



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## **FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

APLICACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN LINEAL PARA MAXIMIZAR  
LA EFICIENCIA EN HORNOS DE RECALENTAMIENTO, EMPRESA  
SIDERÚRGICA DEL PERÚ S.A.A. CHIMBOTE, 2018.

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO INDUSTRIAL.**

AUTORES:

ALEX ALBERTO, QUISPE SAAVEDRA.

PAUL AUGUSTO, SANCHEZ CHAUCA.

ASESOR METODÓLOGO:

ING. JAIME EDUARDO, GUTIÉRREZ ASCÓN

ASESOR TEMÁTICO:

M Sc. Ing° NELSON HUGO, RAMÍREZ SICHE.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

GESTIÓN EMPRESARIAL Y PRODUCTIVA

CHIMBOTE – PERÚ

2019

 <b>UCV</b> UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	<b>ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS</b>	Código : F07-PP-PR-02.02 Versión : 07 Fecha : 31-03-2017 Página : 1 de 7
--	---------------------------------------	---


**ACTA N° 001 - 5D - 2019 - EII/UCV/CH**

El Jurado encargado de evaluar la tesis denominada "APLICACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN LINEAL PARA MAXIMIZAR LA EFICIENCIA EN HORNOS DE RECALENTAMIENTO, EMPRESA SIDERÚRGICA DEL PERÚ S.A.A. CHIMBOTE, 2018", presentada por los estudiantes SANCHEZ CHAUCA PAUL AUGUSTO / QUISPE SAAVEDRA ALEX ALBERTO, reunido en la fecha, escuchó la sustentación y la resolución de preguntas por el estudiante, otorgándole el calificativo de:

NOTA: 18 (Número) Dieciocho (Letras).

Por lo tanto, el estudiante aprueba por Unanimidad

Chimbote, 15 de febrero del 2019

  
 Ms. GALARRETA OLIVEROS GRACIA ISABEL  
 PRESIDENTE

  
 Ms. RAMÍREZ SICHE HUGO NELSON  
 SECRETARIO

  
 Ing. JAIME EDUARDO GUTIERREZ ASCON  
 VOCAL

## DEDICATORIA.

### **A NUESTROS PADRES.**

Quienes nos aleccionaron que el ser humano es creador de su propio destino y diseñador de sus objetivos.

### **A NUESTRA FAMILIA.**

Quienes comparten sus alegrías y tristezas, victorias y triunfos que llenan de colores los días de mi vida.

Los que nos alientan a ser mejor arquitecto de mi vida y cuya sonrisa y contemplación son la gracia de mi existencia.

Por su enorme paciencia, consejo, tolerancia y gran comprensión al hacer uno solo nuestro proyecto.

### **A NUESTROS AMIGOS Y PROFESORES.**

A todos nuestros amigos y profesores que dejaron tatuadas en nuestro ser con sabiduría y mucha alegría.

Hombres cultos que nos enseñaron a escalar las montañas del saber.

### **A LAS PERSONAS ANÓNIMAS.**

Quienes tuvieron la misión de apoyarnos a transcurrir, a cruzar el puente de la vida y luego dejarnos a nuestra sábia elección.

## AGRADECIMIENTO.

Primero y como más importante, agradecemos a Dios por habernos acompañado y guiado a lo largo de nuestra carrera, por ser nuestra fortaleza en nuestros momentos de debilidad y por brindarnos la vida llena de aprendizajes experiencia y sobre todo felicidad.

Nos gustaría agradecer sinceramente a nuestros asesores Ing. Jaime Eduardo Gutiérrez Ascón, M Sc. Ing. Nelson Hugo Ramírez Siche, por su esfuerzo y dedicación, sus conocimientos, sus orientaciones, su manera de trabajar, su persistencia, su paciencia y su motivación han sido fundamentales para nuestra formación como investigadores.

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Nosotros Paul Augusto Sánchez Chauca y Alex Alberto Quispe Saavedra, estudiantes de Ingeniería Industrial, de la escuela de pregrado de la Universidad Cesar Vallejo identificados con DNI N° 40947923 y 43574826 respectivamente con la tesis titulada "Aplicación de la programación lineal para maximizar la eficiencia en hornos de recalentamiento, empresa siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote, 2018".


### DECLARAMOS QUE:

1. La tesis en mención es de nuestra autoría.
2. Hemos aceptado las normas internacionales de las citas y referencias para las fuentes consultadas. Por lo tanto, la tesis no ha sido plagiada total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido autoplagiada, es decir no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o un título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados ni copiados y por lo tanto son los resultados que se presentan en la tesis se constituirán en aportes de la realidad investigada.

Chimbote, febrero de 2019



Alex Alberto Quispe Saavedra  
DNI: 44837109



Paul Augusto Sanchez Chauca  
DNI: 40947923

## PRESENTACION

El presente proyecto de investigación trata de la aplicación de un modelo matemático para maximizar la eficiencia de los hornos de recalentamiento del área de laminación largos de la empresa siderúrgica del peru.

En el Capítulo I; se presenta la realidad problemática, antecedentes y teorías relacionadas al tema, información necesaria para poder entender el problema que pasaba en el área de estudio.

En el capítulo II; se presenta como está conformada la tesis, por cómo se planteó el método, el diseño, la técnica y los métodos de análisis de datos del presente estudio; mientras que el capítulo III; se analizaron los resultados para el procesamiento de la variable independiente y la dependiente. En el capítulo IV, se planteó la discusión de las hipótesis, contrastándolas con los antecedentes y las teorías de los libros utilizados. En el capítulo V; se presentan las conclusiones. En el capítulo VI; se presentan las recomendaciones. Finalmente se presentan las referencias y los anexos.

En esta investigación, por tanto, se busca maximizar la eficiencia económica de los hornos de recalentamiento esperando cumplir con los requisitos de aprobación para obtener el título profesional de ingenieros industriales.

# ÍNDICE

PORTADA.....	i
ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD.....	v
PRESENTACION.....	vi
ÍNDICE.....	vii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
I. INTRODUCCIÓN.....	15
1.1 Realidad problemática.....	16
1.2 Trabajos previos.....	22
1.2.1 Variable independiente: Programación lineal.....	22
1.2.2 Variable dependiente: Eficiencia.....	29
1.3 Teorías relacionadas al tema.....	35
1.3.1 Proceso de calentamiento de las palanquillas en horno de recalentamiento de la planta de laminación largos.....	35
1.3.2 Variable X: Programación lineal.....	39
1.3.3 Variable Y: Eficiencia.....	44
1.4 Formulación del problema.....	49
1.4.1 Problema general.....	49
1.4.2 Problemas específicos.....	49
1.5 Justificación del estudio.....	50
1.6 Hipótesis.....	51
1.6.1 Hipótesis general.....	51
1.6.2 Hipótesis específicas.....	51
1.7 Objetivos.....	52
1.7.1 General.....	52
1.7.2 Específicos.....	52
II. MÉTODO.....	53
2.1 Diseño de investigación.....	53

