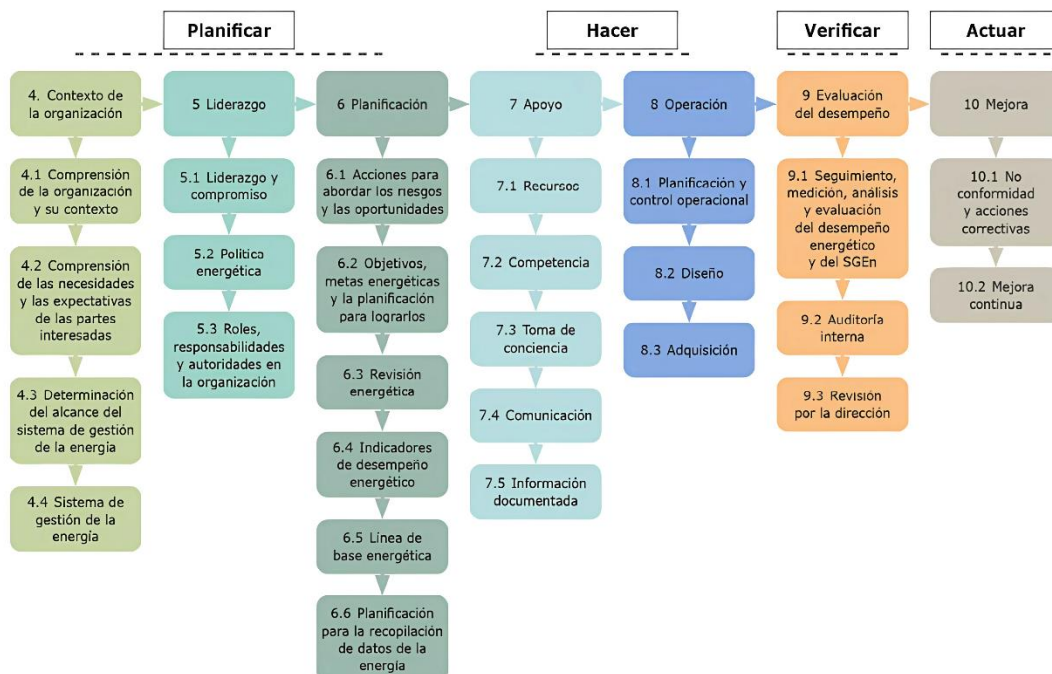
Relación de herramientas normativas para la gestión de energía



Nota: Relación de herramientas normativas para la gestión de energía. Fuente: (Cubillo Sagüés et al., 2020).

Figura 29:

Requerimientos que establece la política ISO 50001.



Nota: Requerimientos que establece la política ISO 50001. Fuente: (Cubillo Sagüés et al., 2020).

3.3 Importancia de la Eficiencia Energética en la Industria

De acuerdo con datos compensados por la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), el sector industrial constituye un 29% del consumo total de energía. Este porcentaje se prevé que aumente anualmente en correlación con los costos y las repercusiones ambientales, a menos que se implementen estrategias energéticas eficientes. Dado que las industrias representan una parte considerable del consumo energético, es crucial alinear sus prácticas para optimizar el uso de recursos y equipos, así como mejorar la eficacia operativa.

Las decisiones acertadas orientadas hacia objetivos de eficiencia energética generarán beneficios tanto económicos como productivos y medioambientales a mediano y largo plazo. Entre estos beneficios se incluyen:

- Mayor competitividad en mercados nacionales e internacionales.
- Reducción en los costos de producción.
- Incremento en ventas mediante productos de mayor calidad ofrecidos a precios competitivos.
- Contribución a disminuir la contaminación atmosférica.
- Conservación eficiente de recursos naturales.
- Adopción de tecnologías innovadoras.
- Utilización de fuentes alternativas energéticas durante procesos productivos.
- Disminución del consumo energético junto con menor inversión asociada al mismo.
- Aprovechamiento del excedente energético para otras actividades.

Es esencial reconocer que la energía representa uno de los insumos más críticos para el desarrollo industrial; por lo tanto, aumentar la productividad es fundamental para impulsar el progreso y crecimiento tanto del proyecto como de la empresa involucrada. (Viteri, s.f.).

3.4 Eficiencia Energética y Competitividad

La eficiencia energética se define como la capacidad de producir, distribuir y utilizar la energía necesaria para asegurar un estándar de calidad total. Este concepto forma parte de los desafíos que enfrentan las empresas e instituciones en cuanto a su competitividad. Implica cumplir con los requisitos del cliente minimizando el consumo

energético y reduciendo al mismo tiempo el impacto ambiental asociado. Para cualquier empresario, uno de sus objetivos estratégicos es alcanzar una alta calidad en sus productos a un costo reducido; esto les permite mejorar su posición en el mercado y aumentar sus beneficios.

El aumento en la eficiencia energética contribuye a disminuir los costos productivos, lo cual mejora la competitividad empresarial sin comprometer la calidad del producto. Además, presenta beneficios ambientales inmediatos debido a una menor utilización de recursos naturales y disminución en las emisiones contaminantes. Para medir las mejoras derivadas de esta eficiencia, se utiliza como indicador el consumo específico de energía, o índice consumido, que representa la cantidad de energía utilizada por unidad producida o servicio ofrecido. En este sentido, no solo actúa como una herramienta para gestionar impactos ambientales responsables sino también constituye un elemento esencial para incrementar la competitividad dentro del sector cerámico (Borroto Nordelo, 2002).

Dentro del contexto actual global caracterizado por una intensa competencia comercial, ser capaz de operar con mayor eficiencia energética puede resultar decisivo tanto para reducir costos como para elevar estándares cualitativos del producto final. Las empresas dedicadas a la fabricación cerámica que adopten prácticas eficientes pueden experimentar ventajas significativas sobre sus competidores: al optimizar procesos productivos logran controlar mejor los gastos operacionales mientras elevan simultáneamente la calidad resultante. Este incremento calificado puede traducirse directamente en mayor satisfacción entre clientes finales y fomentar así un crecimiento proporcionalmente significativo hacia mayores cuotas dentro del mercado objetivo. La eficiencia energética también emerge como argumento atractivo ante consumidores cada vez más conscientes acerca del impacto medioambiental; estos buscan proveedores comprometidos con prácticas sostenibles. Por ende, aquellas compañías cerámicas que evidencien genuino compromiso hacia estas iniciativas podrán captar clientela interesada específicamente en tales atributos distintivos lo cual eventualmente podría reflejarse positivamente mediante incrementos sustanciales tanto financieros como oportunidades comerciales futuras (Borroto Nordelo, 2002).

3.5 Normativas Aplicadas a la Eficiencia Energética

Según la norma ISO 50001:2018, los sistemas de gestión energética ofrecen directrices para su implementación y son considerados como una normativa internacional opcional formulada por la Organización Internacional de Normalización (ISO). Esta norma establece requisitos que permiten a las organizaciones, sin importar su tamaño o sector ya sea público o privado mejorar sus sistemas de gestión del consumo energético, generando así beneficios en diversas industrias y servicios alrededor del mundo. ISO 50001 ofrece un marco adecuado para gestionar el uso energético en instalaciones industriales, comerciales e institucionales, así como en entidades gubernamentales. Se estima que esta norma tiene el potencial de impactar hasta un 60% del consumo global de energía debido a su amplia aplicabilidad entre diferentes sectores económicos nacionales. (Zapata Benites, 2020).

4 Materiales y metodología

La propuesta del presente proyecto se llevará a cabo en etapas, empleando un diseño experimental con un enfoque inductivo y cuantitativo. El objetivo principal será evaluar el gasto de energía eléctrica en la línea de producción cuatro de Cerámica Rialto S.A.

En primero se recogerán datos históricos sobre el consumo eléctrico (en kilovatios-hora) y los niveles de producción (en metros cuadrados) correspondientes al periodo entre el año 2022 y junio de 2024. Esta información será extraída a partir de las facturas eléctricas, así como los registros productivos proporcionados por la empresa. El análisis detallado de estos datos permitirá identificar patrones en el uso energético y su correlación con los volúmenes de producción, todo ello sin realizar alteraciones en las condiciones operativas actuales.

Durante la segunda etapa, se empleará la norma ISO 50001:2018 como referencia para mejorar la gestión energética. Esto abarcará desde la creación una línea base energética hasta establecer indicadores clave de eficiencia; además incluirá el desarrollo un plan estratégico orientado hacia la disminución del consumo energético que garantice así misma viabilidad a esta propuesta.

4.1 Elaboración de la línea base

Para la creación de la línea base, se llevó a cabo la recopilación de datos de años anteriores desde el periodo año 2022 hasta junio 2024 correspondientes a las facturas de la empresa eléctrica de donde se sacaron los datos del consumo de energía y de los registros de las producciones en metros cuadrados correspondientes a ese periodo. (Véase figura 30)

Figura 30:

Consumos de energía eléctrica y producción.

AÑO	MES	PRODUCCIÓN [m ²]	CONSUMO [kWh]
2022	ENE	630.982,29	1.872.790
2022	FEB	586.607,50	1.504.520
2022	MAR	448.424,95	1.132.540
2022	ABR	561.614,84	1.692.090
2022	MAY	720.389,40	1.983.380
2022	JUN	549.137,26	1.618.790
2022	JUL	594.991,90	1.687.120
2022	AGO	590.908,86	1.493.170
2022	SEP	678.200,15	1.863.200
2022	OCT	708.704,34	1.938.890
2022	NOV	682.774,26	1.880.330
2022	DIC	698.340,97	1.897.930
2023	ENE	706.043,81	1.929.040
2023	FEB	692.619,20	1.844.580
2023	MAR	697.258,71	1.959.460
2023	ABR	647.067,16	1.869.270
2023	MAY	620.247,17	1.835.790
2023	JUN	594.725,32	1.714.070
2023	JUL	532.523,24	1.662.370
2023	AGO	570.524,96	1.749.290
2023	SEP	469.311,18	1.406.610
2023	OCT	482.313,32	1.470.690
2023	NOV	411.379,79	1.312.290
2023	DIC	409.162,64	1.415.125
2024	ENE	518.620,95	1.598.640
2024	FEB	480.416,13	1.323.885
2024	MAR	517.505,23	1.460.784
2024	ABR	323.868,29	1.233.424
2024	MAY	406.369,63	1.293.520
2024	JUN	382.448,97	1.362.923

Nota: Datos tomados de la facturación eléctrica y producción. Fuente: Autor (2024).

En función de la información anterior procedemos a utilizar los métodos estadísticos para el cálculo de la línea base basándose en la guía de la norma ISO 50001:2018.

Figura 31:

Análisis de regresión.

