



¡ POSGRADOS !

Maestría en --- **PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES**

RPC-SO-41-No.689-2018

Opción de
titulación:

ARTÍCULOS PROFESIONALES DE ALTO NIVEL

T E M A :

ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN Y CONSUMO ENERGÉTICO
DE UNA EMPRESA SIDERÚRGICA DE GUAYAQUIL
DURANTE EL AÑO 2019

A U T O R :

WELLINGTON DAVID CHICA CHIRIGUAYA

D I R E C T O R :

FELIX GENARO CABEZAS GARCIA

Guayaquil - Ecuador
2021

Autor /a:



Wellington David Chica Chiriguaya

Ingeniero en Electricidad

Candidato a Magister en Producción y Operaciones Industriales

Por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Guayaquil

wchicac1@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Félix Genaro Cabezas García

Ingeniero en Estadística e informática

Magister en Gestión de la productividad y la Calidad.

fcabezas@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 los fines comerciales, sin contar con la 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 e investigativos por cualquier medio, con la debida notificación de los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2021 Universidad Politécnica Salesiana

GUAYAQUIL – ECUADOR

CHICA CHIRIGUAYA WELLINGTON DAVID

***ANÁLISIS DE PRODUCCIÓN Y CONSUMO ENERGÉTICO DE UNA EMPRESA
SIDERURGICA DE GUAYAQUIL DURANTE EL AÑO 2019***

Índice de figuras

- Figura1. Datos mostrados consumo energía Cenace abril 2020 con respecto a los años anteriores
- Figura2. Metodología para la adquisición y procesamiento de datos
- Figura3. Rangos de producción en turnos
- Figura4. Rangos de Consumo de energía en turnos
- Figura5. Diagrama de cajas de la variable producción
- Figura6. Diagrama de cajas de la variable Consumo energía
- Figura7. Trazado por turno de la Producción (2019)
- Figura8. Trazado por turno Consumo energía (2019)
- Figura9. Gráfico de dispersión de la variable Consumo de Energía
- Figura10. Mejoras realizadas para la Eficiencia energética
- Figura11. Comparación de la variable Producción Julio-Agosto-Septiembre 2019 frente al 2020
- Figura12. Comparación de la variable Consumo Energía Julio-Agosto-Septiembre 2019 frente al 2020

Índice de tablas

- Tabla # 1 *Descriptivos de los turnos para la variable Producción y Consumo energía.*
- Tabla # 2 *Prueba de homogeneidad de varianzas*
- Tabla # 3 *Prueba de ANOVA para PRODUCCIÓN*
- Tabla# 4 *Resultado de las comparaciones múltiples POST HOC entre turnos en producción.*
- Tabla # 5 *Subconjuntos homogéneos para la variable PRODUCCION.*
- Tabla # 6 *Estadístico de Levene para prueba de homogeneidad para consumo energía*
- Tabla # 7 *Prueba de ANOVA para CONSUMO ENERGÍA*
- Tabla #8 *Resultado de comparaciones múltiples POST HOC entre turnos en consumo de energía.*
- Tabla # 9 *Resultado del Resumen del modelo*
- Tabla # 10 *Presentación de los coeficientes del modelo*
- Tabla #11 *Evidencias de fallos potencial verificados en la planta*
- Tabla # 12 *Comparación de resultados del tercer trimestre 2019 en referencia al 2020*

ANÁLISIS DE PRODUCCIÓN Y CONSUMO ENERGÉTICO DE UNA EMPRESA SIDERÚRGICA DE GUAYAQUIL DURANTE EL AÑO 2019

ANALYSIS OF PRODUCTION AND ENERGY CONSUMPTION OF A STEEL COMPANY IN
GUAYAQUIL DURING 2019

Wellington David Chica Chiriguaya

Posgrado Producción y Operaciones Industriales. Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca–
Ecuador. Correo: wchica1@est.ups.ec

Fecha de recepción: 30 de Noviembre 2021

Fecha de aceptación:

RESUMEN

INTRODUCCIÓN. El análisis del ahorro energético en las empresas es cada vez imprescindible para mantener estándares de producción y rentabilidad que ayude a mantener existentes sus productos con los que participan las empresas en el mercado, donde el objetivo es el análisis de la producción y el consumo energético entre los turnos rotativos de una empresa siderúrgica, dando respuestas a la pregunta de investigación de conocer cuál es el turno más productivo y cuál es el de menor consumo energético con base estadística. **OBJETIVO.** Proponer el análisis de producción y consumo energético de una empresa siderúrgica de Guayaquil durante el año 2019. **MÉTODO.** Para la recolección de datos fue usada la técnica de la observación directa de los resultados automáticos por sistema con respecto a la toma de datos de las variables indicadas y los resultados obtenidos. Durante el análisis realizado a las variables producción, consumo de energía, insumos toneladas, horas de fusión, se identificó que no existe diferencia significativa entre la producción de los turnos pero el de menor consumo energético es el turno A, siendo este el turno de mejor desempeño durante el año 2019. El consumo de energía como variable dependiente es explicado mediante un modelo de regresión lineal múltiple por sus variables independientes producción, horas de fusión y las toneladas de insumos (insumos_ton), los que son inyectados durante la fusión. **RESULTADOS.** Bajo estas premisas, como análisis comparativo se tomaron datos pos pandemia dentro del tercer trimestre del 2020, en donde se pudo constatar, que luego de las mejoras implementadas, incrementó en un 12% la producción mensual de los turnos en el tercer trimestre 2020 en comparación con el 2019 y una disminución del 0,2% con respecto a los niveles de consumo de energía, dentro de la planta siderúrgica. **DISCUSION Y CONCLUSIONES.** Luego de implementado el mantenimiento en la planta y tener una mejor proyección con respecto a la producción, se verifica que con un control de los insumos y del consumo de energía, la producción mejorará notablemente permitiendo rentabilidad para la empresa y manejar el posicionamiento en el mercado con estrategias favorables ante la competencia.

Palabras clave: coladas, consumo energético, eficiencia energética, electrodos de arco eléctrico de fusión, producción.

ABSTRACT

INTRODUCTION. The analysis of energy savings in companies is increasingly essential to have products with profitability standards, this help to maintain companies's products participate in the market. The objective is analyze the production and energy consumption between the steel's company shifts, giving answers to the investigation of which is the most productive and which is the one with the lowest energy consumption shift with based on statistics. **OBJECTIVE.** Propose the analysis of energy production and consumption of Guayaquil steel company during 2019. **METHOD.** For data collection, was used the technique of direct observation of the automatic results system, with the data collection of variables and respect to the results obtained. During the analysis carried out to the variables production, energy consumption, inputs, tons, hours of fusion, it was identified that there is no significant difference between the production of the shifts, but the one with the lowest energy consumption is shift A, this being the best shift. performance during 2019. Energy consumption as a dependent variable is explained by a multiple linear regression model by its independent variables production, hours of fusion and the tons of inputs (inputs_ton), which are injected during the fusion. **RESULTS.** Under these premises, as a comparative analysis, post-pandemic data where taken in the third quarter of 2020 post pandemic, finally after the improvements implemented, the monthly shift' production increased by 11% in the third quarter of 2020 compared to 2019 and at the same time, decrease of 0.2% with respect to the levels of energy consumption in the steel industry. **DISCUSSION AND CONCLUSIONS.** After implementing the maintenance in the plant and having a better projection with respect to production, it's verified with a control of inputs and energy consumption, production will improve significantly, allowing profitability for the company and managing the positioning in the market with strategies favorable against the competition.

Keywords: casting, energy consumption, energy efficiency, electric arc fusion electrodes, production.

INTRODUCCIÓN

Como premisa la variable consumo de energía, la cual representa la variable dependiente de este estudio, en donde se indica el consumo de energía que obtuvo el turno por cada tonelada producida por mes.

Adicionalmente las variables independientes que son producción/mes que es la producción del turno mensualizado, adicional el turno horas_fusión/mes que es una variable que muestra el tiempo de fusión que obtuvo el turno para producir el acero líquido por mes y la variable insumos_ton/mes que es el indicador en kilogramos de cuanto insumo ingresó a la fusión para obtener el acero líquido mensual.

Estas variables tienen relación directa debido a que, según el tiempo de fusión, los insumos ingresados y la producción del acero están relacionados para determinar el consumo de energía obtenido en cada una de las coladas basculadas.