2.1.1 Tipo de estudio.....	53
2.1.2 Diseño de investigación.....	53
2.2 Variables, operacionalización.....	54
2.2.1 Variable independiente (X): Programación Lineal.....	54
2.2.2 Variable dependiente (Y): Eficiencia.....	55
2.3 Población y muestra.....	57
2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	57
2.5 Validación y confiabilidad del instrumento.....	59
2.6 Aspectos Éticos.....	59
III. RESULTADOS.....	60
3.1 Programación Lineal.....	60
3.1.1 Diagnóstico.....	60
3.1.2 Variables de decisión.....	66
3.1.3 Función objetivo.....	67
3.1.4 Restricciones.....	70
3.1.5 Evaluación del impacto.....	74
3.1.6 Contratación de hipótesis.....	78
IV. DISCUSIÓN.....	84
V. CONCLUSIONES.....	90
VI. RECOMENDACIONES.....	92
REFERENCIAS.....	93
BIBLIOGRAFÍA.....	99
ANEXOS.....	101



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Receta de temperatura para las zonas de Calentamiento e Igualización.....	38
Tabla 2: Temperatura de calentamiento por zona .....	38
Tabla 3: Población de individuos .....	57
Tabla 4: Variables de decisión .....	67
Tabla 5: Restricción.....	70
Tabla 6: Solución Programación Lineal.....	72
Tabla 7: Análisis de sensibilidad. ....	73
Tabla 8: Tabla estadística descriptiva eficiencia económica.....	78
Tabla 9: Tabla estadística descriptiva eficiencia energética.....	81
Tabla 10: Costos de producción laminación largos enero - diciembre 2017.....	119
Tabla 11: Costos energéticos laminación largos enero - diciembre 2017 .....	119
Tabla 12: Eficiencia energética enero - diciembre 2017 .....	120
Tabla 13: Costos de producción laminación largos enero – marzo 2018.....	120
Tabla 14: Costos energéticos laminación largos enero - marzo 2018.....	121
Tabla 15: Eficiencia Energética enero - marzo 2018 .....	121
Tabla 16: Caudales de los hornos de Recalentamiento.....	122
Tabla 17: Demanda Diaria de la producción .....	122
Tabla 18: Consumo de oxígeno por tonelada .....	123
Tabla 19: Consumo de aire por tonelada.....	123
Tabla 20: Consumo de aire por tonelada.....	123
Tabla 21: Costo producto 1.....	123
Tabla 22: Costo producto 2.....	124
Tabla 23: Costo producto 3.....	124
Tabla 24: Costo producto 4.....	124
Tabla 25: Costo producto 5.....	124
Tabla 26: Costo producto 6.....	124
Tabla 27: contrastación de hipótesis eficiencia energética .....	125
Tabla 28: Contrastación de hipótesis eficiencia económica.....	126

## INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Balance de energía .....	39
Ecuación 2: Maximización y minimización .....	41
Ecuación 3: Eficiencia económica.....	44
Ecuación 4: Eficiencia térmica.....	44
Ecuación 5: Disponibilidad.....	47
Ecuación 6: Función objetivo.....	67
Ecuación 7: Ventas.....	68
Ecuación 8: Costos Indirectos .....	68
Ecuación 9: Costos de Producción .....	69
Ecuación 10: Costos de oxígeno. ....	69
Ecuación 11: Costos del aire.....	69
Ecuación 12: Costo de gas.....	69
Ecuación 13: Ecuación del modelo (Aire) horno 1.....	125
Ecuación 14: Ecuación del modelo (Gas) horno 1.....	125
Ecuación 15: Ecuación del modelo (Aire) Horno 2.....	125
Ecuación 16: Ecuación del modelo (Gas) Horno 2.....	125

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Costos de producción laminación largos enero - diciembre 2017.....	60
Gráfica 2: Pareto costos operacionales enero - diciembre 2017.....	61
Gráfica 3: Costos energéticos laminación largos enero - diciembre 2017. ....	61
Gráfica 4: Costos de producción laminación largos enero - marzo 2018. ....	62
Gráfica 5: Costos energéticos laminación largos enero - marzo 2018.....	62
Gráfica 6: Pareto Comparativo producción - eficiencia energética enero 2017 – marzo 2018 .....	64
Gráfica 7: Pareto comparativo producción - eficiencia económica enero 2017 – marzo 2018 .....	65
Gráfica 8: Pareto comparativo producción - eficiencia energética abril – octubre 2018. ...	75
Gráfica 9: Pareto comparativo producción - eficiencia energética abril - octubre2018. ....	76
Gráfica 10: Pareto comparativo eficiencia económica - eficiencia energética abril – octubre 2018. ....	77
Gráfica 11: Prueba t para dos muestras eficiencia económica/ Prueba unilateral a la izquierda.....	79
Gráfica 12: Prueba t para dos muestras eficiencia energética/ Prueba unilateral a la derecha.....	82
Gráfica 13: caudales del horno software iba .....	121
Gráfica 14: Selección de las muestras en Xlstat – Excel.....	127
Gráfica 15: Selección de la hipótesis alternativa .....	127
Gráfica 16: Selección de resultados a visualizar.....	128
Gráfica 17: Selección de los gráficos a visualizar.....	128
Gráfica 18: Configuración de la ventana solver.....	129
Gráfica 19: Selección de visualización de informes.....	130

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Documento de similitud.....	102
Anexo 2: Acta de aprobación de originalidad de tesis .....	103
Anexo 3: Autorización de publicación de tesis en repositorio UCV .....	104
Anexo 4: Autorización de la versión final del trabajo de investigación .....	106
Anexo 5: Matriz de consistencia. ....	108
Anexo 6: Matriz de antecedentes programación lineal .....	111
Anexo 7: Matriz de antecedentes eficiencia.....	113
Anexo 8: Secuencia del horno.....	115
Anexo 9: fotografías secuencia del horno .....	116
Anexo 10: Costos operacionales y energéticos laminación largos.....	119

## RESUMEN

Programación lineal es el modelamiento matemático dedica a maximizar o minimizar una función lineal. El estudio aplicado a esta empresa siderúrgica tuvo como objetivo maximizar la eficiencia de los hornos de recalentamiento a través del método simplex de la programación lineal. Materiales y métodos: El diseño de la investigación fue aplicativo y de tipo experimental, basado en la teoría de la programación lineal, se determinó 14 variables de decisión, una función objetivo formulada para maximizar la utilidad y obtener la máxima eficiencia económica y energética de los hornos. También, se determinaron 17 restricciones involucradas en el proceso, la solución de la función objetivo se desarrolló a través de la herramienta Solver, en este programa se cargaron todas las fórmulas obtenidas mediante la investigación las cuales forman parte de nuestro aporte como investigadores. Resultado: La solución de la programación en Solver dejo un valor óptimo para la producción diaria. Aplicado los cambios al proceso, este fue monitoreado durante 7 meses, y según la contrastación de hipótesis realizadas con el software Xlstat se alcanzó maximizar la eficiencia económica, la cual está calculado en base a la utilidad, y para la maximización de la eficiencia energética se tomó como referencia el consumo en kwh/t., un aporte adicional a la investigación, ha sido adicionar toneladas de producción mediante la inyección de oxígeno al horno, enriqueciéndose el aire de combustión y haciendo nuevas fórmulas para las relaciones aire-oxígeno y gas. En este trabajo se logró disminuir el consumo energético de 374 Kwh/t. a 357 Kwh/t. en donde se interpreta que disminuyó del consumo de gas natural. Con respecto a la eficiencia económica se logró incrementar en una ratio de 1,27 a 1,45 la cual se interpreta que por cada dólar de inversión, se obtuvo una ganancia de 0,45 centavos de dólar. Conclusión: se concluye que la aplicación de la programación lineal maximiza la eficiencia en los hornos de recalentamiento.