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,928393071
Coefficiente de determinación R ²	0,861913694
R ² ajustado	0,85698204
Error típico	94488,68086
Observaciones	30

ANÁLISIS DE VARIANZA				
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	1,56038E+12	174,7717356	1,46747E-13
Residuos	28	2,49987E+11	8928110810	
Total	29	1,81037E+12		

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Intercepción	470986,9568	89615,03553	5,255668918	1,37901E-05	287418,878	654555,0357	287418,878	654555,0357
Variable X 1	2,062076953	0,155980127	13,22012616	1,46747E-13	1,742566148	2,381587759	1,742566148	2,381587759

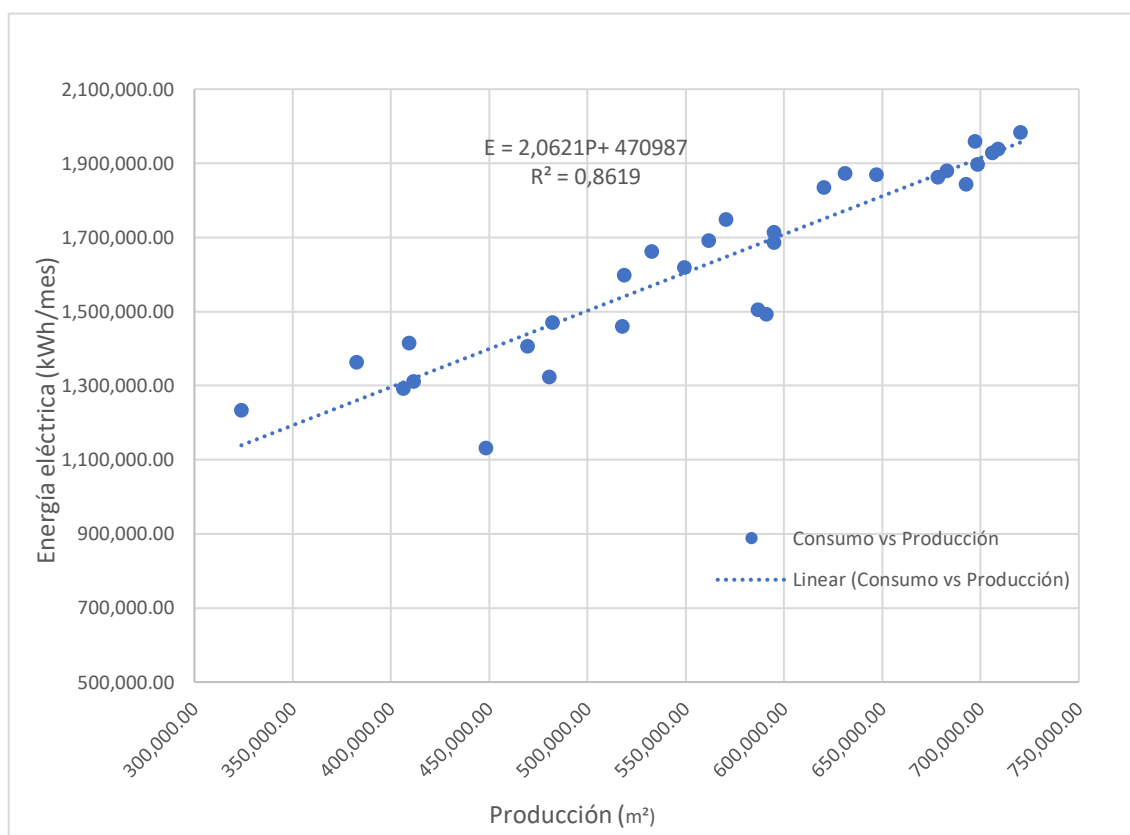
Nota: Cálculo realizado en Excel en función de los datos de energía eléctrica y producción.

Fuente: Autor (2024).

De acuerdo con la figura 31, se puede observar que no es necesario filtrar valores ya que la probabilidad es P-value < 0,005. Pero de igual manera se observa que el $R^2 = 0,8619$ que es mayor a 0,75 que es lo que se sugiere para elaborar la línea base. En función de esto la gráfica y la ecuación de nuestra línea base nos queda de la siguiente manera. (Figura 32).

Figura 32:

Línea Base Energética.



Nota: Gráfica elaborada sin filtración de datos. Fuente: Autor (2024).

No se puede dar por sentado que el modelo en construcción alcanzará un R^2 igual a 1, teniendo en cuenta que solo estamos correlacionando el consumo de electricidad con los cambios en la producción. En la práctica, es evidente que estas variaciones no afectan exclusivamente a la energía consumida; también hay algunos efectos operativos y de mantenimiento que están interfiriendo, con fluctuaciones que tienen una influencia considerable. Un valor más elevado de R^2 indica una menor cantidad de energía requerida para compensar las variaciones provocadas por estos otros elementos, los cuales pueden llevar a pérdidas. Además, el cálculo del R^2 está influenciado por la presencia de datos erróneos. Para mitigar esta problemática y asegurar la calidad del conjunto muestral, es esencial realizar un filtrado exhaustivo (Figura 33); eliminando aquellos datos que no reflejan comportamientos normales. Este proceso implicará identificar y aislar los valores atípicos durante la

construcción de nuestra línea base. A partir de este análisis inicial, estableceremos límites superior e inferior para dicha línea base (Figura 34); cualquier dato considerado falso o atípico fuera este rango será descartado antes de proceder con una nueva determinación básica. Finalmente, al error típico obtenido se le sumará al total calculado del consumo energético correspondiente a esa línea base para definir así el límite superior; inversamente, restándolo permitirá determinar el límite inferior.

Figura 33:

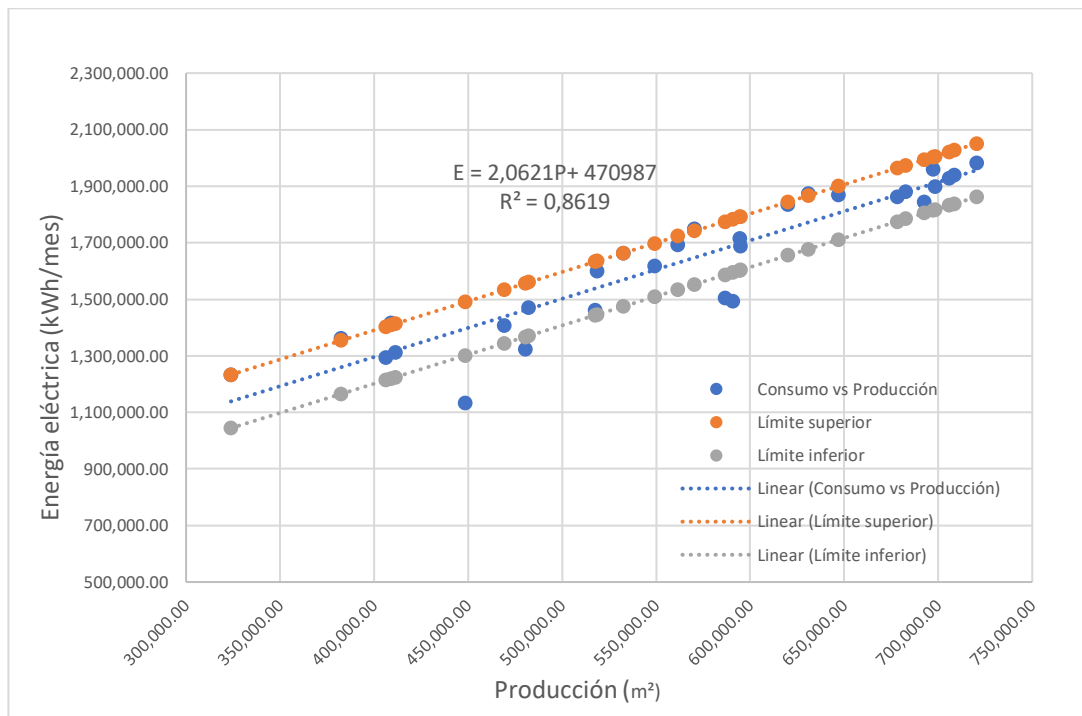
Filtrado de datos línea base.

AÑO	MES	PRODUCCIÓN (m³)	Ei (kWh/mes)	E CALCULADO(kWh/mes)	Ei*2	Ei*Pi	EC+Sy,x	EC-Sy,x	(EC+Sy,x)-Real	Real-(EC-Sy,x)
2022	ENERO	630.982,29	1.872.790,00	1.772.135,58	3.507.342.384.100,00	1.181.697.322.889,10	1.866.624,26	1.677.646,90	-6.165,74	195.143,10
2022	FEBRERO	586.607,50	1.504.520,00	1.680.630,33	2.263.580.430.400,00	882.562.715.900,00	1.775.119,01	1.586.141,64	270.599,01	-81.621,64
2022	MARZO	448.424,95	1.132.540,00	1.395.684,09	1.282.646.851.600,00	507.859.192.873,00	1.490.172,77	1.301.195,41	357.632,77	-168.655,41
2022	ABRIL	561.614,84	1.692.090,00	1.629.092,96	2.863.168.568.100,00	950.302.854.615,60	1.723.581,64	1.534.604,28	31.491,64	157.485,72
2022	MAYO	720.389,40	1.983.380,00	1.956.501,98	3.933.796.224.400,00	1.428.805.928.172,00	2.050.990,66	1.862.013,30	67.610,66	121.366,70
2022	JUNIO	549.137,26	1.618.790,00	1.603.362,94	2.620.481.064.100,00	888.937.905.115,40	1.697.851,62	1.508.874,26	79.061,62	109.915,74
2022	JULIO	594.991,90	1.687.120,00	1.697.919,80	2.846.373.894.400,00	1.003.822.734.328,00	1.792.408,48	1.603.431,12	105.288,48	83.688,88
2022	AGOSTO	590.908,86	1.493.170,00	1.689.500,16	2.229.556.648.900,00	882.327.382.486,20	1.783.988,84	1.595.011,48	290.818,84	-101.841,48
2022	SEPTIEMBRE	678.200,15	1.863.200,00	1.869.503,53	3.471.514.240.000,00	1.263.622.519.480,00	1.963.992,21	1.775.014,85	100.792,21	88.185,15
2022	OCTUBRE	708.704,34	1.938.890,00	1.932.406,22	3.759.294.432.100,00	1.374.099.757.782,60	2.026.894,90	1.837.917,54	88.004,90	100.972,46
2022	NOVIEMBRE	682.774,26	1.880.330,00	1.878.935,80	3.535.640.908.900,00	1.283.840.924.305,80	1.973.424,48	1.784.447,12	93.094,48	95.882,88
2022	DICIEMBRE	698.340,97	1.897.930,00	1.911.035,91	3.602.138.284.900,00	1.325.402.277.192,10	2.005.524,60	1.816.547,23	107.594,60	81.382,77
2023	ENERO	706.043,81	1.929.040,00	1.926.919,94	3.721.195.321.600,00	1.361.986.751.242,40	2.021.408,62	1.832.431,26	92.368,62	96.608,74
2023	FEBRERO	692.619,20	1.844.580,00	1.899.237,05	3.402.475.376.400,00	1.277.591.523.936,00	1.993.725,73	1.804.748,37	149.145,73	39.831,63
2023	MARZO	697.258,71	1.959.460,00	1.908.804,19	3.839.483.491.600,00	1.366.250.551.896,60	2.003.292,87	1.814.315,51	43.832,87	145.144,49
2023	ABRIL	647.067,16	1.869.270,00	1.805.304,19	3.494.170.332.900,00	1.209.543.230.173,20	1.899.792,87	1.710.815,51	30.522,87	158.454,49
2023	MAYO	620.247,17	1.835.790,00	1.749.998,69	3.370.124.924.100,00	1.138.643.552.214,30	1.844.487,37	1.655.510,01	8.697,37	180.279,99
2023	JUNIO	594.725,32	1.714.070,00	1.697.370,08	2.938.035.964.900,00	1.019.400.829.252,40	1.791.858,76	1.602.881,40	77.788,76	111.188,60
2023	JULIO	532.523,24	1.662.370,00	1.569.103,17	2.763.474.016.900,00	885.250.658.478,80	1.663.591,85	1.474.614,49	1.221,85	187.755,51
2023	AGOSTO	570.524,96	1.749.290,00	1.647.466,52	3.060.015.504.100,00	998.013.607.278,40	1.741.955,20	1.552.977,84	-7.334,80	196.312,16
2023	SEPTIEMBRE	469.311,18	1.406.610,00	1.438.753,58	1.978.551.692.100,00	660.137.798.899,80	1.533.242,27	1.344.264,90	126.632,27	62.345,10
2023	OCTUBRE	482.313,32	1.470.690,00	1.465.565,30	2.162.929.076.100,00	709.333.376.590,80	1.560.053,98	1.371.076,62	89.363,98	99.613,38
2023	NOVIEMBRE	411.379,79	1.312.290,00	1.319.293,26	1.722.105.044.100,00	539.849.584.619,10	1.413.781,95	1.224.804,58	101.491,95	87.485,42
2023	DICIEMBRE	409.162,64	1.415.125,00	1.314.721,28	2.002.578.765.625,00	579.016.280.930,00	1.409.209,96	1.220.232,60	-5.915,04	194.892,40
2024	ENERO	518.620,95	1.598.640,00	1.540.435,26	2.555.649.849.600,00	829.088.195.508,00	1.634.923,94	1.445.946,58	36.283,94	152.693,42
2024	FEBRERO	480.416,13	1.323.885,00	1.461.653,10	1.752.671.493.225,00	636.015.708.265,05	1.556.141,78	1.367.164,42	232.256,78	-43.279,42
2024	MARZO	517.505,23	1.460.784,00	1.538.134,53	2.133.889.894.656,00	755.963.359.900,32	1.632.623,22	1.443.645,85	171.839,22	17.138,15
2024	ABRIL	323.868,29	1.233.424,00	1.138.835,80	1.521.334.763.776,00	399.466.921.724,96	1.233.324,48	1.044.347,12	-99,52	189.076,88
2024	MAYO	406.369,63	1.293.520,00	1.308.961,81	1.673.193.990.400,00	525.647.243.797,60	1.403.450,49	1.214.473,13	109.930,49	79.046,87
2024	JUNIO	382.448,97	1.362.923,00	1.259.635,02	1.857.559.103.929,00	521.248.497.539,31	1.354.123,70	1.165.146,34	-8.799,30	197.776,66