La pregunta de investigación hace referencia a la búsqueda del turno de mejor desempeño anual durante el tiempo de investigación.

En el siguiente apartado, es necesario destacar la historia o el comportamiento que han reflejado las empresas industriales dedicadas a la producción de acero a partir del mineral de hierro y como estas han llevado un largo periodo de consumo energético [1].

Según el contexto del presente trabajo de investigación, es importante tener el conocimiento sobre los ahorros en temas energéticos y más aún por temas de aumento de producción en las industrias, desde los hechos de la revolución industrial, se puede destacar que desde años atrás se ha contemplado el consumo y ahorro energético desde distintos aspectos[3][8], dentro de los procedimientos, se evidenció la participación de los técnicos que fueron parte del proceso de implementación por medio de los procedimientos acordados para el ahorro de la energía eléctrica en la industria estudiada[12][13][17].

Por otra parte, se hace mención al comportamiento del sector siderúrgico desde años remotos, donde se especifica que para el año 1964 y 1997, se presentaron necesidades financieras para dicho sector [8] de que se prolongue la capacidad de dirigir las inversiones en el sector, de tal manera que ello influya significativamente en su evolución [9].

El mejoramiento de la productividad está directamente relacionada con el aprovechamiento de los recursos productivos, y esta se efectuaría, si se mitiga durante el proceso de fabricación el costo, el desperdicio de energía en procesos y los cuellos de botella dentro del mismo, el cual nos permitirá mejorar el precio final de la venta del producto a los consumidores [5][7]. Por este motivo es de relevancia detectar si existe una diferencia entre las variables inmersas durante la producción de acero entre los turnos mensualmente [29] [30].

La producción en conjunto con las actividades en este caso no productivas tienen su dependencia tecnológica con los equipos, si se incorpora en las industrias el mayor número de partes que se pueden reemplazar por no metálicas, para aprovechar sus propiedades químicas, físicas o simplemente para trabajo netamente mecánico[4][6][11].

Se han desarrollado modelos predictivos empíricos que han sido incorporados en la industria siderúrgica, se han utilizado diferentes técnicas para medir la productividad y el tema del ahorro energético en los sistemas de hornos fundidores, dentro de las mezclas y estructuras, en donde los modelos han tenido éxito en sus aplicaciones. La evolución utilizada en las técnicas de la programación para la producción, desemboca en un desarrollo dirigido a la óptima resolución de problemas en las plantas industriales, consiguiendo un entorno dinámico con restricciones en el sistema productivo [10] [14].

En la industria ecuatoriana se realiza la producción de acero en varillas a través de la materia prima que es la palanquilla, obteniéndose a partir de la fusión de la chatarra. Toda esta materia luego de pasar por una máquina compactadora de chatarra es transportada hacia el horno de arco eléctrico. La mayor parte de este producto final está dirigido al sector de la construcción [16] [23].

La industria siderúrgica ha venido ganando espacio en el modelo productivo del estado ecuatoriano, debido a esto se ha transformado en una de las actividades principales para la economía

del país. Esto hace posible que la economía mantenga un ritmo sostenido, los cuales pueden producir un mejoramiento macroeconómico que será de importancia para el país. El origen de estos estudios de productividad y ahorro energético, están dirigidos a los procesos donde la producción del producto final tiene consumos elevados de energía, consiguiendo dentro de la gerencia, buscar alternativas tecnológicas, reforzar u ordenar el flujo de los materiales en las industrias y mitigar en los procesos el consumo de energía o simplemente detectar fallos o procedimientos que influyan en el aprovechamiento energético [15] [19].

La industria siderúrgica es catalogada como la principal fuente de negocios a nivel estratégico aportando al desarrollo del sector industrial en el Ecuador, apoyando proyectos de inversión de hidrocarburos, minería, hidroeléctricos que actualmente desarrolla el gobierno ecuatoriano, a fin de impulsar el crecimiento de la matriz productiva del país.

Debido a que el objetivo de estudio es conocer cuál es el turno más productivo y el turno con el menor consumo energético en el año 2019 por la empresa de estudio realizando comparaciones con el año 2020 por mejoras implementadas a favor de los análisis realizados con anterioridad, es importante conocer que la empresa en estudio suspendió la producción de sus productos de acero por los meses de marzo, abril y mayo durante la pandemia, se afectó directamente a la productividad, por ende se realizará la comparación entre los resultados del tercer trimestre del 2019 con el tercer trimestre del 2020, donde se desarrollará la investigación con un análisis experimental, además se identificará el/los turnos con mayor productividad media y verificar el/los turnos de menor consumo energético medio del 2019, luego determinar un modelo de regresión para poder explicar la variable producción a través de una regresión lineal múltiple con las variables de proceso como energía consumida, tiempo de fusión y tonelaje de insumos, siendo estas variables las más importantes implicadas al proceso.

CONSUMO DE ENERGÍA DESDE 2018 AL 2020 EN EL ECUADOR



Figura1. Datos mostrados por consumo de energía por Cenace abril 2020 con respecto a los años anteriores
Fuente: CENACE

Los sistemas inteligentes de gestión de energía, que aumenten la flexibilidad del proceso industrial y la producción para que coincida con los procesos de producción [32], a partir de donde se analizarán las siguientes hipótesis:

1. Los turnos de producción y consumo energético anualmente no tienen diferencia significativa en su producción ni consumo energético.
2. Existe relación directa entre el consumo de energía y la producción en el año 2019.
3. Se explica el consumo energético en términos de la productividad, tonelaje de insumos mensuales y horas de fusión mensual.

MATERIALES Y METODOLOGÍA

Se realizará la recolección de los valores de producción de acero y consumo energético de cada uno de los tres turnos diarios a través del sistema de la empresa, mediante un sistema de adquisición de datos, el cual está en poder del especialista de la acería, la población de 90 colaboradores entre operadores e ingenieros de control, tendrá lugar a los tres turnos productivos en la empresa siderúrgica en estudio.

Los datos son obtenidos por parte del sistema automáticamente después del basculado a través de las celdas de carga, que censará el peso de la cuchara como producción y de la misma manera se registran los consumos de energía por cada basculado realizado en los turnos de trabajo.

Se realizará una solicitud al encargado especialista de producción de acería dentro de la misma planta de producción, luego de obtener de los datos de la productividad en ton/mes y el consumo energético en Kwh/ton mes, para realizar un consolidado mensual durante el 2019; Se realizarán histogramas, diagrama de cajas, medias de los datos, de acuerdo con los datos obtenidos en campo, su respectivo análisis de comparación de medias y explicar el comportamiento de la variable producción por medio del consumo energético, insumos ton/mes y el tiempo de fusión en min/ton, datos que serán analizados en el software IBM SPSS Statistics25.

Con base a los datos proporcionados, se sumará la producción y el consumo energético diario de los tres turnos y se obtendrá un global mensual para cada turno de ambas variables, específicamente durante todo el año 2019, se realizará un tipo de investigación cuantitativa y su alcance será correlacional.

Este sistema robusto, en donde no se tendría que comprobar normalidad en los datos obtenidos, ya que se los asume; los resultados indicarán el/los turnos de mayor producción y el/los turnos de menor consumo energético, con análisis de sus respectivas varianzas durante este período de análisis, con el fin de comprobar si su relación es directa o inversamente proporcional entre las variables producción, consumo energético, insumos en toneladas y horas de fusión de cada turno, además de hacer partícipe a las variables encontrar una regresión lineal múltiple para poder explicar la variable producción.

Se compararán resultados de lo aplicado con respecto a lo obtenido en el presente año post pandemia, se analizarán resultados de la efectividad de lo obtenido luego de los mantenimientos preventivos y correctivos ejecutados en la empresa siderúrgica, se presenta una metodología gráfica para el trabajo de investigación.