**Palabras Clave:** Programación lineal, método simplex, eficiencia, producción.

## ABSTRACT

Linear programming is mathematical modeling dedicated to maximize or minimize a linear function. The aim of the study applied to this steel company was to maximize the efficiency of reheating furnaces through the simplex method of linear programming. Materials and methods: The design of the research was applicative and experimental. Based on the theory, 14 decision variables were determined, an objective function formulated to maximize the utility to achieve the maximum economic and energy efficiency of furnaces. Also, 17 restrictions involved in the process were determined, the solution of the objective function was developed through the Solver tool, In this program all the formulas obtained through the research were loaded, which are part of our contribution as researchers. Result: the solution of the programming in Solver gave an optimal value for daily production. Then was applied changes to the process and had been monitored for 7 months, and according to the test of hypothesis made with Xlstat software, was achieved to maximize economic efficiency, which is calculated based on the utility, and for the maximization of energy efficiency was taken as reference the consumption in kWh/t., An additional contribution to research, has been added tons of production thanks to injection oxygen into the furnaces, enriching the combustion air and making new formulas for the air-oxygen and gas relations. In this work was possible to reduce the energy consumption of 374 Kwh/t. to 357 Kwh /t. where it is interpreted that it decreased the consumption of natural gas. With regard to economic efficiency was possible to increase its ratio of 1.27 to 1.45 which is interpreted that for every dollar of investment, has obtained a gain of 0.45 cents of dollar. Conclusion: the researchers concluded that the application of linear programming maximizes the efficiency of reheating furnaces.

**Key words:** Linear programming, simplex method, efficiency, production.

## **I. INTRODUCCIÓN.**

El siguiente trabajo da a conocer más a fondo la situación actual en que se encuentra la empresa en mención, identifica y aplica la mejora a una de las causas, que le genera estar en una situación de baja productividad, aplicando programación lineal a los hornos de recalentamiento del proceso productivo, para mejorar la posición actual de la empresa.

Por otra parte, esta investigación tiene como finalidad lograr el objetivo de maximizar la eficiencia de los hornos para incrementar la rentabilidad de la empresa, para lo cual es necesario identificar evaluar y aplicar los cambios en las variables que influyen en este proceso de recalentamiento, a la vez contribuir con la disminución de la creciente crisis energética, así como de las restricciones medio ambientales que existe en la actualidad.

La importancia de este proyecto de investigación tiene como fin maximizar la eficiencia económica y energética en los hornos de recalentamiento de la empresa siderúrgica del peru aplicando un modelo de programación lineal

## 1.1 Realidad problemática

Durante las últimas décadas, China viene siendo protagonista del gran incremento económico en la historia de la humanidad, jamás habíamos sido testigos que la población de un país, cambie de manera tan drástica sus condiciones de vida en un periodo tan corto de tiempo, las políticas económicas que aplicaron dieron frutos de crecimiento alcanzando con tasas anuales mayores al 10%, este crecimiento económico está basado principalmente en las exportaciones e inversiones que realizan, sin embargo estas políticas económicas han causado gran malestar en muchos países ya que las inversiones han creado una gran sobrecapacidad en las industrias, tal es el caso del acero.

En estos tiempos en los que vivimos, el acero es parte fundamental del desarrollo y crecimiento del mundo, dado que el consumo de acero está directamente relacionado con el crecimiento de un país. Una economía en crecimiento necesariamente demanda infraestructura, ya sea en construcción o en inversión industrial, sin embargo, debemos recalcar que la ralentización de las economías en el sector siderúrgico, fue uno de los más afectados. Actualmente, la producción en China aproximadamente es la mitad del acero en todo el mundo, exportando sus excedentes al resto de países, ocasionando que el precio del acero baje de manera abrupta y de esta forma quebrar industrias en todo el planeta. .

Según la Sociedad Nacional de Industrias, el Tratado de Libre Comercio entre China y el Perú abrió el mercado nacional a productos que están ingresando con precios muy por debajo incluso de los insumos que se requieren para producirlas, esto se debe a la no implantación de aranceles que afectan a la industria local. Con respecto a las importaciones de acero durante enero del 2018 los principales destinos latinoamericanos para el acero



chino (laminados + derivados) fueron: Brasil, que recibió 111 mil toneladas (27% del total de la región); Perú, 68 mil toneladas (17%); y Chile, 59 mil toneladas (14%) , según un informe difundido por Alacero donde señala a América Latina como el segundo destino favorito por China con el 9% total de sus exportaciones y en primer lugar Corea del Sur con el 13 %.

Con todos estos argumentos presentados líneas arriba podemos decir que la sobreoferta por parte de China ha llevado a colapsar el precio del acero a nivel global, afectando gravemente la industria nacional del acero. En el Perú además de la caída de los precios del acero hay que sumarle la débil presencia del mercado de la construcción en estos últimos meses, debido a la poca inversión privada y pública. Nos encontramos con un país que venía creciendo considerablemente, ello se veía reflejado en la demanda de acero; sin embargo, temas de corrupción hicieron que durante los dos últimos años la economía del país haya detenido su crecimiento económico, ello generó que las obras del país y la manufactura vea una disminución en su economía, consecuentemente el consumo de acero fue disminuyendo, empresas como Siderperú y Aceros Arequipa que son las empresas más grandes en la producción de acero en el Perú se vieran obligadas a replantear sus políticas de procesos ya que ahora tenían que competir contra gigantes exportadores de acero.

En el Perú por lo contrario al resto del mundo la demanda de acero supera a la Producción, actualmente el 87% de los productos que se ofertan en el mercado se producen en el Perú, la diferencia es importada de Asia, EE.UU. y México. Este panorama nos hace visualizar un sinfín de oportunidades, aún queda un 13% de mercado que no cubrimos y está presto a ser alcanzado, sin embargo, para el logro de este objetivo, las empresas tendrán que implementar políticas radicales de reducción de costos, si su deseo es sobrevivir ante la ola de acero importado que inunda el mercado nacional, estas políticas buscan maximizar la eficiencia y la productividad de todo el proceso industrial, buscando oportunidades de mejora a lo largo de toda la línea de producción, principalmente en el consumo de energía ya que esto representa un 30% del costo total.