Nota: Límite superior e inferior línea base. Fuente: Autor (2024).

Figura 34:

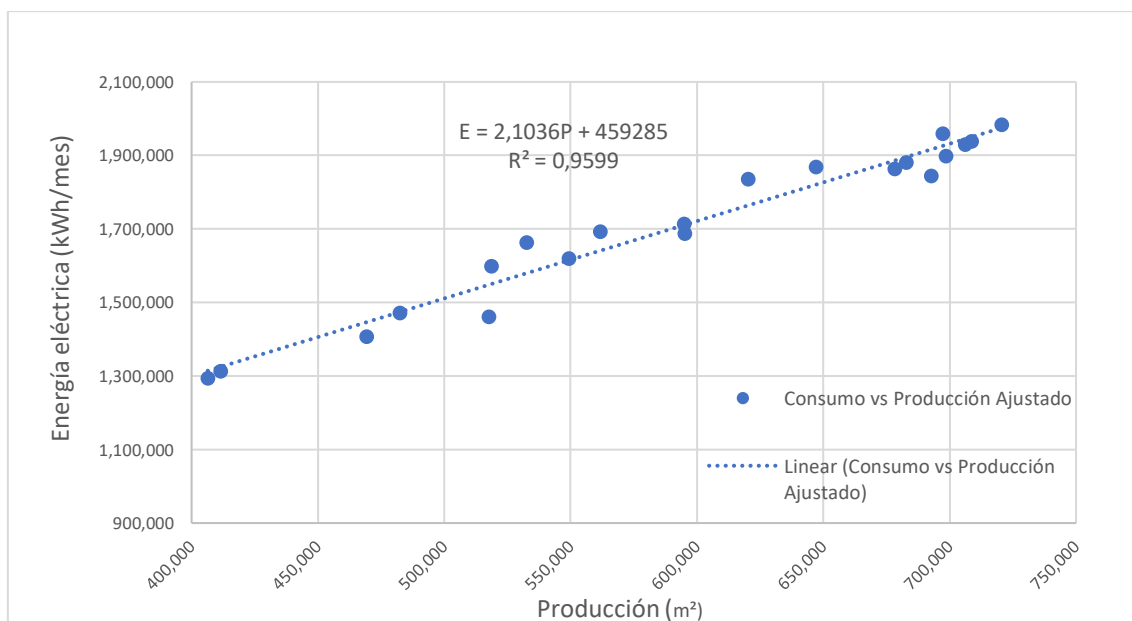
Gráfica de límites superior e inferior línea base.



Nota: Límites superior e inferior de la línea base. Fuente: Autor (2024)

Figura 35:

Línea base filtrada.



Nota: Línea base ajustada a R^2 . Fuente: Autor (2024).

Una vez obtenido la línea base energética y realizado el análisis de regresión se obtiene los siguientes datos. (Figura 35 y 36)

Figura 36:

Análisis de regresión con filtrado de datos.

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,979758554
Coefficiente de determinación R ²	0,959926825
R ² ajustado	0,95781771
Error típico	44793,72004
Observaciones	21

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	MS	F	Valor crítico de F
Regresión	1	9,13213E+11	9,13213E+11	455,1326311	9,81711E-15
Residuos	19	38123069750	2006477355		
Total	20	9,51336E+11			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Intercepción	459284,7986	59454,65848	7,724958991	2,80679E-07	334844,7682	583724,8289	334844,7682	583724,8289
Variable X 1	2,103568719	0,098602452	21,3338377	9,81711E-15	1,897191414	2,309946024	1,897191414	2,309946024

Nota: Cálculo realizado en Excel en función de los datos de energía eléctrica y producción.

Fuente: Autor (2024).

La ecuación resultante de la línea base es:

$$E = 2,1036P + 459.285$$

La probabilidad es 9,81711E-15 <<< 0,05 por lo tanto es significativo.

Verificación del grado de significación del modelo t student (figura 37) es 22 y nos da 2,086 para 20 datos con un nivel de confianza del 95%.

Originando que 21,33 >>> 2,086, ya que las variaciones en la producción impactan decisivamente en las variaciones en el uso de energía.

La conclusión está verificada por un R² igual 0,95, lo que indica que la variable tiene poco efecto en el uso de energía. Esto indicaría que relativamente pocos ahorros están disponibles a partir del control de estos parámetros para ahorrar energía.

La precisión absoluta del modelo se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Precisión absoluta} = t * S_{xy}$$

Donde:

t se determina por la tabla de t -student

S_{xy} determinado por el error típico.

$$\text{Precisión relativa} = t * S_{xy}$$

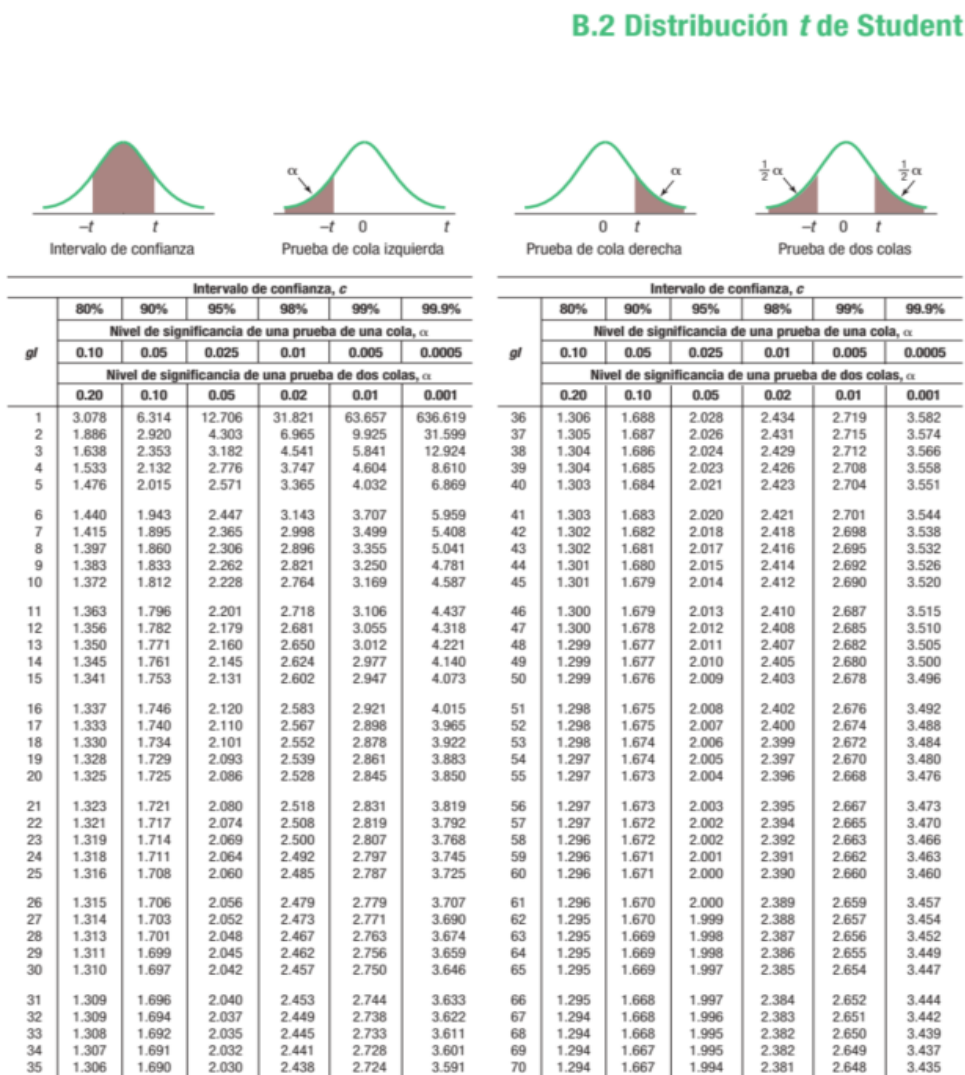
$$\text{Precisión absoluta} = 2,086 * 44.793,72$$

$$\text{Precisión absoluta} = t * S_{xy}$$

$$\text{Precisión absoluta} = 93.439,6999 \text{ kW/mes}$$

Figura 37:

Distribución t de Student.



Nota: Distribución t de Student. Fuente:(Lind, Marchal & Wathen, 2012)

La precisión relativa en porcentaje del modelo se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Precisión relativa} = \frac{\text{Precisión Absoluta}}{\text{Consumo Esperado Medio}}$$

Donde consumo esperado medio se calcula con la línea base para el \bar{P} ;para nuestro caso es $\bar{P} = 594.768,47$

$$\text{Consumo Esperado Medio} = A\bar{P} + B$$

$$\text{Consumo Esperado Medio} = (2,1036 * 594.768,47) + 459.285$$

$$\text{Consumo Esperado Medio} = 1710.439,949 \text{ KWh}$$

$$\text{Precisión relativa} = \left(\frac{93.439,70001}{1710.439,949} \right)$$

$$\text{Precisión relativa} = 0,05 = 5 \%$$

Tabla 3 :

Atributos del modelo de línea base

Modelo	E=2,1036 P +459.285 (kWh/mes)
Nivel de confianza	95%
Valor de p-value variable independiente	9,81711E-15 <<< 0,05
Energía no asociada a la producción (variable independiente) o Intervalo de confianza	±5%
Razón del cambio en el consumo en relación con la producción (variable independiente)	2,1036 kWh por cada incremento de un metro cuadrado de producción
Periodo base	Enero 2022 a junio 2024
Variables relevantes	Producción en metros cuadrados
Error	44.793,72 (kWh/mes)
Porcentaje de error	2,6%

Nota: Resumen del análisis de la línea base energética. Fuente: Autor (2024).