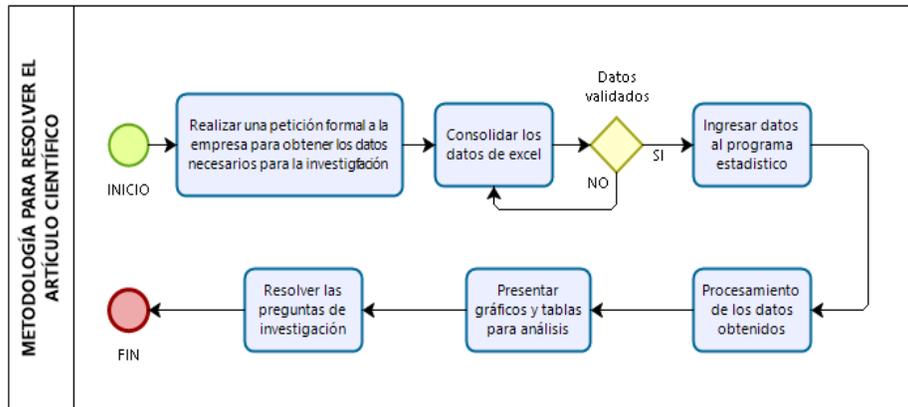


Figura2. Metodología para la adquisición y procesamiento de datos
Nota: Elaborado por el autor

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se muestra en la figura 3, el análisis estadístico descriptivo de las muestras que nos ayudará a comprender la estructura de los datos para detectar un patrón de comportamiento de los mismos y posteriormente realizar una inferencia con base estadística.

Se observa que existen datos en la figura3, por lo que podemos interpretar lo siguiente:

- Se encuentra la mayor concentración de datos de los tres turnos de producción entre los rangos desde 1200 a 1700 toneladas/mes, en donde el turno C está presentando puntos altos de producción dentro de este rango durante el análisis, lo que podría representar el turno con menor producción de toneladas/mes.
- Los turnos A y B representados por el celeste y el rojo dentro de los rangos respectivamente, tiene una mayor concentración de los datos entre las 1715 y 3200 toneladas/mes, lo que nos puede indicar que el turno más productivo podría estar entre estos turnos por los datos obtenidos en las mediciones de productividad.

- El turno B se observa con picos altos de producción entre el rango de 1715 y 3200 toneladas/mes, lo que significaría que podría ser el turno de mayor producción.

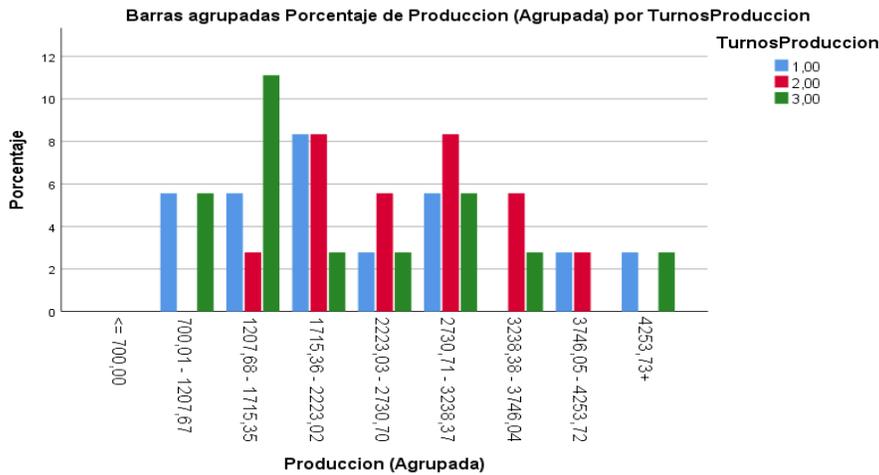


Figura3. Rangos de producción en turnos
Nota: Elaborado por el autor

Se observa que existen datos en la figura4 en lo que podemos interpretar lo siguiente:

- Se observa que la concentración de los datos de los tres turnos por consumo de energía se encuentran entre el rango de 3400 y 4600 toneladas/mes, en donde se presenta una tendencia que el turno B representada por el color rojo en barra, es el de menor consumo debido que en todos los rangos presenta poca concentración de los datos.
- Turno C representado por el color verde, si registra consumos altos de energía en los diferentes rangos, incluso en el rango superior a los 80000 toneladas/mes.

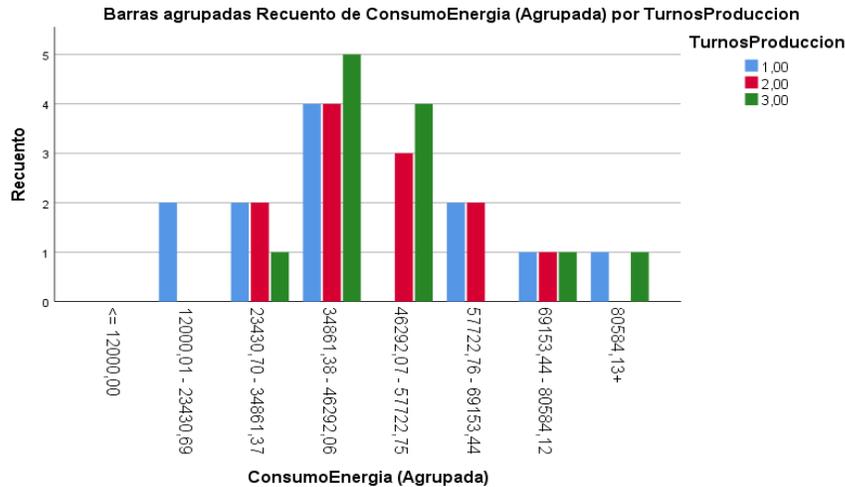


Figura4. Rangos de Consumo de energía en turnos
Nota: Elaborado por el autor

Dentro de la tabla#1, se realizó el análisis estadístico descriptivo de los datos obtenidos a partir del consolidado de los datos de energía y productividad del año 2019.

Tabla # 1 *Descriptivos de los turnos para la variable Producción y Consumo energía.*

		<i>Estadísticos Descriptivos</i>	
<i>Turnos Producción</i>		<i>Producción</i>	<i>Consumo Energía</i>
<i>Turno A</i>	<i>N Válido</i>	12	12
	<i>Perdidos</i>	0	0
	<i>Media</i>	2386,7717	45257,9558
	<i>Moda</i>	2177,6750	40253,3550
	<i>Desv. Desviación</i>	1160,20708	21899,92874
	<i>Varianza</i>	1346080,458	479606878,793
	<i>Rango</i>	4060,42	79151,45
	<i>Mínimo</i>	700,97	12863,36
	<i>Máximo</i>	4761,39	92014,81
	<i>Suma</i>	28641,26	543095,47
<i>Turno B</i>	<i>N Válido</i>	12	12
	<i>Perdidos</i>	0	0
	<i>Media</i>	2651,1275	49146,2725
	<i>Moda</i>	2599,6500	49264,9800

	<i>Desv. Desviación</i>	781,73680	15059,97543
	<i>Varianza</i>	611112,431	226802860,053
	<i>Rango</i>	2778,99	49635,86
	<i>Mínimo</i>	1296,74	25672,94
	<i>Máximo</i>	4075,73	75308,80
	<i>Suma</i>	31813,53	589755,27
<i>Turno C</i>	<i>N Válido</i>	12	12
	<i>Perdidos</i>	0	0
	<i>Media</i>	2182,1758	48822,1658
	<i>Moda</i>	1756,1450	43226,8600
	<i>Desv. Desviación</i>	1148,82206	16180,33640
	<i>Varianza</i>	1319792,126	261803285,857
	<i>Rango</i>	3819,37	56178,55
	<i>Mínimo</i>	837,66	31596,68
	<i>Máximo</i>	4657,03	87775,23
	<i>Suma</i>	26186,11	585865,99

Para proponer las hipótesis que se plantearán, es necesario tener una idea descriptiva de las variables de estudio en esta investigación, se presentaran los diagramas de cajas en la figura6 para la variable producción y la figura6 para la variable del consumo de energía.

Se analizarán los datos provenientes del reporte mensual, en donde se verificará la media general de los datos entre los turnos, además se observará si existen datos fuera del rango permitido dentro del diagrama de cajas presentado.