Como resultado de la creciente crisis energética, así como de las restricciones medio ambientales existentes en el ámbito local la industria Siderperú, dedicada fundamentalmente a la producción de acero a partir del mineral de hierro o chatarra fundida vía hornos eléctricos, tiene el reto de contribuir a satisfacer la creciente demanda de acero de manera sustentable. Es por ello, que los trabajos encaminados a incrementar la

eficiencia energética y la protección del medio ambiente en esta industria presentan una gran importancia en la actualidad. Entre las áreas que presentan una significativa importancia en la industria Siderperu se encuentran los hornos de recalentamiento, los cuales se caracterizan por su elevado consumo de combustible y cuya función fundamental consiste en recalentar barras de acero (palanquillas), obtenidas en colada continua de la planta de acería, hasta la temperatura de laminación (aproximadamente 1200°C). Este calentamiento posibilita remover pequeños defectos superficiales de las palanquillas, así como ablandecer el acero para su transformación mecánica, en el tren de laminación en caliente, en fierro corrugado con dimensiones previamente definidas. Los dos principales índices técnicos y económicos de esta clase de hornos son la temperatura de recalentamiento y el consumo de combustible, en los que el control de calidad se encuentra directamente relacionado con los beneficios económicos. Especialmente, el control de la temperatura de recalentamiento tiene un importante significado para eliminar el fenómeno de adhesión de las palanquillas, prolongar la vida útil del horno, reducir las pérdidas de palanquillas, mejorar el rendimiento, ahorrar combustible, reducir la contaminación ambiental, eliminar posibles roturas del tren de laminación en caliente, etcétera.

Que uno de los principales procesos que surgen para la producción de acero en la empresa relacionado a la empresa Siderperú, es el proceso de laminación; este proceso se inicia con la recepción d palanquillas de 100 X 100 mm de diámetro de procedencia nacional o importada (Se toma una muestra de 5 palanquillas por lote de producción) que pueden tener una longitud entre 3800 y 5100 mm de longitud .Estas mismas son recibidas en la mesa de empuje y descarga lateral para ingresar al Horno de recalentamiento de fabricación Krupp Zack , que opera a gas natural , este horno tiene dimensiones de 7 metros de ancho, 5.1 metros de alto y 12 metros de largo, con una capacidad productiva de 25 t/h siendo su tiempo de calentamiento de 1.6 horas, luego las palanquillas salen del horno a 1180 °C. Este horno presenta dos zonas internas de calentamiento: La zona de calentamiento y la zona de igualación. El control de temperatura en las diferentes zonas se desarrolla mediante controladores centralizados y desarrollado en controladores lógicos programables (PLC), los cuales no posibilitan cumplir de forma satisfactoria con las especificaciones de respuesta temporal del sistema de control. Ello se debe al complejo comportamiento dinámico que presenta el proceso de variación de temperatura en el interior del horno (retardo de tiempo, variaciones de las dimensiones, propiedades térmicas

y grado de concentración de acero de las palanquillas, comportamiento dinámico no lineal, parámetros dinámicos variantes con el tiempo, etc. Como resultado, se obtiene un elevado tiempo de establecimiento de la temperatura en el interior del horno, lo cual conlleva a un excesivo consumo de combustible y en consecuencia a una combustión inadecuada que origina la generación de grandes cantidades de gases tóxicos como el monóxido de carbono (CO), que se genera cuando la cantidad de oxígeno es insuficiente en una combustión, también el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), junto a otros gases que contaminan el medio ambiente.

Realizado el calentamiento de la palanquilla a la temperatura de 1200 °C son evacuadas del horno por una barra deshornadora e ingresan al tren 500 conformada por 2 cajas de laminación trío de fabricación Krupp Zack , la cual está conformada por la caja 1 que está compuesta por 4 pases de laminación y la caja 2 por 3 pases de laminación es así que el tren 500 con sus 7 pases de laminación logra reducir la sección de la palanquilla de 100 X 100 mm de diámetro a un redondo de 27 X 27 mm de diámetro , posee un motor de 1 600 Kw que le permite una velocidad de salida de material de 3,3 m/s, secuencialmente la barra ingresa al canalón y es transferida por rodillos prensores hacia las cizallas despuntadoras 14 y 15 (Aquí se toman las muestras del producto semi terminado que es un redondo de diámetro 25 X 25mm) Para luego ingresar al tren 330 ,que está conformada por 8 cajas dúos de fabricación Krupp Zack con una velocidad desde 6,5 m/s hasta 9 m/s y un motor de 800 kW de potencia , en esta etapa se cuenta con un tren continuo donde la barra es laminada y reducida de diámetro secuencialmente mediante una serie de pases de laminación que se realizan en las cajas de laminación mencionadas. Seguidamente pasa por las cizallas de corte caliente 51 y 52 donde se realizan los cortes simultáneamente de 64 metros de longitud, para ser enviadas hacia la mesa de enfriamiento galopante. Las varillas son transferidas hacia la cizalla de corte en frío de 200 Ton. Para ser cortadas en longitudes estándar de 9 metros y finalmente ser contadas y se obtiene un paquete de 2 Ton. que luego son embaladas para finalmente ser enviadas en la grúa puente L11 hacia el área de logística.

Según los datos estadísticos de la producción de la planta de laminación largos (2017), reflejan que los índices de producción se han estancado en una conformidad, en donde se lamina 68 palanquillas por cada hora. La empresa años atrás ha realizado mejoras en su proceso, estabilizándolo, pero hoy en día los criterios de la empresa es buscar mejoras en

los procesos productivos aprovechando los propios recursos con que se cuenta, es por ello que se busca realizar mejoras en procesos a bajo costo. Basándonos en los datos estadísticos según los reportes de producción que se han realizado en el proceso productivo de la planta de laminación largos se ha encontrado que el hornos de recalentamiento está presentando un ritmo de evacuación de barras limitadas presentándose como un cuello de botella del proceso de laminación, debido a su tiempo prolongado de calentamiento, mientras tanto los ajustes de los tiempos posteriores, no permite que la producción pueda aumentar teniendo en cuenta este tiempo prolongado, la velocidad de la capacidad productiva de 28 T/h. realizar ajustes al proceso de calentamiento que se generan en estos hornos maximizaríamos su eficiencia económica, ello traería consigo disminuir el ciclo de producción de los hornos de recalentamiento e incrementaría producción.

En la planta de laminación largos el calentamiento de la palanquilla se realiza en hornos, comúnmente llamados hornos de recalentamiento y su objeto es el calentamiento adecuado de la palanquilla según estándares de calentamiento, para luego ser utilizados en los procesos de laminación, en estos hornos se mantiene la contextura de las palanquilla durante el tiempo de calentamiento, donde solo se ablanda térmicamente la barra para que sea fácilmente moldeable en la laminación. Este horno ha pasado por varias reformas en el año 1998 se realizó la ampliación de 20 T/h a 25 T/h, luego el 2011 se cambió el sistema de combustión, cambiando el Petróleo bunker por Gas natural, y modernizando todo el sistema de combustión del horno, el 2013 se realizó la automatización del sistema de enhornamiento y deshornamiento convirtiendo este horno de diseño antiguo a un diseño moderno y automatizado, la necesidad actual es maximizar la eficiencia económica en este horno.

El 28 de noviembre de 2008, Siderperú decidió apagar el alto horno, por competitividad productiva no era muy rentable para la empresa producir vía alto horno, desde esa fecha, muchas operaciones se cancelaron y cerraron algunas plantas como: la planta de sinterización, hierro esponja, gas de carbón, productos planos, galvanizado, coladas continuas 1 y 2 de las palanquillas y los convertidores LD1 - LD2 de aceros líquidos. Algunas de estas plantas eran grandes consumidores de Oxígeno puro, usado para la fundición de la materia prima, durante el tiempo que estas plantas estuvieron en funcionamiento el consumo de oxígeno estaba entre 300 a 400 T/día, hoy en día a disminuido más del 50 %, según los reportes mensuales emitidos por la empresa.