4.2 Elaboración de la línea la meta

Se procedió en base a la información previamente calculada a establecer metas de energía basadas en comportamiento de la línea base, se debe tomar los datos por debajo de la línea base, determinar la nueva ecuación de la nueva línea de tendencia. (Véase figura 38)

De acuerdo con los datos tabulados realizamos una filtración de todos los datos que se localizan debajo de la línea base y procedemos a determinar la nueva ecuación de la línea meta de tendencia, para posterior interpretar los resultados obtenidos. (Véase figura 39 y 40)

Figura 38:

Filtrado de datos para línea base.

AÑO	MES	PRODUCCIÓN (m ³)	Ei (kWh/mes)	Ei CALCULADO(kWh/mes)	EiReal-EiC	Emeta	Ei-Emeta Ahorro potencial (kWh/mes)
2022	ENERO	630.982,29	1.872.790,00	1.772.135,58	100.654,42	1.756.955,73	15.179,85
2022	FEBRERO	586.607,50	1.504.520,00	1.680.630,33	-176.110,33	1.663.817,48	16.812,84
2022	MARZO	448.424,95	1.132.540,00	1.395.684,09	-263.144,09	1.373.786,13	21.897,96
2022	ABRIL	561.614,84	1.692.090,00	1.629.092,96	62.997,04	1.611.360,39	80.729,61
2022	MAYO	720.389,40	1.983.380,00	1.956.501,98	26.878,02	1.944.612,31	38.767,69
2022	JUNIO	549.137,26	1.618.790,00	1.603.362,94	15.427,06	1.585.171,20	33.618,80
2022	JULIO	594.991,90	1.687.120,00	1.697.919,80	-10.799,80	1.681.415,50	5.704,50
2022	AGOSTO	590.908,86	1.493.170,00	1.689.500,16	-196.330,16	1.672.845,61	-179.675,61
2022	SEPTIEMBRE	678.200,15	1.863.200,00	1.869.503,53	-6.303,53	1.856.061,29	7.138,71
2022	OCTUBRE	708.704,34	1.938.890,00	1.932.406,22	6.483,78	1.920.086,54	18.803,46
2022	NOVIEMBRE	682.774,26	1.880.330,00	1.878.935,80	1.394,20	1.865.661,89	14.668,11
2022	DICIEMBRE	698.340,97	1.897.930,00	1.911.035,91	-13.105,91	1.898.334,86	-404,86
2023	ENERO	706.043,81	1.929.040,00	1.926.919,94	2.120,06	1.914.502,35	14.537,65
2023	FEBRERO	692.619,20	1.844.580,00	1.899.237,05	-54.657,05	1.886.325,44	-41.745,44
2023	MARZO	697.258,71	1.959.460,00	1.908.804,19	50.655,81	1.896.063,31	63.396,69
2023	ABRIL	647.067,16	1.869.270,00	1.805.304,19	63.965,81	1.790.716,26	78.553,74
2023	MAYO	620.247,17	1.835.790,00	1.749.998,69	85.791,31	1.734.423,79	101.366,21
2023	JUNIO	594.725,32	1.714.070,00	1.697.370,08	16.699,92	1.680.855,97	33.214,03
2023	JULIO	532.523,24	1.662.370,00	1.569.103,17	93.266,83	1.550.300,03	112.069,97
2023	AGOSTO	570.524,96	1.749.290,00	1.647.466,52	101.823,48	1.630.061,84	119.228,16
2023	SEPTIEMBRE	469.311,18	1.406.610,00	1.438.753,58	-32.143,58	1.417.624,24	-11.014,24
2023	OCTUBRE	482.313,32	1.470.690,00	1.465.565,30	5.124,70	1.444.914,43	25.775,57
2023	NOVIEMBRE	411.379,79	1.312.290,00	1.319.293,26	-7.003,26	1.296.032,04	16.257,96
2023	DICIEMBRE	409.162,64	1.415.125,00	1.314.721,28	100.403,72	1.291.378,47	123.746,53
2024	ENERO	518.620,95	1.598.640,00	1.540.435,26	58.204,74	1.521.120,51	77.519,49
2024	FEBRERO	480.416,13	1.323.885,00	1.461.653,10	-137.768,10	1.440.932,42	-117.047,42
2024	MARZO	517.505,23	1.460.784,00	1.538.134,53	-77.350,53	1.518.778,73	-57.994,73
2024	ABRIL	323.868,29	1.233.424,00	1.138.835,80	94.588,20	1.112.354,15	121.069,85
2024	MAYO	406.369,63	1.293.520,00	1.308.961,81	-15.441,81	1.285.516,22	8.003,78
2024	JUNIO	382.448,97	1.362.923,00	1.259.635,02	103.287,98	1.235.309,14	127.613,86

Nota: Elaboración de línea meta. Fuente: Autor (2024).

Figura 39:

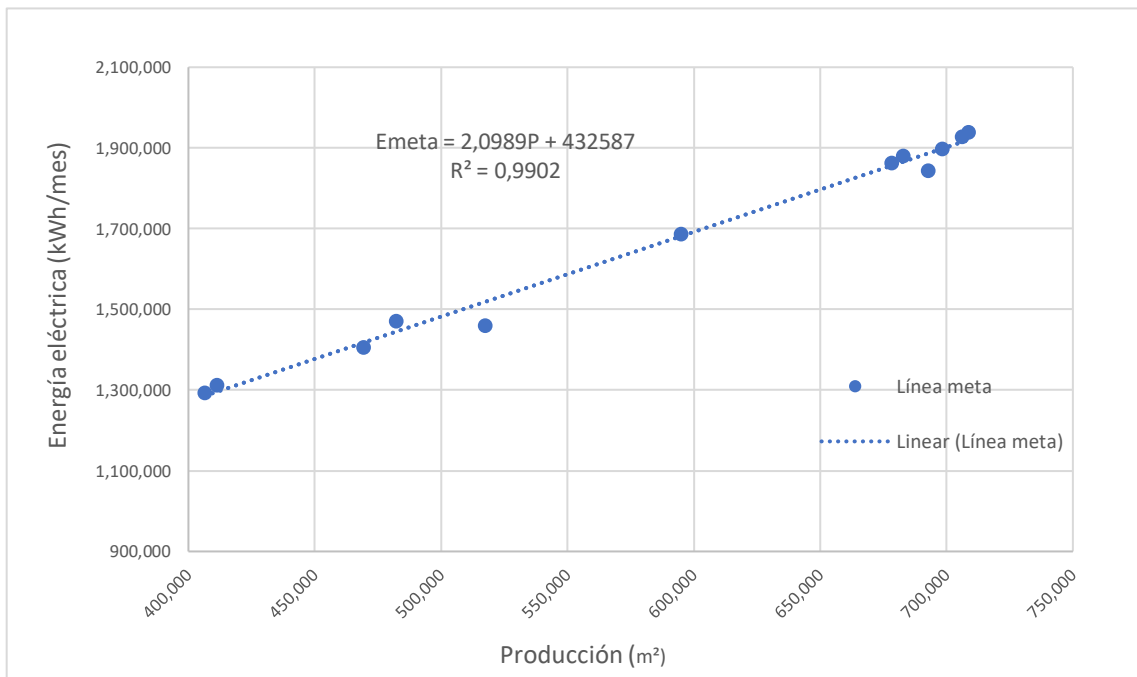
Datos filtrados línea meta.

Emeta = AP+B E =2,0989P+432.587 A = 2,0989 B = 432.587						
AÑO	MES	PRODUCCIÓN (m ²)	Ei (kWh/mes)	E META CALCULADO(kWh/mes)	Ei-Emeta	IC PROMEDIO [kWh/m ²]
2022	JULIO	594.991,90	1.687.120,00	1.681.415,50	5.704,50	2,84
2022	SEPTIEMBRE	678.200,15	1.863.200,00	1.856.061,29	7.138,71	2,75
2022	OCTUBRE	708.704,34	1.938.890,00	1.920.086,54	18.803,46	2,74
2022	NOVIEMBRE	682.774,26	1.880.330,00	1.865.661,89	14.668,11	2,75
2022	DICIEMBRE	698.340,97	1.897.930,00	1.898.334,86	-404,86	2,72
2023	ENERO	706.043,81	1.929.040,00	1.914.502,35	14.537,65	2,73
2023	FEBRERO	692.619,20	1.844.580,00	1.886.325,44	-41.745,44	2,66
2023	SEPTIEMBRE	469.311,18	1.406.610,00	1.417.624,24	-11.014,24	3,00
2023	OCTUBRE	482.313,32	1.470.690,00	1.444.914,43	25.775,57	3,05
2023	NOVIEMBRE	411.379,79	1.312.290,00	1.296.032,04	16.257,96	3,19
2024	MARZO	517.505,23	1.460.784,00	1.518.778,73	-57.994,73	2,82
2024	MAYO	406.369,63	1.293.520,00	1.285.516,22	8.003,78	3,18
SUMA		7048553,78	19984984,00		-269,53	2,87
PROMEDIO		587379,48	1665415,33			

Nota: Elaboración de línea meta. Fuente: Autor (2024).

Figura 40:

Línea meta energética.

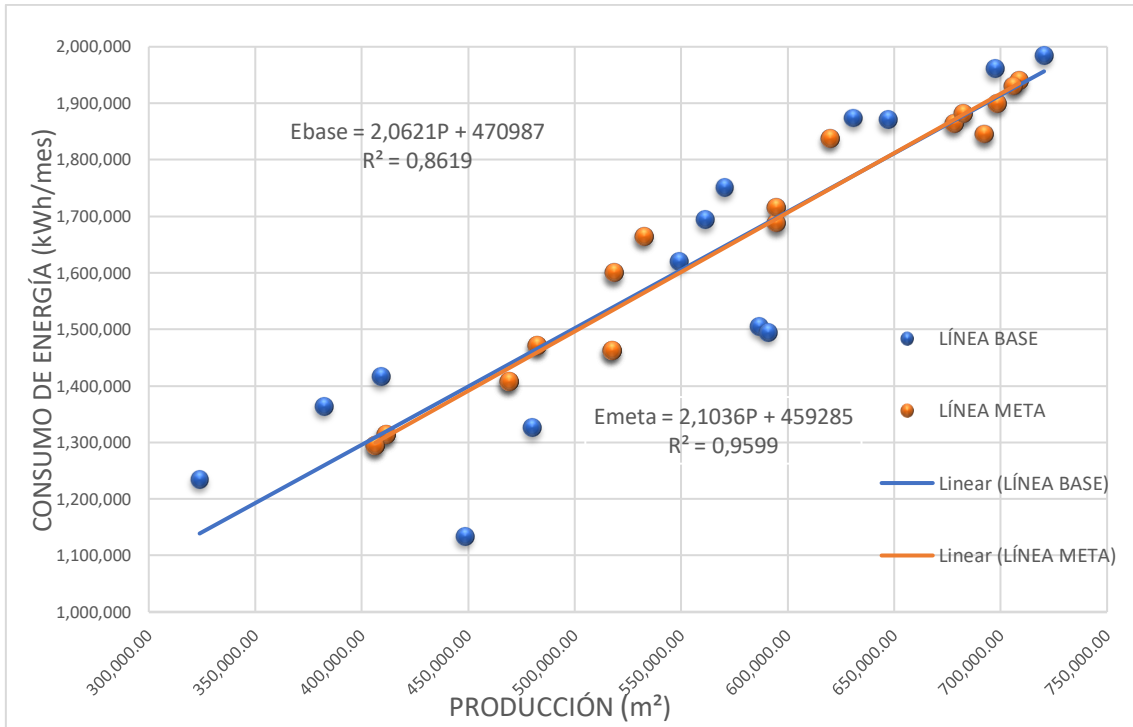


Nota: Elaboración de línea meta. Fuente: Autor (2024).