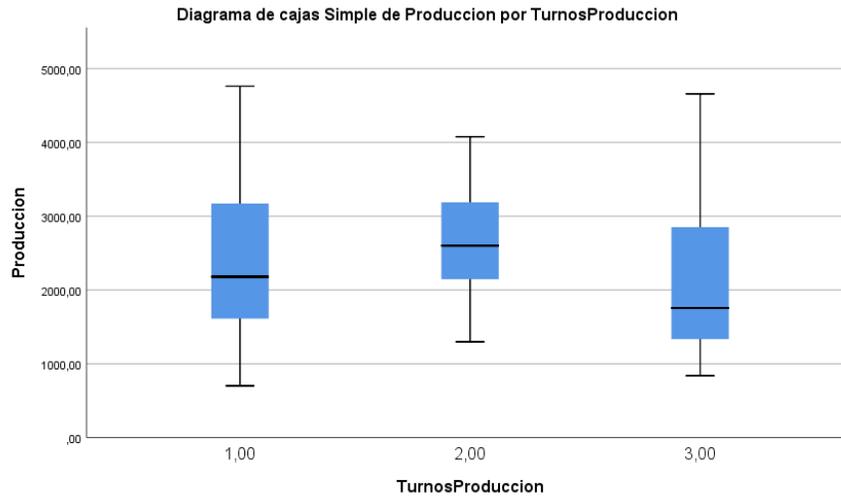


Figura5. Diagrama de cajas de la variable producción
Nota: Elaborado por el autor

Se puede observar en este diagrama de cajas producción vs turnosproducción que el turno B tiene una mediana superior a los otros turnos mensualmente, donde el 50% de los datos registrados mensualmente están alrededor de las 2651,12 Toneladas, seguidas por el turno A y el turno con la más baja producción mensual en el año es el turno C con una mediana de 2182,17 toneladas al mes, apreciando que los datos validos entre el segundo y el tercer cuartil de los turnos A y C tienen su variabilidad mientras que el turno B tiene un rango corto de variabilidad por lo que es más estable en su producción mensual ya que la concentración de la mayoría de los datos se encuentran entre el segundo y el tercer cuartil; Por lo tanto, se realizará un ANOVA entre los datos de producción para identificar si estadísticamente existe alguno que sea diferente.

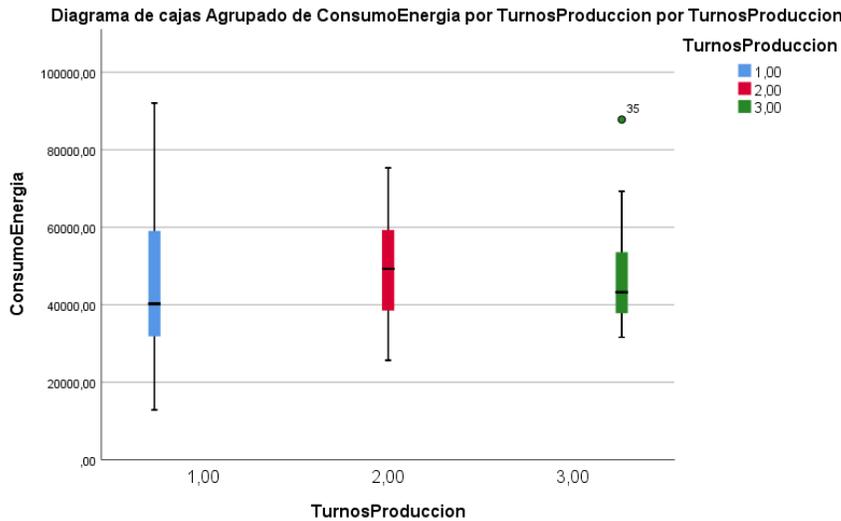


Figura6. Diagrama de cajas de la variable Consumo energía
Nota: Elaborado por el autor

Se puede apreciar que el turno A y el turno C tienen una distribución asimétrica positiva con respecto a los datos, mientras que el turno B, nos muestra simetría con respecto a los datos obtenidos de consumo de energía.

El turno A posee una mayor variabilidad de los datos debido que su rango entre el tercer y el primer cuartil es mayor en comparación con los turnos restantes.

El turno que posee la menor mediana de consumo de energía mensual es el turno A con una variabilidad alta entre el primer y el tercer cuartil, en donde se deduce que así como el turno B es el turno con mayor producción también es el turno que posee el mayor consumo energético entre los turnos, pero esta observación se debe comprobar con base estadística. Se presentan en la figura 7 los datos mensuales por turno de producción y en la figura 8, los datos mensuales por turno del consumo de energía en el 2019.

DATOS 2019 - PLANTA ACERÍA (PRODUCCIÓN)

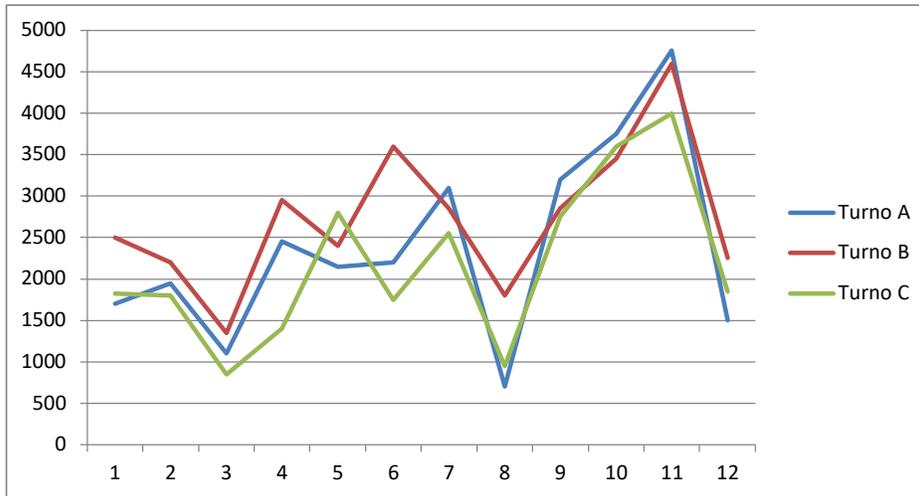


Figura7. Trazado por turno de la producción (2019)
Nota: Elaborado por el autor

DATOS 2019 - PLANTA ACERÍA (CONSUMO DE ENERGÍA)

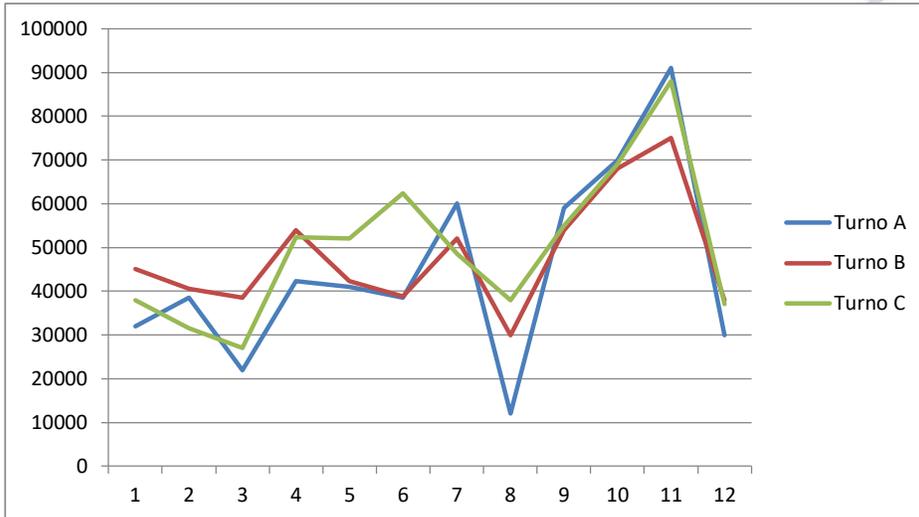


Figura8. Trazado por turno consumo energía (2019)
Nota: Elaborado por el autor

Análisis de la variable PRODUCCIÓN

Se muestra en la tabla#2, el resultado de la prueba de homogeneidad para la variable producción, en donde se obtiene lo siguiente:

Tabla # 2 Prueba de homogeneidad de varianzas

		Estadístico de Levene			
			gl1	gl2	Sig.
Producción	Se basa en la media	1,126	2	33	0,336
	Se basa en la mediana	0,580	2	33	0,565
	Se basa en la mediana y co. gl ajustado	0,580	2	33	0,566
	Se basa en la media recortada	1,025	2	33	0,370

Nota: Elaborado por el autor

Hipótesis Homogeneidad – Producción

- Ho: Las varianzas de la variable PRODUCCIÓN son homogéneas entre los turnos.
- Ha: Las varianzas de la variable PRODUCCIÓN no son homogéneas entre los turnos.

Se analiza el Pvalor que es mayor que 0.05 ($0.336 > 0.05$); Por lo tanto, no existe evidencia estadística significativa para rechazar la hipótesis nula en favor de la alterna, es decir que las varianzas de la variable PRODUCCIÓN son homogéneas entre los turnos.