Siderperú actualmente presenta una coyuntura en el cual tenemos oxígeno libre, debido a un contrato Take or Pay con la empresa Messer, quien es la encargada de suministrar el oxígeno necesario para el proceso productivo. Esto quiere decir que pagamos por una cantidad de O<sub>2</sub> mayor con respecto a lo consumido. Debido a que tenemos oxígeno a costo cero se presenta como una alternativa para poder buscar la mejor eficiencia en los hornos de recalentamiento siendo este una de las variables que influyen en la combustión sería una gran oportunidad encontrar las herramientas que nos permitan aplicar una mejora para esta problemática y así mejorar la eficiencia en los hornos de recalentamiento. Una de las técnicas es la programación lineal a través de la obtención de un modelo matemático que nos permitan tener muy buena relación aire oxígeno y combustión, disminuyendo nuestras pérdidas de calor generadas por refractario dañado y teniendo un mejor control de nuestras restricciones.

Los hornos de recalentamiento son controlados mensualmente por su energía de recalentamiento este es un costo directo para la empresa el consumir mayor cantidad de gas natural sin obtener la producción necesaria que permita sustentas este consumo es una gran problemática que actualmente tiene el área de laminación largos. Otra condición presentada por los hornos de recalentamiento es la temperatura de las palanquillas que ingresan al horno pues al ingresar a temperatura ambiente, consume mucha más energía, el precalentar la carga antes de ingresar al horno traería como consecuencia la disminución del consumo de gas Natural y consigo la eficiencia del horno, es aquí que se presenta otra problemática al ser un horno de diseño antiguo no fue diseñado para soportar carga caliente en su sistema de enhornamiento.

Aprovechando los recursos propios de la empresa tenemos que la planta de acería realiza la transformación del acero líquido a palanquilla y la evacua a una temperatura de 1000°C esta palanquilla si se traslada en forma directa desde la colada continua hacia los hornos de recalentamiento maximizaría la eficiencia del horno, consigo la disminución del consumo de gas natural, para ello es necesario la transformación de sus equipos mecánicos y eléctricos que influyen en el sistema de enhornamiento, estos equipos fueron diseñados para trabajar a temperatura ambiente y trayendo carga caliente afectaría los equipos como son la mesa de carguío los rodillos de entrada al horno y el sistema de empuje, debido a que estos sistemas trabajan con lubricación de grasa se echaría a perder produciendo el

deterioro del equipo. Los controles de estas nuevas restricciones contribuirían al mejoramiento en la eficiencia de los hornos de recalentamiento.

Debido a la problemática antes expuesta la empresa Siderperú, requiere aumentar su competitividad en el mercado e incrementar sus beneficios, que se muestra como una oportunidad de poder encontrar la manera de aumentar la eficiencia en los hornos de recalentamiento, aplicando la Programación lineal podemos evaluar las variables de tal manera que podamos aumentar la eficiencia de los hornos y de esta manera aumentar la producción y aumentar los beneficios de la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote Perú.

## 1.2 Trabajos previos

A continuación, se presentan acontecimientos internacionales y nacionales que dan a conocer la solidez de la investigación que se está realizando.

### 1.2.1 Variable independiente: Programación lineal.

#### 1.2.1.1 Internacionales.

Según HERRERA, *et al.* (2013), tiene como objetivo decidir por una concentración de oxígeno que asegure la razonabilidad financiera del procedimiento sin influir en los requisitos de la calidad, empleo el software ansys fluent como instrumento para prever la conducta del sistema térmico y construir enfoques de trabajo con varios niveles de enriquecimiento del aire. El modelo de ratio finito y Disipación de remolinos se utilizó para la combustión, mientras que los modelos k

-  $\epsilon$  Realizable y ordenes discretas se utilizaron para la recreación de flujo turbulenta y radiación. Como resultado demostraron que un nivel de mejora cercano al 31% de oxígeno en el aire permite alcanzar las temperaturas de disolución de la frita a más de 1 700 K, por lo que se logra una disminución en la utilización actual de oxígeno de alta pureza sin

influir la producción ni la calidad, el autor concluye que este software fue de mucha ayuda para la realización de su tesis.

En su tesis utilizaron un modelo matemático para lograr mejorar la combustión con enriquecimiento de oxígeno es de gran aporte al proyecto pues tiene similitud nuestro proyecto que tiene por tema programación lineal y eficiencia.

Según GUÉDEZ, (2013), Tiene como objetivo principal mostrar la adaptación de las técnicas para resolver problemas del ámbito del Ingeniero Industrial , dando como resultado la identificación de modelos en el campo de competencias del Ingeniero Industrial. Realizando la conclusión de que, en algunos casos debido a las características y situaciones de problemas de tomas de decisiones, se requiere tomar el problema bajo un enfoque jerárquico de varias fases y/o el uso +- de técnicas heurísticas y metaheurísticas con las cuales no siempre se logra obtener una solución inmejorable, pero si mejorar el desempeño computacional del modelo .

En este artículo científico nos refiere que la programación lineal es una herramienta determinista y nos permite evaluar en qué escenario aplicaremos la programación lineal.

Según CANSECO, *et al.* (2016), para optimizar la contribución de cursos a grupos en un conjunto de periodos de tiempo con determinados requerimientos . se analizan tres grupos de la especialidad de Laboratorista químico ofrecida por la institución , como resultado lograron diseñar un modelo de programación matemática que fue resuelto mediante la técnica de ramificación .

Este artículo cuenta con la metodología que seleccionamos como referencia por la similitud de nuestro proyecto.

Según CÁCERES, *et al.* (2015), tiene como objetivo desarrollar un plan de requerimiento de materiales en una empresa de montaje de carrocerías sobre chasis, aplicando un modelo de programación entera mixta implementado en Lingo . Como resultado lograron determinar el momento más adecuado y la predicción de las cantidades indicadas de artículos necesarios en dicho proceso .

Este artículo a través de la programación lineal logra minimizar costos es una alternativa para la solución de nuestro proyecto.

Según SUAREZ (2016), tiene como objetivo determinar qué tipo de vivienda se debe construir para alcanzar el beneficio máximo de una empresa aplicando la a programación lineal porque le permite tomar decisiones eficaces para su desarrollo. Investigo conceptos importantes y comunes que se deben saber a la hora de resolver un ejercicio por medio de este tipo. Como resultado logro resolver el problema planteado, en donde el tipo de vivienda que se debe construir para alcanzar el máximo beneficio es 25 casas de tipo (A) y 0 de tipo (B). Para alcanzar una maximización de \$875.000 dólares de ganancias.

Esta esta tesis a través de la programación lineal logro maximizar la utilidad la cual sirve de gran aporte para nuestro proyecto en la maximización de eficiencia.

Según ARENAS (2016), para el desarrollo de un modelo matemático se plantea métodos cuantitativos y teóricos con el fin de elegir las cantidades y periodos de fabricación de los diferentes productos, también se realizó un estudio de tiempos para obtener información de producción y comportamiento de los distintos productos permitiéndole realizar el cálculo matemático de las variables y parámetros requeridos para el modelo matemático , obteniendo como resultado la reducción de costos de producción e incremento de la fabricación. La reducción de costos la producción por medio de la programación lineal es una guía para la toma de decisión de nuestro proyecto.”