A continuación de los datos obtenidos anteriormente se hace una comparación de las líneas base y líneas meta representadas en la figura 41.

Figura 41:

Línea base vs Línea meta.



Nota: Elaboración de línea meta y línea base. Fuente: Autor (2024).

4.3 Potencial de ahorro

En función de los datos registrados ya con las líneas base y meta hemos podido determinar qué porcentaje de ahorro se podría obtener apenas con unas pequeñas mejoras. (Véase figura 42)

Figura 42:

Valores para determinar potencial de ahorro.

		E base = AP+B		Emeta = AP+B			
		E = 2,0621P + 470.987		E = 2,0989P + 432.587			
		A = 2,0621		A = 2,0989			
		B = 470.987		B = 432.587			
AÑO	MES	PRODUCCIÓN (m ³)	Ei (kWh/mes)	Ei CALCULADO(kWh/mes)	EiReal-EiC	Emeta	Ei-Emeta Ahorro potencial (kWh/mes)
2022	ENERO	630.982,29	1.872.790,00	1.772.135,58	100.654,42	1.756.955,73	15.179,85
2022	FEBRERO	586.607,50	1.504.520,00	1.680.630,33	-176.110,33	1.663.817,48	16.812,84
2022	MARZO	448.424,95	1.132.540,00	1.395.684,09	-263.144,09	1.373.786,13	21.897,96
2022	ABRIL	561.614,84	1.692.090,00	1.629.092,96	62.997,04	1.611.360,39	80.729,61
2022	MAYO	720.389,40	1.983.380,00	1.956.501,98	26.878,02	1.944.612,31	38.767,69
2022	JUNIO	549.137,26	1.618.790,00	1.603.362,94	15.427,06	1.585.171,20	33.618,80
2022	JULIO	594.991,90	1.687.120,00	1.697.919,80	-10.799,80	1.681.415,50	5.704,50
2022	AGOSTO	590.908,86	1.493.170,00	1.689.500,16	-196.330,16	1.672.845,61	-179.675,61
2022	SEPTIEMBRE	678.200,15	1.863.200,00	1.869.503,53	-6.303,53	1.856.061,29	7.138,71
2022	OCTUBRE	708.704,34	1.938.890,00	1.932.406,22	6.483,78	1.920.086,54	18.803,46
2022	NOVIEMBRE	682.774,26	1.880.330,00	1.878.935,80	1.394,20	1.865.661,89	14.668,11
2022	DICIEMBRE	698.340,97	1.897.930,00	1.911.035,91	-13.105,91	1.898.334,86	-404,86
2023	ENERO	706.043,81	1.929.040,00	1.926.919,94	2.120,06	1.914.502,35	14.537,65
2023	FEBRERO	692.619,20	1.844.580,00	1.899.237,05	-54.657,05	1.886.325,44	-41.745,44
2023	MARZO	697.258,71	1.959.460,00	1.908.804,19	50.655,81	1.896.063,31	63.396,69
2023	ABRIL	647.067,16	1.869.270,00	1.805.304,19	63.965,81	1.790.716,26	78.553,74
2023	MAYO	620.247,17	1.835.790,00	1.749.998,69	85.791,31	1.734.423,79	101.366,21
2023	JUNIO	594.725,32	1.714.070,00	1.697.370,08	16.699,92	1.680.855,97	33.214,03
2023	JULIO	532.523,24	1.662.370,00	1.569.103,17	93.266,83	1.550.300,03	112.069,97
2023	AGOSTO	570.524,96	1.749.290,00	1.647.466,52	101.823,48	1.630.061,84	119.228,16
2023	SEPTIEMBRE	469.311,18	1.406.610,00	1.438.753,58	-32.143,58	1.417.624,24	-11.014,24
2023	OCTUBRE	482.313,32	1.470.690,00	1.465.565,30	5.124,70	1.444.914,43	25.775,57
2023	NOVIEMBRE	411.379,79	1.312.290,00	1.319.293,26	-7.003,26	1.296.032,04	16.257,96
2023	DICIEMBRE	409.162,64	1.415.125,00	1.314.721,28	100.403,72	1.291.378,47	123.746,53
2024	ENERO	518.620,95	1.598.640,00	1.540.435,26	58.204,74	1.521.120,51	77.519,49
2024	FEBRERO	480.416,13	1.323.885,00	1.461.653,10	-137.768,10	1.440.932,42	-117.047,42
2024	MARZO	517.505,23	1.460.784,00	1.538.134,53	-77.350,53	1.518.778,73	-57.994,73
2024	ABRIL	323.868,29	1.233.424,00	1.138.835,80	94.588,20	1.112.354,15	121.069,85
2024	MAYO	406.369,63	1.293.520,00	1.308.961,81	-15.441,81	1.285.516,22	8.003,78
2024	JUNIO	382.448,97	1.362.923,00	1.259.635,02	103.287,98	1.235.309,14	127.613,86
	SUMA	16.913.482,42	49.006.511,00				867.792,74
	PROMEDIO	563.782,75	1.633.550,37				28.926,42

Nota: Tabulación de datos. Fuente: Autor (2024).

Tabla 4:

Resumen del potencial de la tabulación de datos.

LÍNEA BASE	E = 2,0621P + 470.987
LÍNEA META	E = 2,0989P + 432.587
POTENCIAL DE AHORRO ANUAL	867.792,74 kWh/año
POTENCIAL DE AHORRO MENSUAL PROMEDIO	28.926,42 kWh/mes
POTENCIAL DE AHORRO MENSUAL %	1,8 % DEL CONSUMO MENSUAL

Nota: Tabulación de datos. Fuente: Autor (2024).

4.4 Indicador de desempeño energético

En base a la información receptada se tomó como indicador de desempeño energético el de $\frac{Kwh}{m^2}$, como indicador de consumo; debido a que se tiene previsto comenzar con la energía eléctrica para realizar las mejoras energéticas por disponerse de la mayor información registrada.). (Véase figura 43)

De igual manera indicador desempeño base 100 y la tendencia del desempeño energético (CUSUM). (Véase figura 44 y 45)

Figura 43:

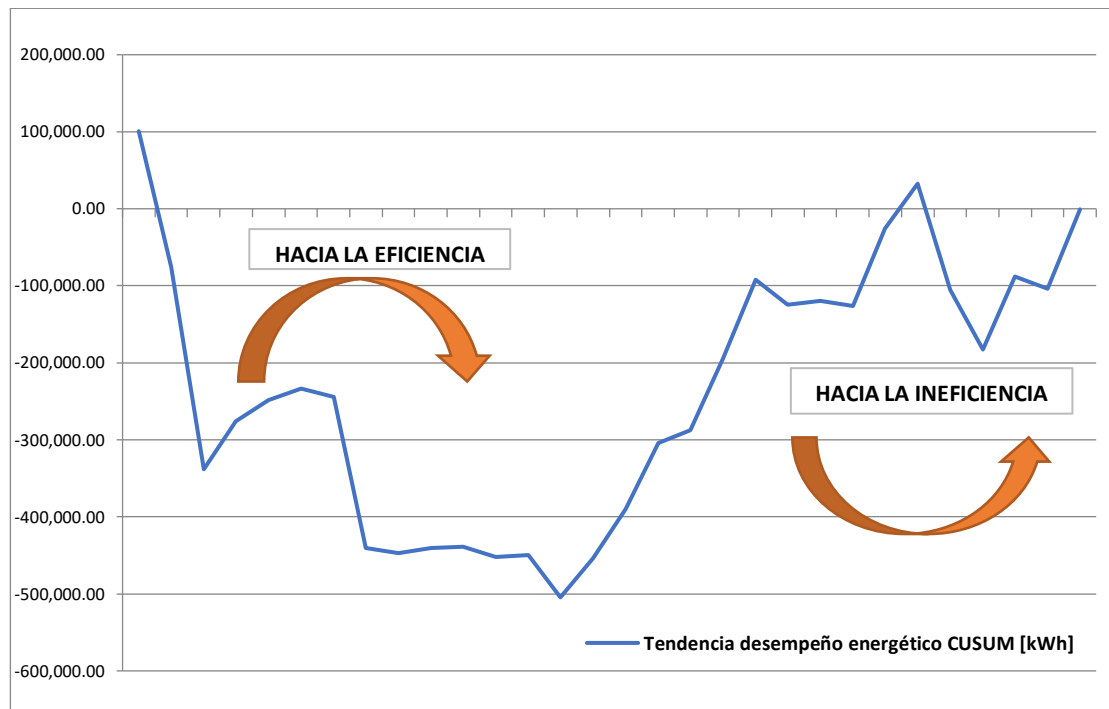
Indicador de desempeño energético IDE, base 100.