Se muestra en la tabla#3, el resultado de la prueba de Anova para la variable producción, en donde se obtiene lo siguiente:

Tabla # 3 Prueba de ANOVA para PRODUCCIÓN
ANOVA

Producción					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1326636,509	2	663318,255	0,607	0,551
Dentro de grupo	36046835,171	33	1092328,339		
Total	37373471,680	35			

Nota: Elaborado por el autor

Como se está analizando la ANOVA de un factor, se verifica el valor de significancia que nos muestra que es igual a 0.551.

Se recuerda que la prueba de hipótesis es:

- $H_0: \mu_{P1} = \mu_{P2} = \mu_{P3}$
- H_1 : Al menos una de las medias de los turnos μ_{Pi} , es diferente.

Por lo tanto, no se identifica evidencia estadística significativa para rechazar la hipótesis nula en favor de la alterna, ya que el valor de significancia $P_{valor} > 0.05$; Por lo tanto; no existen diferencias significativas entre las medias de producción de los turnos, se aplicara la prueba de Post Hoc para verificación de los resultados obtenidos.

En la tabla#4, nos indica el resultado de las comparaciones múltiples PostHoc para la variable producción, en donde se obtiene lo siguiente:

Tabla # 4 Resultado de las comparaciones múltiples POST HOC entre turnos en producción.

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Producción

HSD Tukey	Turnos Producción		Diferencia de medias (I-	Desv. Error	Sig.
	Turno A	Turno B			
		Turno C	-264,35583	426,67871	0,810
		Turno A	204,59583	426,67871	0,881
	Turno B	Turno A	264,35583	426,67871	0,810
		Turno C	468,95167	426,67871	0,521
	Turno C	Turno A	-204,59583	426,67871	0,881
		Turno B	-468,95167	426,67871	0,521

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05

Nota: Elaborado por el autor

Se utiliza la tabla HSD Tukey para determinar diferencias significativas entre las medias, debido que las varianzas son iguales.

Hipótesis - Producción entre Turno A – B - C

- H_0 : La media PRODUCCIÓN entre los turnos son iguales.
- H_a : La media PRODUCCIÓN entre los turnos difieren.

Como las varianzas son homogéneas según el resultado del estadístico de Levene, se analiza el resultado de la tabla de Tukey, en donde el Pvalor entre las medias de A-B es de

0,810; el Pvalor entre las medias de A-C es de 0,881 y el Pvalor entre las medias B-C es de 0,521. Por lo tanto, siendo estos valores mayores a 0,05 entonces se indica que no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula en favor de la alterna en donde se indica que las medias entre los turnos son estadísticamente iguales.

En la tabla#5, nos indica el resultado de los subconjuntos homogéneos para la variable producción, en donde se presenta lo siguiente:

Tabla # 5 Subconjuntos homogéneos para la variable PRODUCCION.

<i>Turnos Producción</i>		<i>Subconjunto para alfa = 0.05</i>	
		<i>N</i>	<i>1</i>
<i>HSD Tukey</i>	<i>Turno C</i>	12	2182,1758
	<i>Turno A</i>	12	2386,7717
	<i>Turno B</i>	12	2651,1275
<i>Sig.</i>			0,521

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos
Nota: Elaborado por el autor

Análisis de la variable CONSUMO ENERGÍA

Se muestra en la tabla#6, la prueba de homogeneidad del estadístico de Levene para la variable consumo de energía, en donde se obtiene lo siguiente:

Tabla # 6 Estadístico de Levene para prueba de homogeneidad para consumo energía

Prueba de homogeneidad de varianzas					
		<i>Estadístico de Levene</i>	<i>g1</i>	<i>g2</i>	<i>Sig.</i>
<i>Consumo Energía</i>	<i>Se basa en la media</i>	5,839	2	33	0,007
	<i>Se basa en la mediana</i>	4,904	2	33	0,014
	<i>Se basa en la mediana con g1 ajustado</i>	4,904	2	21,61	0,018
	<i>Se basa en la media recortada</i>	5,783	2	33	0,007

Nota: Elaborado por el autor

Hipótesis – variable Consumo energía

- Ho: Las varianzas de la variable Consumo energía son homogéneas entre los turnos.
- Ha: Las varianzas de la variable Consumo energía no son homogéneas entre los turnos.

Se analiza el Pvalor que es menor que 0.05 ($0.007 < 0.05$); Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, es decir que las varianzas de la variable Consumo energía no son homogéneas entre los turnos, con esto se demuestra lo que se observó en la Figura 6 de esta investigación.

Se presenta la prueba de Anova en la tabla #7, para la variable de consumo de energía, obteniéndose lo siguiente:

Tabla # 7 Prueba de ANOVA para CONSUMO ENERGÍA

Consumo Energía					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	4824408289,688	2	2412204144,844	9,436	0,001
Dentro de grupo	8436327154,060	33	255646277,396		
Total	13260735443,749	35			

Nota: Elaborado por el autor

Como se está analizando una ANOVA de un factor, se verifica el valor de significancia igual a 0.001

Se recuerda que la prueba de hipótesis es:

$$H_0: \mu_{CET1} = \mu_{CET2} = \mu_{CET3}$$

Ha: Al menos una de las medias de los turnos μ_{CETi} , es diferente.

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, ya que el valor de significancia Pvalor < 0.05 ($0,001 < 0,05$); Por lo tanto, es necesario aplicar una prueba de Post hoc ya que se obtuvo diferencia entre las medias de los grupos, por lo obtenido en la prueba de homogeneidad, se aplicará en este caso la prueba de Games-Howell, para corroborar lo concluido.

Las comparaciones múltiples en la tabla #8, para la variable de consumo de energía, presenta lo siguiente:

Tabla # 8 Resultado de comparaciones múltiples POST HOC entre turnos en consumo de energía.

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Consumo Energía

		Turnos Producción		Diferencia de medias (I-J)	Dev. Error	Sig.
Games-Howell	Turno A	Turno B		-13031,65250*	4131,00931	0,015
		Turno C		-28325,98583*	7136,45338	0,004
		Turno B	Turno A	13031,65250*	4131,00931	0,015
	Turno B	Turno C		-15294,33333	7734,91654	0,149
		Turno A	Turno B	15294,33333	7734,91654	0,149
	Turno C	Turno A	28325,98583*	7136,45338	0,004	

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05

Nota: Elaborado por el autor

Se utiliza la prueba de Games-Howell para determinar los valores o diferencias entre las medias, debido a que las varianzas son diferentes según la prueba de homogeneidad, generándose las siguientes hipótesis:

Hipótesis – variable Consumo energía entre Turno A – Turno B

- Ho: La media de CONSUMO ENERGÍA en el turno A es igual a la media del turno B.
- Ha: La media de CONSUMO ENERGÍA en el turno A es diferente a la media del turno B.

Se observa en la tabla de comparaciones entre el consumo de energía del turno A y B, se tiene una significancia del 0,015, este siendo menor que 0.05; Lo que nos indica que se rechaza la hipótesis nula, señalando que las medias de consumo energético son diferentes, declarando efectivamente que existen diferencias significativas entre las medias de ambos turnos.

Hipótesis – variable Consumo energía entre Turno A – Turno C

- Ho: La media de CONSUMO ENERGÍA en el turno A es igual a la media del turno C.
- Ha: La media de CONSUMO ENERGÍA en el turno A es diferente a la media del turno C.

Comparando el consumo de energía del turno A y C, se tiene una significancia del $0,004 < 0.05$; Lo que nos indica que se rechaza la hipótesis nula, señalando que las medias de consumo energético son diferentes, declarando efectivamente que existen diferencias significativas entre las medias de ambos turnos.

Hipótesis – variable Consumo energía entre Turno B – Turno C

- Ho: La media de CONSUMO ENERGÍA en el turno B es igual a la media del turno C.
- Ha: La media de CONSUMO ENERGÍA en el turno B es diferente a la media del turno C.

Turno B y C, se tiene una significancia del 0.149, este siendo mayor que 0.05; Lo que nos indica que no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula en favor de la alterna, por lo que las medias son iguales.

Por lo tanto, mientras que en la producción de los resultados obtenidos nos muestran que no existe diferencia significativa entre los turnos, en cambio en los resultados obtenidos del consumo de energía nos muestra que el turno diferente en el ANOVA es el turno A siendo precisamente el de menor consumo promedio con 45257,95 Kwh/ ton mensual, concluyendo que este turno es el de mejor desempeño durante el año 2019.