Según ROSERO y FIERRO (2017), para adaptar un modelo de programación lineal en un plan de requerimiento de materiales aplicado dentro de la mediana industria del sector productivo de calzado , utilizando varias técnicas de Ingeniería Industrial realizó una planeación adecuada a las necesidades de la empresa. Dando como resultado el pronóstico de la demanda para el año 2017, mediante el método de regresión lineal con datos estacionales, obteniendo una demanda de 87,983 pares de calzado con una desviación



estándar de 1607 pares, esto para el horizonte de planeación establecido. Donde el autor concluye que, para trabajo de pronósticos, se debe usar por lo menos con tres o cuatro periodos anteriores para que sea lo más cercano posible a la realidad, pero si se trabaja con más de esos periodos se debe tener cuidado ya que se puede caer en mayor grado de incertidumbre y error del pronóstico.

Mediante la programación lineal de esta tesis logramos encontrar variables que dan sustento a nuestro proyecto.

Según DE LA CRUZ (2017), para medir la influencia de la optimización de la producción de derivados lácteos para aumentar las ventas. Obteniendo como resultado ocho variables de decisión, que corresponden a cada uno de los derivados lácteos que la empresa produce, por ende, planteó las restricciones de demanda para cada producto, las restricciones de la cantidad de leche disponible, las restricciones de los insumos y finalmente la restricción del presupuesto semestral asignado. Tomamos esta tesis como referencia en las elecciones de restricciones por tener similitud con nuestro proyecto.

### 1.2.1.2 Nacionales.

Según DÍAZ DE LAS CASAS (2014), desarrollo un modelo de programación lineal que permite obtener el menor desperdicio en el rollo de película, por lo cual realizó muchas series de evaluaciones y modificaciones, utilizando métodos simples, dando como resultado la obtención de una solución factible que permitió optimizar el consumo de los materiales para la producción.

En esta tesis a través de la programación lineal logro disminuir desperdicios generados siendo una buena alternativa para la solución de nuestro proyecto.

Según COLLADO (2017), tuvo como objetivo conseguir el máximo rendimiento a menor costo de la carga metálica que se introduce en el horno aplicando la programación lineal empleo un modelo matemático. Los resultados obtenidos por el programa de computadora Tora demuestran que costo total mínimo de la carga metálica es de 1 161 0296 nuevos soles por tonelada y la materia prima que se carga al horno es  $X(1) = 29,90\%$ ,  $X(4) = 30\%$ ,  $X5 = 0,10\%$ ,  $X7 = 10\%$ ,  $X(9) = 27,70\%$  y  $X(10) = 2,30\%$ ; el autor concluye que la optimización de la carga en un horno de cubilote, se basa en el empleo de un modelo en el que se imponen las condiciones de mezcla, abastecimiento de los materiales de carga, calidad y cantidad de la fundición a ser elaborada.

Tomamos esta tesis como referencia por tener similitud con nuestro proyecto. En la aplicación del método simplex de la programación lineal para maximizar.

Según CAMPOS y RICRA (2017), tuvo como objetivo la aplicación de técnicas de programación lineal mediante SOLVER ® con el fin de asegurar un óptimo desempeño del ciclo de carguío-acarreo del mineral lo cual significa un flujo más dinámico y productivo de mineral hacia los sistemas de chancado, obteniendo como resultados más importantes ahorros operativos del orden de \$18 533 en los procesos de carguío-acarreo de mineral de la mina Lagunas Norte, finalmente concluye afirmando que la Programación Lineal propone métodos específicos para avanzar hacia temas empresariales, explotando los avances actuales de la informática, ofreciendo ayuda asombrosa al momento de valorar los sistemas de cambio de una organización ofreciendo un plan para lograr el resultado ideal (más o menos) óptimo, demostrando la utilización de cada recurso limitante en el plan óptimo.

En esta tesis a través de la programación lineal utiliza el programa Solver para optimizar, siendo una buena alternativa para la solución de nuestro proyecto.

Según MONJA y SEDAN (2016), tiene como objetivo aplicar la programación lineal para elaborar un plan y programa de producción de azúcar para mejorar la productividad en el área de elaboración de la Empresa Agroindustrial Pomalca utilizando las técnicas como: entrevistas, recolección de datos históricos, guías de análisis de documentos y graficas de dispersión. Contando con la ayuda de un software basado en Windows llamado TORA, creado esencialmente para darle solución a problemas de programación lineal (PL) de forma sencilla y muy rápida. Como resultado logro minimizar los costos de la cantidad de horas por turno de trabajo sin afectar la producción. El autor concluye que la programación lineal aplicándolo en la planeación de una línea de producción minimiza costos de producción siendo esta un gran beneficio para la empresa. En esta tesis utilizó la programación lineal y el software tora para mejorar productividad esta es una buena alternativa para la solución de nuestro proyecto.

Según POLO (2014), para diseñar modelos de programación lineal, comprobar los efectos del modelo e identificar el nivel de los recursos a utilizar en la programación lineal para mejorar el proceso de homogeneización de la harina de pescado. Obtuvo como resultado datos y gráficos propios de la estadística que fueron plasmados y procesados inicialmente con el software Microsoft Excel 2013. Donde el autor concluye que gracias a la utilización del software pudo resolver los datos obtenidos para optimizar la homogeneización.

En esta tesis es una referencia para nuestro proyecto pues tiene como variable la programación lineal y utiliza del software Winqsb como solucionario.

## 1.2.2 Variable dependiente: Eficiencia

### 1.2.2.1 Internacionales

Según AVELLÓN (2015); para evaluar la eficiencia técnica y la determinación del cambio productivo en la administración tributaria, se debe aplicar la observación “empírica”, Con este objetivo es adquirir datos relativos sobre las administraciones tributarias, comparar los resultados obtenidos en la investigación de eficiencia de las Administraciones Tributarias Autónomas, adicionalmente esto podría impulsar la expansión externa y la agresividad entre las Administraciones; mejorar su eficacia y rentabilidad.

En esta tesis la medición de la eficiencia es una de sus herramientas que servirá como sustento de nuestro proyecto.

Según ROMITO, Luis (2015), obtuvo como resultado la obtención de datos esenciales y casos viables a la mejora de la eficiencia energética en la Industria Vitivinícola Argentina, que se hace accesible a la industria vinícola local. Concluye que la Industria Vitivinícola Argentina tiene un potencial esencial para mejorar su eficiencia energética, a lo largo de toda la cadena de creación, que puede mejorar su agresividad y compatibilidad en el mediano o largo plazo .

Esta tesis tiene como variable eficiencia la cual tomamos como referencia para encontrar las dimensiones para nuestro proyecto.