AÑO	MES	PRODUCCIÓN [m³]	CONSUMO [kWh]	IC ACTUAL (kWh/m²)	IC BASE (kWh/m²)	IC PROMEDIO (kWh/m²)	Estado	E Tendencia LnEn (kWh/mes)	Diferencia entre real-LBEN %	Diferencia Real LbEn	CumSum Diferencia	IDE Base 100	Energía Perdida Ahorrada [kWh]	Tendencia desempeño energético CUSUM [kWh]
2022	ENE	630.982,29	1.872.790,00	2,97	2,81	2,97	ineficiente	1.772.135,58	-0,05	100.654,42	100.654,42	0,95	100.654,42	100.654,42
2022	FEB	586.607,50	1.504.520,00	2,56	2,86	2,97	Eficiente	1.680.630,33	0,12	-176.110,33	-176.110,33	1,12	-176.110,33	-75.455,91
2022	MAR	448.424,95	1.132.540,00	2,53	3,11	2,97	Eficiente	1.395.684,09	0,23	-263.144,09	-263.144,09	1,23	-263.144,09	-338.600,00
2022	ABR	561.614,84	1.692.090,00	3,01	2,90	2,97	ineficiente	1.629.092,96	-0,04	62.997,04	62.997,04	0,96	62.997,04	-275.602,96
2022	MAY	720.389,40	1.983.380,00	2,75	2,72	2,97	ineficiente	1.956.501,98	-0,01	26.878,02	26.878,02	0,99	26.878,02	-248.724,94
2022	JUN	549.137,26	1.618.790,00	2,95	2,92	2,97	ineficiente	1.603.362,94	-0,01	15.427,06	15.427,06	0,99	15.427,06	-233.297,88
2022	JUL	594.991,90	1.687.120,00	2,84	2,85	2,97	Eficiente	1.697.919,80	0,01	-10.799,80	-10.799,80	1,01	-10.799,80	-244.097,68
2022	AGO	590.908,86	1.493.170,00	2,53	2,86	2,97	Eficiente	1.689.500,16	0,13	-196.330,16	-196.330,16	1,13	-196.330,16	-440.427,84
2022	SEP	678.200,15	1.863.200,00	2,75	2,76	2,97	Eficiente	1.869.503,53	0,00	-6.303,53	-6.303,53	1,00	-6.303,53	-446.731,37
2022	OCT	708.704,34	1.938.890,00	2,74	2,73	2,97	ineficiente	1.932.406,22	0,00	6.483,78	6.483,78	1,00	6.483,78	-440.247,59
2022	NOV	682.774,26	1.880.330,00	2,75	2,75	2,97	ineficiente	1.878.935,80	0,00	1.394,20	1.394,20	1,00	1.394,20	-438.853,39
2022	DIC	698.340,97	1.897.930,00	2,72	2,74	2,97	Eficiente	1.911.035,91	0,01	-13.105,91	-13.105,91	1,01	-13.105,91	-451.959,30
2023	ENE	706.043,81	1.929.040,00	2,73	2,73	2,97	ineficiente	1.926.919,94	0,00	2.120,06	2.120,06	1,00	2.120,06	-449.839,24
2023	FEB	692.619,20	1.844.580,00	2,66	2,74	2,97	Eficiente	1.899.237,05	0,03	-54.657,05	-54.657,05	1,03	-54.657,05	-504.496,30
2023	MAR	697.258,71	1.959.460,00	2,81	2,74	2,97	ineficiente	1.908.804,19	-0,03	50.655,81	50.655,81	0,97	50.655,81	-453.840,48
2023	ABR	647.067,16	1.869.270,00	2,89	2,79	2,97	ineficiente	1.805.304,19	-0,03	63.965,81	63.965,81	0,97	63.965,81	-389.874,67
2023	MAY	620.247,17	1.835.790,00	2,96	2,82	2,97	ineficiente	1.749.998,69	-0,05	85.791,31	85.791,31	0,95	85.791,31	-304.083,36
2023	JUN	594.725,32	1.714.070,00	2,88	2,85	2,97	ineficiente	1.697.370,08	-0,01	16.699,92	16.699,92	0,99	16.699,92	-287.383,45
2023	JUL	532.523,24	1.662.370,00	3,12	2,95	2,97	ineficiente	1.569.103,17	-0,06	93.266,83	93.266,83	0,94	93.266,83	-194.116,62
2023	AGO	570.524,96	1.749.290,00	3,07	2,89	2,97	ineficiente	1.647.466,52	-0,06	101.823,48	101.823,48	0,94	101.823,48	-92.293,14
2023	SEP	469.311,18	1.406.610,00	3,00	3,07	2,97	Eficiente	1.438.753,58	0,02	-32.143,58	-32.143,58	1,02	-32.143,58	-124.436,72
2023	OCT	482.313,32	1.470.690,00	3,05	3,04	2,97	ineficiente	1.465.565,30	0,00	5.124,70	5.124,70	1,00	5.124,70	-119.312,02
2023	NOV	411.379,79	1.312.290,00	3,19	3,21	2,97	Eficiente	1.319.293,26	0,01	-7.003,26	-7.003,26	1,01	-7.003,26	-126.315,29
2023	DIC	409.162,64	1.415.125,00	3,46	3,21	2,97	ineficiente	1.314.721,28	-0,07	100.403,72	100.403,72	0,93	100.403,72	-25.911,56
2024	ENE	518.620,95	1.598.640,00	3,08	2,97	2,97	ineficiente	1.540.435,26	-0,04	58.204,74	58.204,74	0,96	58.204,74	32.293,17
2024	FEB	480.416,13	1.323.885,00	2,76	3,04	2,97	Eficiente	1.461.653,10	0,10	-137.768,10	-137.768,10	1,10	-137.768,10	-105.474,93
2024	MAR	517.505,23	1.460.784,00	2,82	2,97	2,97	Eficiente	1.538.134,53	0,05	-77.350,53	-77.350,53	1,05	-77.350,53	-182.825,46
2024	ABR	323.868,29	1.233.424,00	3,81	3,52	2,97	ineficiente	1.138.835,80	-0,08	94.588,20	94.588,20	0,92	94.588,20	-88.232,26
2024	MAY	406.369,63	1.293.520,00	3,18	3,22	2,97	Eficiente	1.308.961,81	0,01	-15.441,81	-15.441,81	1,01	-15.441,81	-103.679,08
2024	JUN	382.448,97	1.362.923,00	3,56	3,29	2,97	ineficiente	1.259.635,02	-0,08	103.287,98	103.287,98	0,92	103.287,98	-391,10

Nota: Tabulación de datos. Fuente: Autor (2024).

Figura 44:

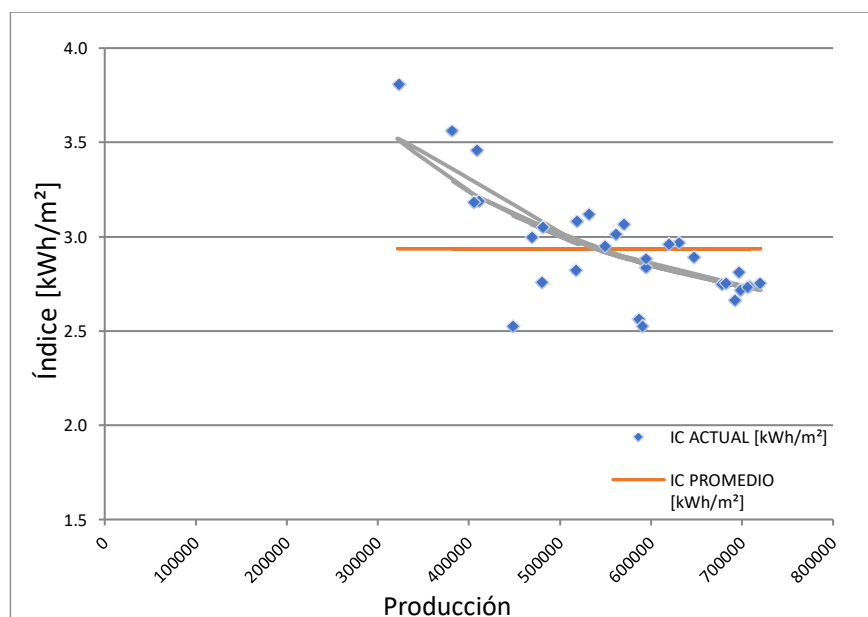
Tendencia del desempeño energético.



Nota: Elaboración de la gráfica CUSUM eficiencia energética. Fuente: Autor (2024).

Figura 45:

Índice de consumo.



Nota: Elaboración la gráfica IC. Fuente: Autor (2024).

4.5 Huella de carbono

De igual manera se realizó un cálculo de la huella de carbono como una medida del impacto ambiental que tiene la empresa en sus actividades diarias estos gases se expresan normalmente en toneladas de CO_2 equivalente a tCO_2e , tomando como referencia el factor de emisión en el Ecuador para 1 MWh de electricidad equivale a $0,12 tCO_2e/MWh$. A continuación, se detalla el impacto ambiental de la huella de carbono en la figura 46 y la tendencia de esta figura 47:

Figura 46:

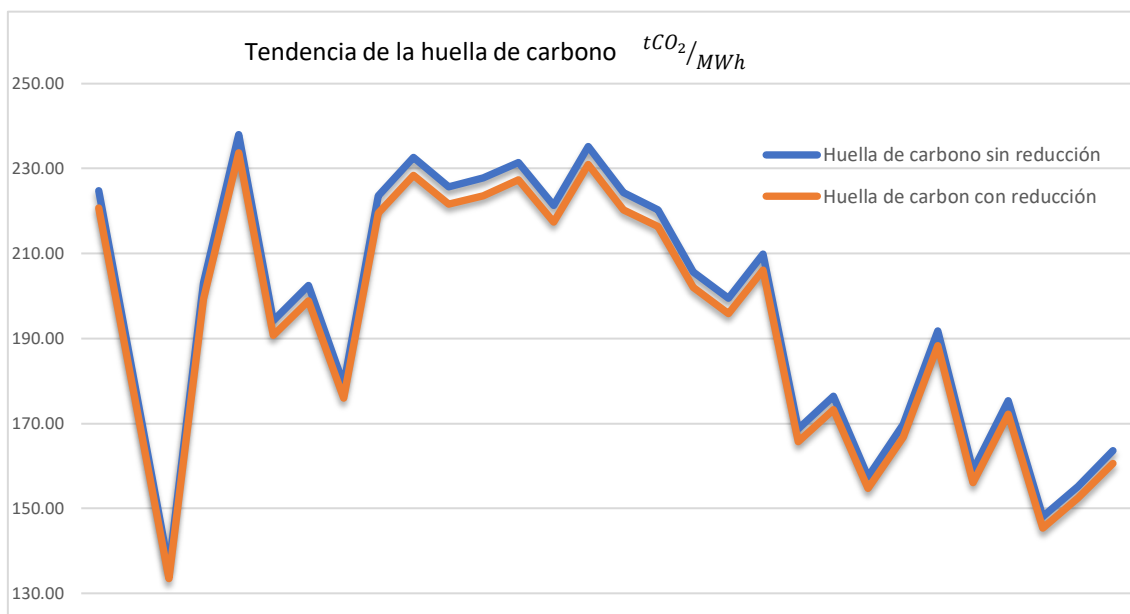
Procesamiento de datos de la huella de carbono.

HUELLA DE CARBONO =FACTOR DE EMISIÓN * CONSUMO DE ENERGÍA (MWh)							
AÑO	MES	PRODUCCIÓN (m ²)	Ei (kWh/mes)	Ei (MWh/mes)	HUELLA DE CARBONO (tCO ₂ /MWH)	REDUCCIÓN DEL 1.8%	HUELLA DE CARBONO (tCO ₂ /MWH)CON LA REDUCCIÓN 1.8%
2022	ENERO	630.982,29	1.872.790,00	1.872,79	224,73	4,05	220,69
2022	FEBRERO	586.607,50	1.504.520,00	1.504,52	180,54	3,25	177,29
2022	MARZO	448.424,95	1.132.540,00	1.132,54	135,90	2,45	133,46
2022	ABRIL	561.614,84	1.692.090,00	1.692,09	203,05	3,65	199,40
2022	MAYO	720.389,40	1.983.380,00	1.983,38	238,01	4,28	233,72
2022	JUNIO	549.137,26	1.618.790,00	1.618,79	194,25	3,50	190,76
2022	JULIO	594.991,90	1.687.120,00	1.687,12	202,45	3,64	198,81
2022	AGOSTO	590.908,86	1.493.170,00	1.493,17	179,18	3,23	175,96
2022	SEPTIEMBRE	678.200,15	1.863.200,00	1.863,20	223,58	4,02	219,56
2022	OCTUBRE	708.704,34	1.938.890,00	1.938,89	232,67	4,19	228,48
2022	NOVIEMBRE	682.774,26	1.880.330,00	1.880,33	225,64	4,06	221,58
2022	DICIEMBRE	698.340,97	1.897.930,00	1.897,93	227,75	4,10	223,65
2023	ENERO	706.043,81	1.929.040,00	1.929,04	231,48	4,17	227,32
2023	FEBRERO	692.619,20	1.844.580,00	1.844,58	221,35	3,98	217,37
2023	MARZO	697.258,71	1.959.460,00	1.959,46	235,14	4,23	230,90
2023	ABRIL	647.067,16	1.869.270,00	1.869,27	224,31	4,04	220,27
2023	MAYO	620.247,17	1.835.790,00	1.835,79	220,29	3,97	216,33
2023	JUNIO	594.725,32	1.714.070,00	1.714,07	205,69	3,70	201,99
2023	JULIO	532.523,24	1.662.370,00	1.662,37	199,48	3,59	195,89
2023	AGOSTO	570.524,96	1.749.290,00	1.749,29	209,91	3,78	206,14
2023	SEPTIEMBRE	469.311,18	1.406.610,00	1.406,61	168,79	3,04	165,75
2023	OCTUBRE	482.313,32	1.470.690,00	1.470,69	176,48	3,18	173,31
2023	NOVIEMBRE	411.379,79	1.312.290,00	1.312,29	157,47	2,83	154,64
2023	DICIEMBRE	409.162,64	1.415.125,00	1.415,13	169,82	3,06	166,76
2024	ENERO	518.620,95	1.598.640,00	1.598,64	191,84	3,45	188,38
2024	FEBRERO	480.416,13	1.323.885,00	1.323,89	158,87	2,86	156,01
2024	MARZO	517.505,23	1.460.784,00	1.460,78	175,29	3,16	172,14
2024	ABRIL	323.868,29	1.233.424,00	1.233,42	148,01	2,66	145,35
2024	MAYO	406.369,63	1.293.520,00	1.293,52	155,22	2,79	152,43
2024	JUNIO	382.448,97	1.362.923,00	1.362,92	163,55	2,94	160,61
	SUMA	16.913.482,42	49.006.511,00	49.006,51	5.880,78	105,85	5.774,93
Reducción: 105,85						tCO_2/MWh	