Modelo explicativo del Consumo Energético

Conforme a los datos obtenidos, y la necesidad de tener la menor pérdida de energía y aumentar la producción de acero fundido, será necesario realizar u obtener un modelo en

donde se explique mediante un modelo matemático para tratar de anticipar el consumo de energía con las variables inmiscuidas en el proceso.

Para esto, tenemos la producción medidas por el indicador ton/mes, Insumos (cal cálcica, cal dolomita y carbón) medido por el indicar ton/mes y Horas de fusión medidas por el indicador min/cuchara, obtenida a partir de la sumatoria de los minutos por fusión de la chatarra.

En la tabla#9, se expresa el resumen del modelo para la variable de consumo de energía explicada bajo las variables del proceso:

Tabla # 9 Resultado del Resumen del modelo

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Estadísticos de cambio				Sig. Cambio en F
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	
1	,901 ^a	0,811	0,800	462,38999	0,064	11,249	1	33	0,002

Se muestra que tenemos un R de 0,901 y un R² de 0,811 que explica el cambio de la variable de interés, validando de esta manera el modelo de regresión, donde se explica fuertemente que las variables de consumo energético e insumos, describen la variable de interés.

En la tabla#10, se expresan los coeficientes del modelo para las variables dependientes consumo de energía explicada bajo las variables del proceso:

Tabla # 10 Presentación de los coeficientes del modelo

Coefficientes

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados			
	B	Desv. Error	Beta	t	Sig.	
1	(Constante)	483,861	3983,145		0,121	0,904
	Producción	11,607	1,662	0,684	6,986	0,000
	Horas Fusión	55,709	38,277	0,091	1,455	0,155
	Insumos Ton	286,981	93,096	0,288	3,083	0,004

a. Variable dependiente: Consumo Energía

Donde se puede indicar en la ecuación, los siguientes términos:

$y =$ Consumo Energía mensual
 $x_1 =$ Producción mensual
 $x_2 =$ Insumos_Ton mensuales
 $x_3 =$ Horas de fusión mensuales

La variable producción e insumos_ton explican respectivamente el 68,4% y el 28,8% la variable consumo de energía, el programa estadístico eliminó la variable horas de fusión, nos queda según los datos obtenidos de la plataforma estadística, lo siguiente:

$$y = m + b x_1 + b x_2 + b x_3 + e$$

Por lo tanto:

$$\text{ConsumoEnergía} = 11,607\text{Producción} + 286,981\text{InsumosTon} + e$$

En la figura 9, se presenta el gráfico de dispersión de la variable de consumo de energía según los resultados del programa estadístico.

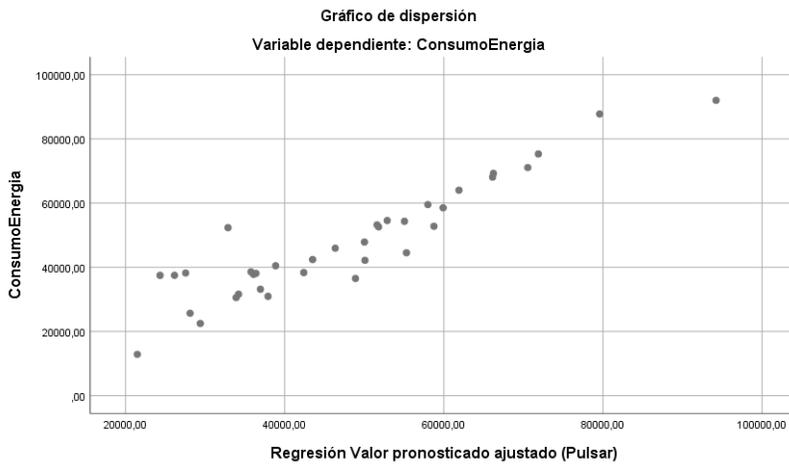


Figura9. Gráfico de dispersión de la variable consumo de energía
Nota: Elaborado por el autor

Luego de obtener el modelo de regresión explicando el consumo de energía de la empresa en términos de las variables independientes, al ejecutar el programa nos presenta un R^2 de 0,811 lo que nos indica que este modelo expresado por las variables independientes, explica el 81,10% de la varianza de los datos de consumo de energía, por lo que se puede predecir con ese porcentaje en la regresión el consumo de energía que tendrá la empresa según sus variables independientes.

Verificación y mediciones de campo

Durante la inspección de los trabajos de los operadores de campo en la planta de acería, y con permisos de la completa verificación de los datos, así como su intervención en las máquinas, la revisión de históricos de la planta, consumo de energía de los motores instalados, revisión de hojas de reporte diario e incluso reportes de mantenimiento de los equipos eléctricos, en la tabla # 11 se verifican las siguientes evidencias, en donde se tiene siguiente:

Tabla #11 Evidencias de fallos potencial verificados en la planta

Actividad	Evidencia de fallo potencial
1	Reporte de mantenimiento de motores con más de 5 años sin mantenimiento.
2	Reporte de mantenimiento de celdas eléctricas con más de 8 años sin intervención.
3	Mala operación del operario con respecto a la manipulación de los electrodos.
4	Durante la investigación se detecta que el electrodo usado para la fusión ha sido cambiado por parte de la empresa en el año en mención, a uno de baja calidad.
5	Reportes indican 5 años sin mantenimiento de los transformadores de potencia.
6	Equipos conectados innecesariamente por parte de los operarios, durante limpieza del sistema de basculado de rutina.
7	Gasto de energía innecesaria durante parada de producción en sistemas secundarios.

Nota: Elaborado por el autor

Ante lo expuesto en la planta siderúrgica, y luego de verificada la relación entre las variables consumo de energía y producción, se realizan la implementación de ciertas mejoras observadas, durante la verificación de los trabajos operacionales dentro de la planta.

En esta clase de proyectos, los diseños experimentales y recomendaciones son importantes para la apropiada interacción de las variables inmiscuidas en el proceso. La implementación de los correctivos necesarios para evitar el alto consumo energético es de suma importancia para este proyecto, las acciones a tomar para tener la eficiencia energética deseada, serán las siguientes:

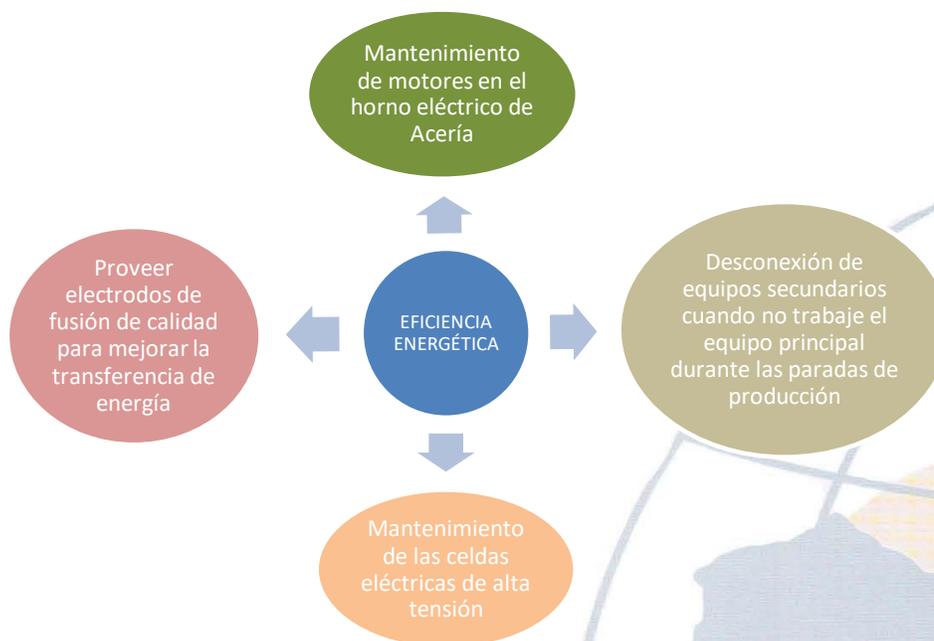


Figura10. Mejoras realizadas para la Eficiencia energética
Nota: Elaborado por el autor

Para obtener valores de comparación y evidenciar la eficacia de lo implementado, se recopila información del tercer trimestre del 2020 ya que la empresa abrió sus puertas en junio del 2020 para iniciar producción pos pandemia. En la figura 11, tenemos la comparación del

tercer trimestre 2019 con el tercer trimestre del 2020 de la producción. Para la figura 12 tenemos la comparación del tercer trimestre 2019 con el tercer trimestre del 2020 de la variable consumo energía.