### 1.2.2.2 Nacionales

Según VEGA (2014), para proponer recomendaciones de fondos de inversión concebibles y el mejoramiento de su eficiencia, se debe realizar una investigación en el proceso de combustión, a fin de decidir consumo de energía, las pérdidas y eficiencia. Para esto, la información de la Sala de Control de la planta de refinación y del Laboratorio de Hidrocarburos de la refinería se reunió todos los datos importantes de la Unidad de Operaciones, teniendo en cuenta clasificar y decidir a través las ecuaciones de conservación de materia y energía el rendimiento del viii horno y su combustión, reconociendo sus problemas fundamentales y proponiendo un plan de ahorros, que permitió a la Refinería de

IQUITOS mejorar esencialmente el calentamiento del crudo para refinación. Para lograr los fondos de inversión, se evaluó la eficiencia del horno, que fue de 74,6% en total, y 9 381 barriles de petróleo crudo todos los días, con una utilización de 94.5 barriles de gasolina y 8,9 barriles de gas, información tomada entre el 1 y el 13 de junio. Con estos datos se tuvo como objetivo de aumentar esta eficiencia energética, se generó el mantenimiento de rutina y paralelamente se completó el análisis y la simplificación del procedimiento de combustión, mejorando el combustible de gasolina utilizando el solvente de petróleo refinado como sustancia añadida (kerosene), se evaluó la abundancia de aire obteniendo un punto ideal en las proximidades de 28 y 29% de aire, además, la utilización del gas combustible se redujo a 0 barriles. Con cada uno de estos parámetros satisfactorios, se ha obtenido para aumentar la eficiencia, según la información decidida entre el 17 y el 29 de junio, considerando 79,9% de alta productividad con una suma de 9,526 barriles de petróleo crudo preparado; y haciendo uso de 93,6 Barriles de gasolina y 14 barriles de kerosene.

Según MEJIA (2013), Se crea un enfoque a la luz de las recomendaciones de análisis, y cambios para lograr mejoras en los indicadores de eficiencia. En la investigación, se distinguió que los principales problemas en el mapa de flujo delimitan el desorden en la zona, un alto tiempo de búsqueda de instrumentos y tiempos de parada de la máquina. Esa es la razón por la que se propone ejecutar instrumentos de manufactura esbelta como respuesta a estos problemas, siendo estas el uso del sistema 5s acompañada del mantenimiento autónomo y el smed (por el acrónimo en inglés de single minute exchange of die). El uso correcto de estas herramientas logra resultados en los tres indicadores que incluyen el OEE. Siendo sus resultados el incremento de la disponibilidad de las máquinas en 25%, causada por la disminución del tiempo de configuración y el tiempo de reparación de las máquinas. Otro indicador que afectó el beneficio es la ejecución del artículo de líneas de ropa, que se expande en un 2% debido a la expansión en el tiempo bruto de producción, la tasa de calidad tuvo un desarrollo de 4,3% como resultado de la disminución de artículos imperfectos. Estos tres indicadores logran una expansión de OEE de 34,92% .

Tomamos esta tesis como referencia por tener la eficiencia como variable la cual cumple con la similitud de nuestro proyecto.

Según MARÍÑOS, *et al.* (2016), tuvo como objetivo principal el ahorro de combustible en los hornos de recalentamiento de la industria siderúrgica por precalentamiento del aire de combustión y/o enriquecimiento con oxígeno, así como por el precalentamiento de la carga. Los parámetros más importantes en el funcionamiento de hornos de recalentamiento son identificados realizando una revisión bibliográfica enfocándose en los libros de texto de combustión y de hornos en general, y en los artículos científicos experimentales publicados en periódicos internacionales. Obteniendo como resultado que al incrementar la concentración de oxígeno en el aire de combustión, además de aumentar la temperatura de la llama, aumentan también las tasas de transferencia de calor y la eficiencia del proceso de combustión dentro de los hornos de recalentamiento.

Este artículo científico da sustento a nuestro proyecto se asemeja a uno de nuestros objetivos que es maximizar la eficiencia.

### 1.3 Teorías relacionadas al tema.

En el presente trabajo de investigación se tiene en cuenta conceptos fundamentales, básicos y nociones para el desarrollo técnico, el mismo que se detalla a continuación.

#### 1.3.1 Proceso de calentamiento de las palanquillas en horno de recalentamiento de la planta de laminación largos.

Según los objetivos del trabajo de investigación, se debe realizar un estudio del área del proceso de calentamiento en un horno de recalentamiento.

Los hornos de recalentamiento del área de laminación largos tienen como objetivo lograr un calentamiento uniforme de la palanquilla, bajo estándares de calentamiento establecidas por el área, con la finalidad de tener una óptima laminación y que el producto (fierro corrugado) cumpla con la calidad establecida. Así mismo otro objetivo es conseguir su máxima productividad llevando a este horno a la mayor eficiencia posible, con un bajo consumo de gas natural y minimizando pérdidas de cascarilla de la palanquilla por oxidación.

Según los estándares Siderperu (2010) al horno ingresa el material suministrado que es la palanquilla, poseen una dimensión transversal cuadrada de 100x100 mm y de longitudes variables entre 4,300 y 4,500 mm las cuales llegan al parque de palanquillas por coladas o lotes.

Este material cumple con las Norma Técnica de Peruana NTP 341,031 barras de acero al carbono para refuerzo de concreto armado y especificaciones de estándares ASTM A-615 / A 615M, este acero se emplea para la obtención de fierro corrugado de distintos diámetros de fabricación, siendo estos de 1/2", 3/4", 5/8", 1 3/4", 12mm. INACAL, (2015).

Los hornos reciben las palanquillas por coladas en plataformas y pueden ser desde la planta de acería o palanquillas importadas estas normalmente ingresan a temperatura ambiente de 29 a 32 °C. Antes de ser cargadas al horno las coladas vinientes son registradas al software llamado nivel II, de diseño de la empresa española Ingener. Una grúa puente traslada estas palanquilla identificadas por colada y es colocaba en la mesa de carguío del horno, luego palanquilla por palanquilla es ingresada al horno y el software nivel II permite registra la hora de enhornamiento, a su vez la hora de deshornamiento y la hora en la que se ha deshornado completamente las palanquillas de una colada, esto para llevar un control sobre las coladas ingresadas al horno y asegurar la trazabilidad entre la planta acería y la planta de laminación



largos así mismo tener la identificación correcta del producto final (varillas de acero). Las características del lote de palanquillas ingresadas en este software son, las dimensiones de las palanquillas, composición química del material, número de la colada y el tipo de fierro corrugado que se va a laminar. Interior del horno de recalentamiento, los hornos de recalentamiento otorgan el calor necesario a las palanquillas para aumentar su temperatura a 1260°C, sin producir ninguna malformación en el material o algún cambio de estado. La temperatura desempeña un papel de gran importancia, pues vuelven más maleable a la palanquilla, facilitándolo para las operaciones de deformación por los trenes laminadores. Este horno utiliza como combustible gas natural teniendo las siguientes condiciones de llegada; Caudal: 1 210 Nm<sup>3</sup>/h; Presión llegada: 4 bar; Temperatura: Ambiente; Presión de utilización: 1 bar y su funcionamiento es normalmente continuo (opera las 24 horas/día) y su capacidad nominal esta entre 23 a 25 Tn/h. El tipo de horno que tenemos en área de laminación largos es un horno de calentamiento tipo empuje, se caracteriza porque el avance de las palanquillas se realiza mediante un sistema de empuje por dos brazos acoplados a un motorreductor. Antes de ser empujadas las piezas al horno estas se sitúan a la entrada del horno por medio de unos rodillos, confirmada la posición correcta es empujada la pieza hacia el conjunto de la carga que se encuentra dentro del horno situando una palanquilla calentada en posición para su deshornado. La mayoría de hornos cuentan con tres zonas de regulación de temperatura, precalentamiento, calentamiento e igualación.