Nota: Elaboración de la emisión de carbono. Fuente: Autor (2024).

Figura 47:

Curva de tendencia de la huella de carbono



Nota: Tendencia de la emisión de carbono. Fuente: Autor (2024).

5 Resultados y discusión

En base a los datos obtenidos en el capítulo anterior tenemos los siguientes resultados:

En cuanto a la línea base (Véase Tabla 3) tenemos lo siguiente:

- La ecuación matemática estimada $E = 2,1036 P + 459.285$, siendo E el consumo mensual de energía en kWh/mes y P el área de producción en metros cuadrados. Esto significa que por cada metro cuadrado producido se utilizan $2,1036 \text{ kWh} + 459.285 \text{ kWh}$ (carga base del proceso). Así como hay un consumo fijo mensual de 459.285 kWh , correspondiente al requerimiento energético no asociado directamente a la producción.
- El nivel de confianza del 95% indica que el modelo es estadísticamente significativo. El valor de p-value para la variable independiente de producción es muy inferior a 0,05, por lo que la producción tiene un efecto significativo en el consumo de energía (es un predictor significativo de nuestro modelo).
- La energía no asociada a la producción (variable independiente) o Intervalo de confianza como se muestra en el modelo por la intersección (459.285 kWh/mes) y el rango de confianza $\pm 5\%$. Esto corresponde a lo que gastamos fijo (luz, auxiliares, etc.) y es la energía mínima que siempre se gasta para mantener la planta o el proceso operativo, sin importar el nivel de producción.
- Razón de cambio del consumo con la producción (variable dependiente), el uso de energía aumenta a una tasa de $2,1036 \text{ kWh}$ por cada metro cuadrado producido, por lo que es posible identificar oportunidades de eficiencia para la producción que se obtiene.
- El modelo se estima utilizando el período de enero de 2022 a junio de 2024 para el análisis, lo que tiene datos históricos suficientes para garantizar la robustez del modelo.

- Las variables relevantes o el factor principal es los metros cuadrados producidos, por lo tanto, es fácilmente monitoreado y controlado para la eficiencia energética.
- El porcentaje de error del modelo es 44.793,72 kWh/mes (error de 2,6%) de la estimación de energía. Esta tasa es muy baja, este resultado muestra que el modelo es correcto y puede ser utilizado de manera segura para la gestión de energía y detección de fallos.

En cuanto a la comparación entre la línea base y la línea objetivo (Véase Tabla 4) tenemos lo siguiente:

- El análisis comparativo de la línea base y la línea objetivo muestra que la mayoría de los ahorros ocurren como reducción del consumo fijo de energía, que son consumos que no son proporcionales al volumen de producción. Esto indica la existencia de un efecto importante de las medidas de eficiencia en sistemas auxiliares, iluminación o servicios generales.
- Esta pequeña diferencia entre los coeficientes de consumo por metro cuadrado (2,0621 y 2,0989 kWh/m²) indica que el consumo específico por producción es muy similar, y que la estrategia de ahorro se dirige principalmente a reducir el consumo constante, con aproximadamente el mismo rendimiento de producción, permitiendo un incremento efectivo de la eficiencia energética sin perjudicar la producción.
- La diferencia del 1,8% podría ser significativa ya que el consumo total de la planta es alto en general, permitiendo que la sostenibilidad operativa y la cantidad de ahorros anuales en costos de energía sean altos; así como de la disminución de la huella de carbono considerable.
- Se puede reconocer un potencial recorte de 38.400 kWh/mes (de 470.987 a 432.587 kWh/mes) de consumo fijo, que corresponde al área clave de ahorro.
- La línea meta indica una pendiente ascendente (de 2,0621 a 2,0989), lo que indica que habría una lucha entre la eficiencia base y la eficiencia marginal del proceso de producción.

6 Conclusiones

- Los resultados del diagnóstico de consumo energético de la línea de producción cuatro identifican un patrón que puede ser descrito por la ecuación de la línea base $E = 2,1036 P + 459.285$. En donde el modelo distingue entre un consumo fijo alto (459.285 kWh/mes), que no está asociado directamente con la producción, y un consumo variable de 2,1036 kWh por metro cuadrado producido, en base a esto se determinó que el consumo energético actual es muy deficiente en la empresa.
- El plan de eficiencia energética, que se adhiere a la norma ISO 50001:2018 y las mejores prácticas, se obtuvo después del diagnóstico que identificó un consumo fijo alto en la línea de producción cuatro. El plan se basa en tratar de reducir este consumo fijo para los servicios auxiliares, a lo largo del año y en la ejecución de un sistema de gestión energética con los indicadores correspondientes y la mejora continua. Esta es una opción para optimizar el consumo global de energía eléctrica, sin reducir la productividad ni aumentar los gastos de la empresa, además de causar poco impacto ambiental y mantener a la empresa en conformidad con la normativa y la sostenibilidad.
- La propuesta de eficiencia energética según la norma ISO 50001:2018 y las mejores técnicas disponibles se establece a un costo y con un ahorro de energía del 1,8% del consumo de energía. Es cierto que esta cifra expresa un incremento bastante modesto en eficiencia, pero que es económicamente viable a largo plazo, ya que los ahorros debido a la reducción del consumo fijo son visualmente bajos en comparación con los costos actuales de energía. No obstante, esta propuesta que se entrega también proporciona beneficios de calidad, como una gestión energética robusta, cumplimiento de las leyes y una base para futuras mejoras, que brindan condiciones para una adecuación empresarial a largo plazo y de mejoras continuas.

7 Recomendaciones

- Registrar todo el consumo energético, adoptar un sistema automatizado de registro y monitoreo del consumo de energía eléctrica (así como de otros tipos de energía utilizados por la empresa) periódicamente, utilizando tecnologías digitales, con el objetivo de centralizar y analizar la información.
- Desglose del uso de electricidad, instalar dispositivos de medición por área, operación por operación, o equipo crítico, de modo que se puedan realizar lecturas independientes. Esto facilitaría la detección y remediación de los puntos más ineficaces energéticamente y permitiría identificar los cuellos de botella de la operación de manera más fácil y eficaz.
- Cultivo de la cultura de eficiencia energética, preparar cursos de capacitación e información para todo el personal, con el fin de fomentar la participación de los empleados en buenos hábitos y en la cultura del ahorro y el uso razonado de la energía.
- Reequipamiento y reconstrucción de equipos e infraestructuras; formular un programa a mediano plazo para la sustitución progresiva de motores y equipos antiguos por motores y equipos de alta eficiencia. Al mismo tiempo, mejorar la medición, el control automático, el mantenimiento preventivo y el mantenimiento predictivo.
- Optimización de la planificación y ejecución de la producción, mejorar la planificación de la producción con la generación de menos tiempos muertos y de parada, lo que lleva a un uso energético más eficaz y un aumento del tiempo de operación.
- Aplicación del análisis energético en otras líneas de producción; reproducir este proceso de análisis energético en el resto de las instalaciones de la empresa y demás líneas de producción, estandarizando la obtención de indicadores energéticos, para proporcionar confrontación y comparación interna.
- Adopción de normas internacionales; explorar la aplicación formal de un Sistema de Gestión de la Energía 50001:2018 a mediano plazo, para cumplir

con los requisitos internacionales y seguir reduciendo continuamente el consumo de energía.

- Revisión sistemática para la mejora continua; proporcionar una evaluación, tratamiento y actualización continua de la información de energía eléctrica desarrollada para promover una identificación dinámica de nuevas oportunidades de mejora.
- Optimización del factor de potencia, mantener y adaptar el factor de potencia en los principales equipos y máquinas, de modo que la utilidad no reduzca el factor de calidad de la potencia mensual y afecte las pérdidas eléctricas y los castigos relativos.
- Gestión de tarifas y demanda de energía eléctrica; los equipos de alta carga deberán operarse en la hora de electricidad barata tanto como sea posible, sin aumentar la demanda máxima durante el tiempo pico, para ahorrar costos

8 Referencias

- Agency, I. E. (2015). World Energy Outlook 2015.
- Artequim.com. (2012). Manual de gestión de la energía. Santiago de Chile:
Artequim.com. ISBN 978-956-8819-05-7.
- Borroto Nordelo, A. E. (Coord.). (2002). Gestión energética empresarial. Universidad de Cienfuegos.
- Campos, J. C. (s.f.). Línea base, indicadores de desempeño energético. [Presentación]. E2 Energía Eficiente S.A.E.S.P.
- Castrillón Mendoza, R. P., Monteagudo Yanes, J. P., Borroto Nordelo, A., & Quispe Oqueña, E. C. (2015). Línea de base energética en la implementación de la norma ISO 50001. Estudios de casos. El Hombre y la Máquina, (46), 137-143. Universidad Autónoma de Occidente.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47843368016>
- Construmatica. (2025, abril 30). Proceso de fabricación de baldosas cerámicas.
https://www.construmatica.com/construpedia/Proceso_de_Fabricaci%C3%B3n_de_Baldosas_Cer%C3%A1micas
- Cosmas, O. C. (2023). Optimizing Energy Efficiency in Electrical Power Systems. International Journal of Latest Technology in Engineering, Management & Applied Science. <https://doi.org/10.51583/ijltemas.2023.121101>
- Cubillo Sagüés, M. I., Gordaliza Lozoya, D., & García Sánchez, J. M. (2020). Gestión de la eficiencia energética en el sector industrial. AENOR Internacional, S.A.U.
- Diario Siglo XXI. (s.f.). Referente en impresión digital cerámica: Kerajet, impresora 3D cerámica. <https://www.diariosigloxxi.com/texto-diario/mostrar/4360824/referente-impresion-digital-ceramica-kerajet-impresora-3d-ceramica>.
- Fernández Gómez, J. (2021). Eficiencia energética en el sector industrial (Cuadernos Orkestra 02/2021). Orkestra-Instituto Vasco de Competitividad, Fundación Deusto.
- Gillingham, K., Newell, R. G., & Palmer, K. (2009). Energy efficiency economics and policy. Resources for the Future. RFF DP 09-13.