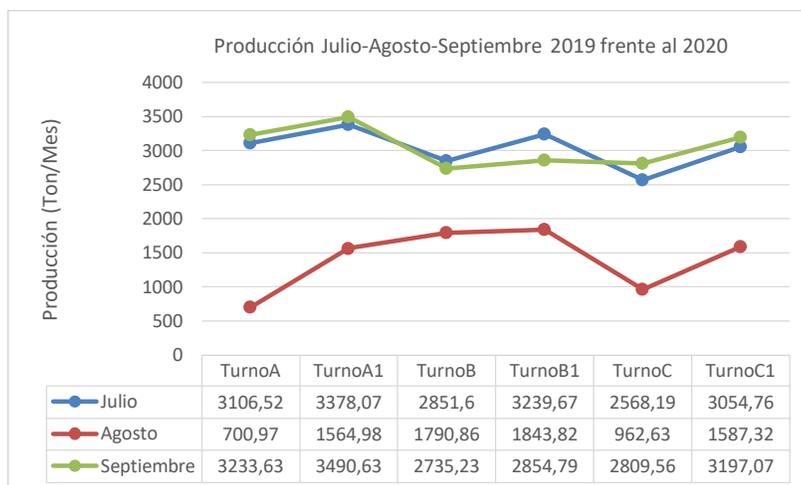


Figura11. Comparación de la variable Producción Julio-Agosto-Septiembre 2019 frente al 2020
Nota: Elaborado por el autor

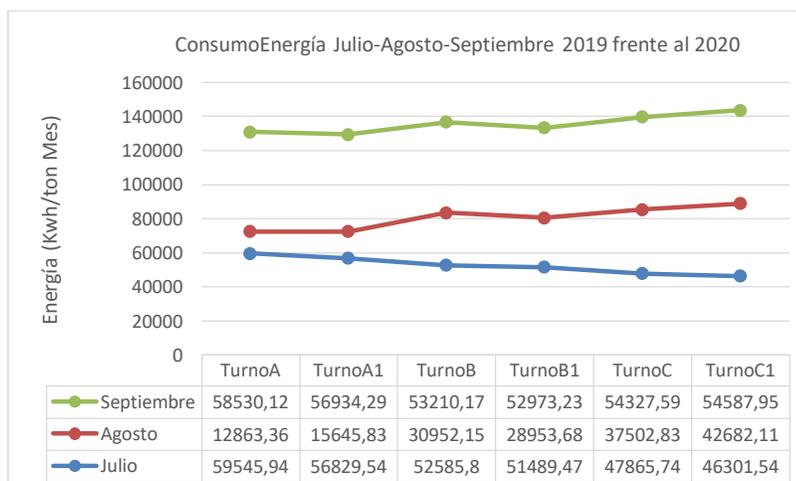


Figura12. Comparación de la variable Consumo Energía Julio-Agosto-Septiembre 2019 frente al 2020
Nota: Elaborado por el autor

A continuación, en la tabla#12, se muestran los resultados obtenidos dentro de la empresa para el 2020 luego de los mantenimientos preventivos y correctivos implementados.

Tabla # 12 Comparación de resultados del tercer trimestre 2019 en referencia al 2020

	Valor exante Producción (ton/mes)			Total	Valor exante Consumo Energía (Kwh/ton)			Total
	Turno A	Turno B	Turno C		Turno A	Turno B	Turno C	
Meses 2019								
Julio	3106,52	2851,6	2568,19		59545,94	52585,8	47865,74	
Agosto	1020,97	1790,86	962,63		12863,36	30952,15	37502,83	
Septiembre	3233,63	2735,23	2809,56		58530,12	53210,17	54327,59	
SumTotal	7361,12	7377,69	6340,38	21079,19	130939,42	136748,12	139696,16	407383,7
	Valor expost Producción (ton/mes)			Total	Valor expost Consumo Energía (Kwh/ton)			Total
	TurnoA1	TurnoB1	TurnoC1		TurnoA1	TurnoB1	TurnoC1	
Meses 2020								
Julio	3378,07	3239,64	3054,76		56829,54	51489,47	46301,54	
Agosto	1231,56	1843,82	1384,03		15645,83	28953,68	42682,11	
Septiembre	3490,63	2854,79	3197,07		56934,29	52973,23	54587,95	
SumTotal	8100,26	7938,25	7635,86	23674,37	129409,66	133416,38	143571,6	406397,64

Nota: Elaborado por el autor

Como análisis adicional en los meses de Julio, Agosto y Septiembre del 2019, se obtuvo un indicador de 21.079,19 ton/trimestrales pero en el tercer trimestre del 2020 se obtuvo 23.674,37 ton/trimestrales, presentando un aumento del 12% de la producción representando cerca de \$1.297.590 por trimestre de ganancia para la empresa. Respecto al consumo energético de los mismos meses en donde se obtuvo el indicador de 407.383,7 Kwh/ton-trimestral pero en el tercer trimestre del 2020 se obtuvo 406.397,64 Kwh/ton-trimestral, presentando una disminución del consumo energético del 0,2%, lo que representa un ahorro de aproximadamente \$8000 por trimestre, notamos la mejora después de los mantenimientos preventivos y correctivos, así como también recomendar el uso de electrodos de grafito de calidad para una efectiva transferencia de energía, evitando paradas no programadas por ruptura o ineficiencia a la hora de realizar la fusión en el baño de acero fundido.

Los mantenimientos preventivos y correctivos realizados ascendieron al costo de \$ 135.000 en repuestos, adicionalmente el precio de las seis columnas del electrodo de grafito es de \$ 5.000, utilizando 36 electrodos en promedio mensuales gastando \$30.000 pero como el análisis

es trimestral será de \$ 90.000, teniendo un balance económico positivo trimestral debido al aumento en la producción de los turnos quedando como resultado un balance positivo, ante los cambios realizados durante la pandemia.

	Producción (ton/trimes)	Cons. Energía (Kwh/ton-trimes)
2019 Julio/Agosto/Septiembre	21.079,19	407.383,7
2020 Julio/Agosto/Septiembre	23.674,37	406.397,64
Diferencia	2.595,18	986,06

Precio Ton Acero	Precio Kwh industrial
\$476,00	\$ 7,99

Aumento de producción del 12%	\$ 1.235.305,68
Ahorro consumo de energía 0,2%	\$ 7.878,62
Electrodos de consumo	\$ 90.000,00
Mantenimiento prev. y correc.	\$ 135.000,00
Saldo de ganancia por cambios implementados	\$ 1.078.184,30

CONCLUSIONES

Las herramientas tecnológicas son importantes para las empresas en este tiempo cambiante. Para las variables producción y consumo energía con respecto a los distintos turnos se puede indicar mediante el software estadístico SPSS lo siguiente:

- No se rechaza la hipótesis nula de las medias de producción, con un nivel de significancia de 0.05 y un valor p 0.551, se concluye que las medias de producción entre los turnos anuales de la empresa son estadísticamente similares, ya que no existe una diferencia significativa entre las producciones individuales por turno.
- La variable de consumo de energía no cumple con la igualdad de varianzas debido a que la dispersión de los datos entre los turnos es elevada.
- Para la variable Consumo energético, se rechaza la hipótesis nula de igualdad con un nivel de significancia de 0.05 y de un valor p de 0.007.
- Las variables Producción e Insumos explican la variable consumo de energía con un coeficiente

de correlación de 0,901 y una R^2 de 0,811 lo que indica la capacidad del modelo de explicar el 81% de las observaciones.

- Al aplicar los mantenimientos correctivos y preventivos asociados con la eficiencia y calidad energética durante enero y febrero del 2020, se realiza una nueva recolección de datos para el tercer semestre del 2020, donde se verifica el aumento en un 12% de la producción y una disminución del consumo energético del 0,2% menor comparado con los mismos meses del 2019.
- La calidad de los electrodos de grafito y carbón utilizados para la transferencia de energía al baño de acero fundido, tiene relación directa con el consumo de energía de los turnos, aparte de los datos obtenidos luego de los mantenimientos. Cabe indicar este dato ya que durante la investigación se mejoró notablemente la producción de la empresa con niveles controlados de consumo energético.
- A partir de los datos se puede indicar que el turno B, con una media de producción de 2651,12 ton/anual es el turno más productivo en el año 2019, pero con base al estudio realizado estadísticamente, los turnos no tienen diferencias significativas entre las medias de sus producciones anual.
- El turno B presentó un consumo medio anual de energía de 49146,27 Kwh/ton siendo el de mayor consumo energético durante el año en mención existiendo diferencias significativas entre los turnos, llevando una relación directa entre estas variables.

En conclusión general, no existe diferencias estadísticas entre las medias de producción/mensual pero si existen diferencias significativas en los valores de consumo de energía/mensual en el año 2019, dado que no existe diferencias significativas en la producción/mes entre los turnos pero el turno A representa el turno con menor consumo energético/mes estadísticamente demostrado, se llega a la conclusión que este turno es el de mejor desempeño durante el año en estudio.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente agradecer a Dios por darme las fuerzas para seguir adelante y ayudarme a enfocarme en terminar mis estudios en las adversidades presentadas durante este periodo de estudio. Agradecido por su infinita misericordia.

A mi padre Kleber, por ese apoyo incondicional y el esfuerzo que realizo para poder ayudarme a estar sustentando este artículo, un pilar fundamental en mi vida, todo lo que soy es por ti papá.

A mi madre Luz, porque gracias a su insistencia, logre graduarme en pregrado y seguir mi camino hacia la maestría, porque siempre me impulsó a ser mejor en la vida, como profesional y calidad de persona. La amo con todas mis fuerzas.

A mi esposa Kerly, por ser más que mi esposa, mi amiga, mi equipo en este corto trayecto llamado vida, por su insistente consejo a ser mejores, gracias por estar para mí en esta etapa de mi vida, en las buenas y en las malas. Agradecido siempre por tenerte como mi compañera de vida.

A mis preciosos y bellos hijos Dafne y Willito, que son los motores principales de mi vida, mi razón de vivir, esto va por ustedes, mis amados cotos.

REFERENCIAS (BIBLIOGRAFÍA)

- [1] Worldsteel Association , «Energy use in the steel industry,» Worldsteel Association , 2019.
- [2] Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo, *Plan Nacional de Desarrollo*, Quito, Pichincha, 2009.
- [3] Universidad Politécnica Salesiana, *La UPS en Cifras 2012*, Cuenca, 2012.
- [4] I. Carrión y L. Berasategi, Guía para la elaboración de proyectos, País Vasco, 2010.
- [5] S. Mendonca, Elaboración y negociación de proyectos de desarrollo, Lima, 1998.
- [6] R. Cunningham, «La energía, historia de sus fuentes y transformación,» Petrotecnia, 2003.
- [7] P. Díaz y M. Sáez, «Lecciones de la historia reciente de la siderurgia española,» Universidad de Alicante, Alicante, 2016.
- [8] C. Ramírez, G. Omaña, G. Vivas, M. Pérez, F. Jiménez y R. Montes, «Uso histórico de la energía y perspectivas de investigación de la energía alternativa en la Universidad Marítima del Caribe,» *Doctum*, vol. 15, n° 1, pp. 167-182, 2015.
- [9] A. Pérez, S. Oyonarte, F. Bosch y D. Ortiz, «Eficiencia energética en el sector del metal,» AIMME , España, 2008.
- [10] G. Gordillo y R. Valero, «Evaluación de pérdidas energéticas en la planta de fundición de la empresa de Herrajes Fantaxias Ltda,» Universidad Industrial de Santander , Bucaramanga , 2005.
- [11] C. Chong, W. Ni, L. Ma y P. Z. L. Liu, «The Use of Energy in Malaysia: Tracing Energy Flows from Primary Source to End Use,» *Energies* , pp. 2828-2866, 2015.
- [12] M. Secomandi, «Applications of Circulating Fluidized Beds in Energy Production,» School of Energy Systems, Lappeenranta, 2018.
- [13] M. Larrea y A. García, «La siderurgia en España y su futuro,» Universidad de Deusto, España, 2017.
- [14] T. Niemela, R. Kosonen y J. Jokisalo, «Energy performance and environmental impact analysis of cost-optimal renovation solutions of large panel apartment buildings in Finland,» *Sustainable Cities and Society - Elsevier*, vol. 32, pp. 9-30, 2017.
- [15] S. Sandoval y A. Aguilar, «La situación minera en el Ecuador,» *Boletín Estadístico del Sector de Hidrocarburos*, vol. 11, pp. 15-31, 2018.
- [16] D. Martínez, «Eficiencia energética en la industria electrointensiva sectores: Metalurgia, siderurgia y papel,» Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, 2015.
- [17] MGM Internacional , «Manual para la Evaluación de Elegibilidad de Financiación de

- Proyectos de Eficiencia Energética,» Banco de desarrollo de América Latina , 2016.
- [18] J. Peña y A. Trujillo, «Monitorización, análisis y difusión del consumo energético eléctrico de modelo de vivienda del sector residencial de la ciudad de Riobamba,» Escuela Superior Politécnica de Chimborazo , Chimborazo, 2015.
- [19] M. Carvajal, «Valoración del Impacto Ambiental del Sector Industrial del Ecuador mediante la Utilización de Energías Renovables,» Universidad Central del Ecuador , Quito, 2017.
- [20] D. Jima, «El consumo de energía eléctrica de Ecuador y su incidencia en el producto interno bruto,» Universidad Nacional de Loja , Loja, 2019.
- [21] Comité colombiano de Productores de Acero, «Informe de sector siderúrgico,» Comité colombiano de Productores de Acero, Bogotá, 2018.
- [22] M. Jiménez y M. Navarrete, «Perfil Ecuatoriano de las empresas metalmecánicas,» *Ciencias económicas y empresariales*, vol. 4, nº 1, pp. 585-602, 2018.
- [23] G. Villegas, «Caracterización del sector metalmecánico y área de soldadura,» Copyright SENA, Bogotá, 2012.
- [24] C. Chiluisa y L. Freire, «Instalaciones electricas y consumo energético en el taller metalmecánico CM de la ciudad de Ambato en el año 2017,» *Revista INVPOS* , 2018.
- [25] XUNTA de galaxia, «Oportunidades industria 4.0 en Galicia,» Alianza Tecnológica intersectorial , 2016.
- [26] F. Chejne, J. Alean, C. Gómez, O. López, L. Betancur, C. Guerra y C. Isaza, «Recuperación de energía en procesos industriales,» Universidad Nacional de Colombia, Medellín , 2015.
- [27] Comisión Económica para América Latina y el Caribe, «Informe nacional de monitoreo de la eficiencia energética de México,» CEPAL , 2018.
- [28] J. Villar, «Aprovechamiento de calor residual en industrias de proceso continuo y su aplicación en productos intermedios de acería,» Universidad de Oviedo , Oviedo, 2015.
- [29] Consejo Nacional de electricidad , «Plan maestro de electrificación 2013- 2022,» CONELEC, 2013.
- [30] C. Martínez, «Consumo de energía siderúrgica,» Universidad Carlos II de Madrid, Madrid, 2011.
- [31] G. Wenbin, L. Yuxin y W. Yi, «Energy-efficient job shop scheduling problem using an improved particle swarm algorithm,» de *IEEE 3rd Information Technology and Mechatronics Engineering Conference* , 2017.
- [32] Y. Liu, H. Dong, N. Lohse, S. Petrovic y N. Gindy, «An investigation into minimising total energy consumption and total weighted tardiness in job shops,» *Journal of Cleaner Production*, 65, pp. 87-96, 2014.
- [33] Z. Jiang y Z. Le, «Study on multi-objective flexible job-shop scheduling problem considering energy consumption,» *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*, 7(3), pp. 589-604, 2014.
- [34] M. A. Moreno, J. I. Córcoles, J. M. Tarjuelo y J. F. Ortega, «Energy efficiency of

pressurised irrigation networks managed on-demand and under a rotation schedule,»
Biosystems engineering, 107(4), pp. 349-363, 2010.

- [35] Gong, X.; Van der Wee, M.; De Pessemier, T.; Verbrugge, S.; Colle, D.; Martens, L.; Joseph, W., «Energy-and labor-aware production scheduling for sustainable manufacturing: a case study on plastic bottle manufacturing,» de *4th CIRP Conference on Life Cycle Engineering*, 61, 2017.
- [36] G. Gong, R. Chiong, Q. Deng, W. Han, L. Zhang, W. Lin y K. Li, «Energy-efficient flexible flow shop scheduling with worker flexibility,» *Expert Systems with Applications*, 141, pp. 1-17, 2020.