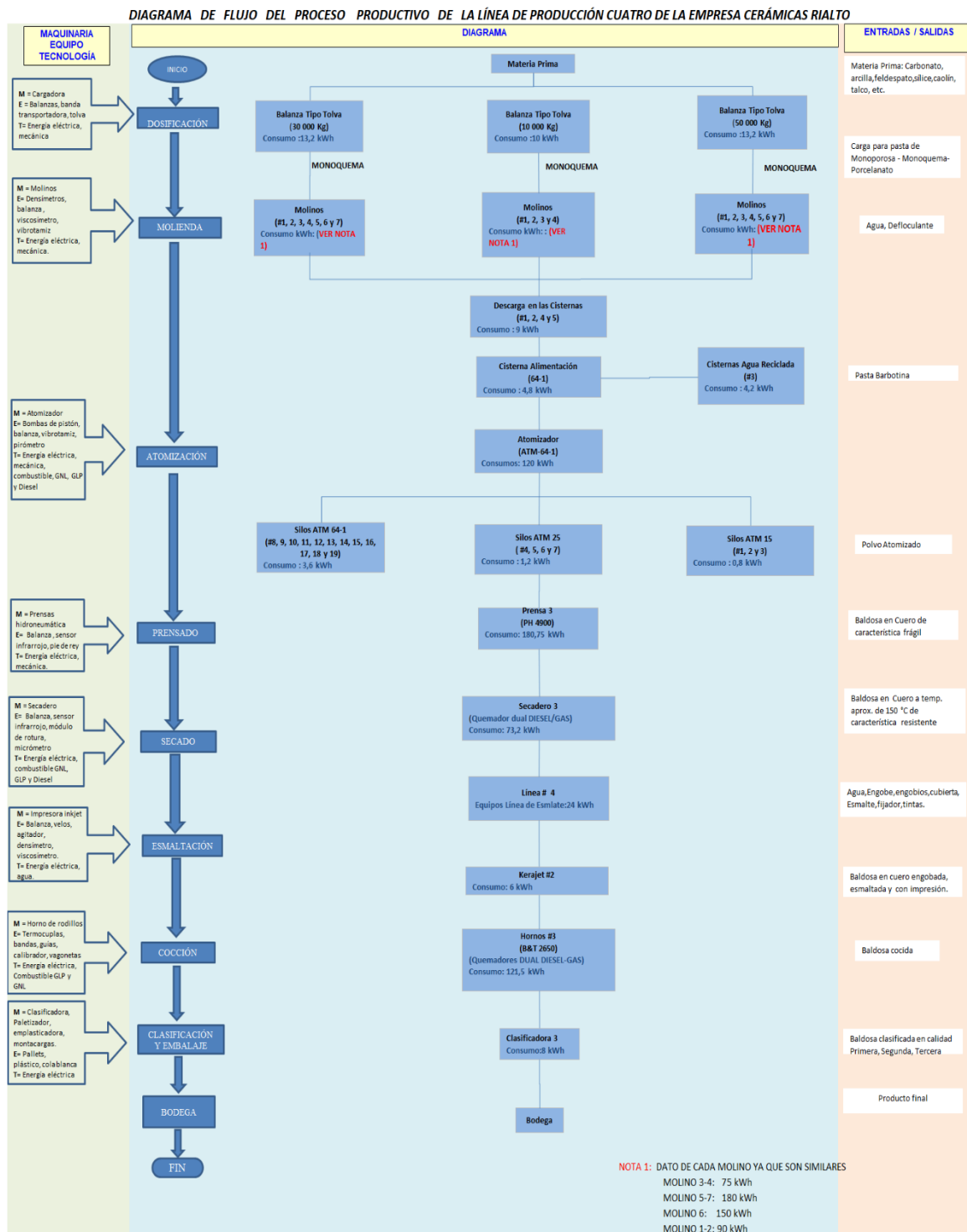
- Gómez Tena, M. P. (2013). Esmaltes para baldosas cerámicas preparados con una nueva materia prima borácica. Transformaciones físico-químicas que se desarrollan durante la cocción [Tesis doctoral, Universidad Jaume I de Castelló]. Universidad Jaume I de Castelló.
- International Organization for Standardization. (2018). ISO 50001:2018 – Energy management systems – Requirements with guidance for use. <https://www.iso.org/standard/69426.html>.
- Ivancic, A., & Pérez Rodríguez, J. A. (2011). Guías técnicas de energía y medio ambiente: 20 casos prácticos de eficiencia energética en España (2ª ed.). Fundación Gas Natural.
- Lind, D. A., Marchal, W. G., & Wathen, S. A. (2012). Estadística aplicada a los negocios y la economía (M. del P. Obón León & J. León Cárdenas, Trans., 15.a ed.). McGraw-Hill/Interamericana Editores.
- Maheswaran, D., Rangaraj, V., Kailas, K. K. J., & Kumar, W. A. (2012). Eficiencia energética en sistemas eléctricos. En Actas de la Conferencia Internacional IEEE 2012 sobre Electrónica de Potencia, Accionamientos y Sistemas de Energía (PEDES) (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/PEDES.2012.6484460>
- Mahyudin, N., Zaini, Z., Salleh, M., & Ahmad, A. (2019). A STUDY OF ELECTRICAL ENERGY EFFICIENCY BUILDING. , 2, 9-18.
- Marchi, B., Zanoni, S., & Ferretti, I. (2019). Energy efficiency investments in industry with uncertain demand rate: Effects on the specific energy consumption. *Energies*, 12(24), Article 4896. <https://doi.org/10.3390/en12244896>.
- Mezquita, A., Monfort, E., Vaquer, E., Ferrer, S., Arnal, M. A., Toledo, J., & Cuesta, M. A. (2012). Optimización energética en la fabricación de baldosas cerámicas mediante el uso de aceite térmico. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 51(4), 183-190. <https://doi.org/10.3989/cyv.272012>
- Prias, O. (s.f.). Diplomado Eficiencia y Gestión Energética Avanzada [Presentación]. GRISEC, Universidad Nacional de Colombia.
- Schulze, M., Nehler, H., Ottosson, M., & Thollander, P. (2016). Energy management in industry – a systematic review of previous findings and an integrative conceptual framework. *Journal of Cleaner Production*, 112, 3692–3708. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2015.06.060>

- Sumper, A., & Baggini, A. (2012). Electrical Energy Efficiency. John Wiley & Sons.
- Trianni, A., Cagno, E., Bertolotti, M., Thollander, P., & Andersson, E. (2019). Energy management: A practice-based assessment model. Applied Energy, 235, 1614-1636. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.11.032>
- Viteri, K. (s.f.). ¿Qué es la eficiencia energética y por qué es importante para la industria? <https://traction.com/es/blog/que-es-la-eficiencia-energetica-y-por-que-es-importante-para-la-industria>
- Zapata Benites, L. E. (2020). Mejoramiento de la eficiencia energética eléctrica de la empresa Piladora Doña Carmela S.A. aplicando la Norma ISO 50001 [Tesis de pregrado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. Chiclayo, Perú.

9 Anexos

Anexo 1:

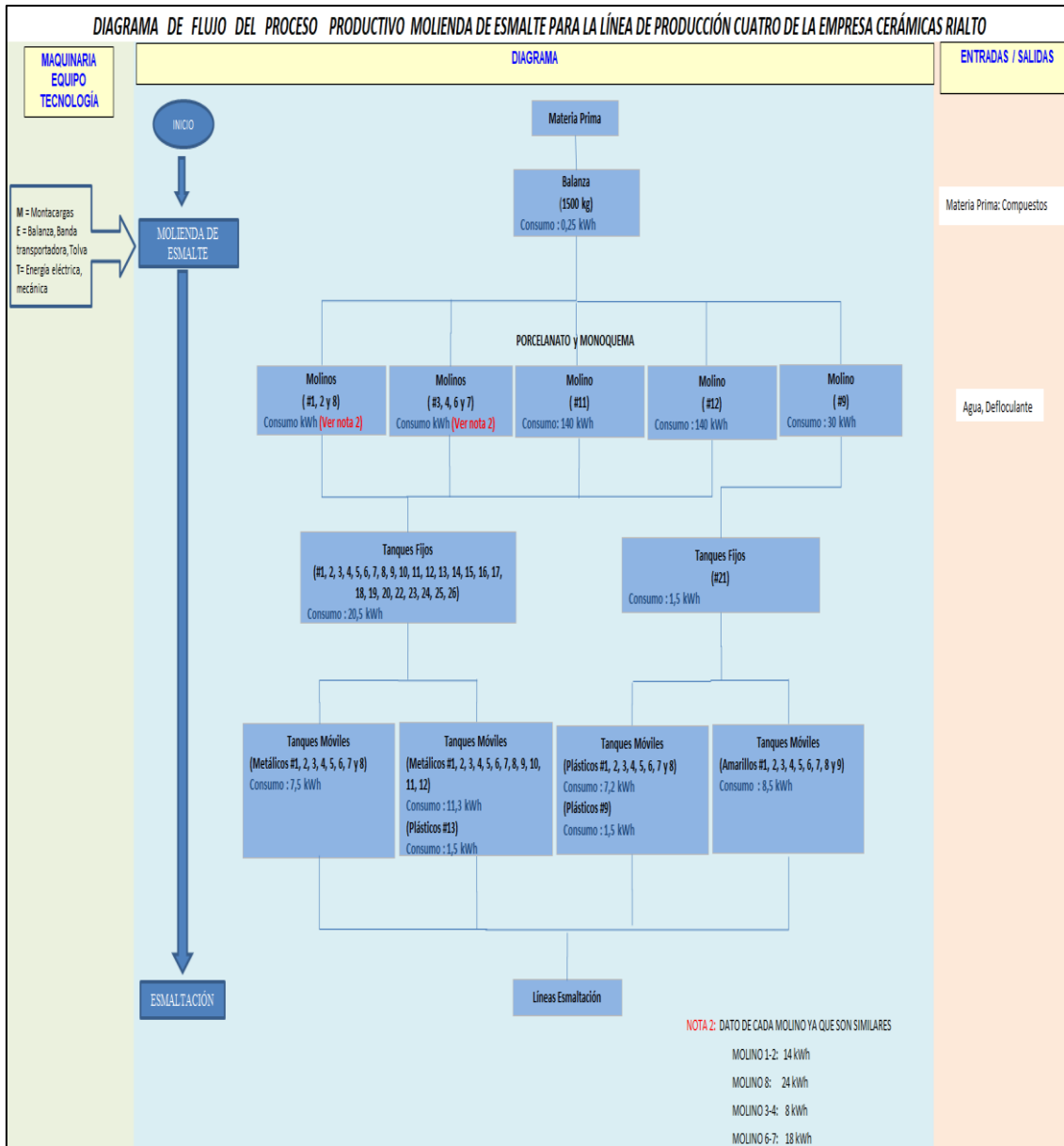
Diagrama de flujo de la línea de producción cuatro.



Nota: Diagrama de flujo línea de producción cuatro. Fuente: Autor (2024).

Anexo 2:

Diagrama de flujo de la molienda de esmalte para la línea cuatro.



Nota: Diagrama de flujo molienda de esmalte para la línea de producción cuatro. Fuente: Autor (2024).