El horno de la planta de laminación largos está dividido en dos partes para de regulación de temperatura; zona de calentamiento llamada en la planta como zona 1 y zona de igualación descrita como zona 2. Estas zonas están distribuidas por una serie de quemadores, con diferentes cantidades y diferentes caudales de alimentación de aire y gas. Zona 1 calentamiento, tiene seis quemadores frontales con una potencia instalada de 6 216 kcal/h. Zona 2 igualación. Ingener, (2010).

Tiene siete quemadores frontales con una potencia instalada de 4,068 kcal/h. Estos quemadores tienen las siguientes características: Caudal de aire = 1 147 Nm<sup>3</sup>/h; Presión de aire = 160 mm.c.a; Temperatura de aire = 400 °C; Caudal de GN = 104 Nm<sup>3</sup>/h; Presión de GN = 503 mb y Temperatura GN = 21 °C. diseñado por Ingeniería del Nervion, (2010).

Según los planos diseñados por (Nervion, 2010) el Horno de calentamiento tipo empuje Stein Et Rubaix tiene las siguientes dimensiones

Longitud total	=	14,400 mm.
Longitud Solera	=	13,950 mm.
Longitud Útil	=	12,450 mm.
Ancho Total	=	7,000 mm.
Ancho Solera	=	6,400 mm.
Ancho de entrada al horno	=	6,100 mm.

El control de la temperatura del horno es regulado automáticamente por un controlador lógico programable ubicado en un tablero que está compuesto por varios componentes electrónicos y este a su vez es monitoreado por un software de supervisión intouch en donde el operador coloca las temperaturas en una receta según sea al ritmo de laminación deseada y estén de conforme a las condiciones de operación, durante una campaña de producción.

En la parte superior del horno se cuenta con 4 termocuplas tipo S inmersas, 2 para cada zona, sus señales eléctricas son llevadas al plc y mediante, un lazo de control automático realiza la regulación de acuerdo a la temperatura que refleja las termocuplas. Obtenida estas señales el plc manda a abrir o cerrar de las válvulas de control de flujo de aire y gas natural ubicado antes del quemador, para aumentar o disminuir la temperatura esta regulación lo hace hasta que el valor medido de las termocuplas coincida con el valor seteado.

Durante la producción normal los quemadores se encuentran encendidos en su totalidad, pero en paradas prolongadas (más de 15 minutos) el horno baja los caudales de gas y aire automáticamente cerrando las válvulas de gas y aire llegando a mantener el horno a una temperatura baja que en la mayoría de casos es de 800 °C, esto con el fin de disminuir el consumo de gas natural y no sobrecalentar la palanquilla, esto gracias a que el sistema automático del horno cuenta con un nivel II en donde maneja las temperaturas de acuerdo al ritmo de laminación.

Deshornamiento de las palanquillas, Luego de permanecer las palanquillas en el horno por un tiempo determinado aproximadamente 1,6 horas a ritmo de 68 barras por hora, adquieren la temperatura deseada de acuerdo a la receta de temperaturas del horno, para poder ser laminada.

El operador del horno, evacua una palanquilla con la barra deshornadora que consiste de una barra de acero refrigerada con agua externamente y es movido por un variador de corriente alterna que controla la velocidad de un motor eléctrico para impulsar esta barra hacia el interior del horno, desplazando la palanquilla hacia el camino de rodillos siendo trasladada esta hacia el primer pase del tren de laminación. Este procedimiento lo realiza para la primera barra evacuada pues para las siguientes barras es controlada en forma automática por el ritmo de laminación.

Tabla 1: Receta de temperatura para las zonas de Calentamiento e Igualización.

Barras / hora	0	10	20	30	40	50	60	70	78	86
Calentamiento. °C	1050	1120	1130	1150	1160	1185	1205	1210	1265	1270
Igualización. °C	1140	1165	1170	1175	1180	1195	1210	1215	1240	1275

Fuente: Laminación largos Siderperu.

Tabla 2: Temperatura de calentamiento por zona.

	Calentamiento	Igualización
Consigna parada °C	880	880
Consigna Recuperación °C	1150	1150

Fuente: Laminación largos Siderperu.

“El balance de energía para cualquier sistema que experimenta alguna clase de proceso se expresa como”. CENGEL, et al.(2012, p145).

Ecuación 1: Balance de energía

$$E \text{ entrada} - E \text{ salida} = E \text{ sistema (kJ)} \dots\dots\dots [\text{EC 01}]$$

Transferencia neta de energía por calor, trabajo y masa	Cambio en las energías interna, cinética, potencial, etcétera
---	---

Para nuestro caso el balance energético se establece tomando como base la producción horaria en los hornos de recalentamiento de la empresa Siderúrgica del Perú, y el ciclo completo de una carga en los hornos. Teniendo en cuenta las horas de parada del horno para realizar un mejor balance energético.

Según TRINKS, (2007), todo balance energético es fundamental que las condiciones al final del periodo en que se hacen las mediciones sean las mismas que al comienzo.

De acuerdo a esto en nuestro horno las mediciones debemos ser suficientemente constantes para que las pequeñas variaciones que se produzcan sean despreciables.

### 1.3.2 Variable X: Programación lineal

La determinación de un problema mediante algoritmos nos proporciona reglas de cálculo las cuales aplicaremos en nuestro proyecto de tesis en forma óptima con el uso de la computadora. Encontrando un modelo matemático y no llegar a resolver el problema por reglas empíricas.

Según CHASE, Richard *et al.* (2006) dicen “La clave de las operaciones rentables consiste en aprovechar al máximo los recursos disponibles de personas, materiales, planta, equipo y dinero”.

Hoy en día, nosotros tenemos al alcance una potente herramienta en la programación lineal que nos permite hacer modelos matemáticos Algunas aplicaciones típicas son: Planeación de operaciones y ventas agregada, análisis de la productividad en la producción/servicios, planeación de los productos, rutas de los productos, programación de vehículos/cuadrillas, Control de procesos, Control de inventarios programación de la distribución, estudios para ubicar la planta y Manejo de materiales.

Referenciado de CHASE la programación lineal aplicado a nuestro proyecto es factible porque cumplimos con las condiciones básicas en el primer caso contamos con cantidad limitada de trabajadores, dinero y materiales; para el segundo término deseamos maximizar la utilidad; en tercer término, necesitamos incrementar producción mejorando los tiempos de producción como cuarto termino tenemos dos tipos de productos y como último estos tiene la relación para poder ser fraccionados.

Según HILLIER, Frederick S y LIEBERMAN, Gerald J. (2010). “La programación lineal utiliza un modelo matemático para describir el problema el adjetivo lineal significa que todas las funciones matemáticas del modelo deben ser funciones lineales”

En realidad, cualquier problema cuyo modelo matemático se ajuste al formato general del modelo de programación lineal, es un problema de programación lineal. (Por esta razón, un problema de programación lineal y su modelo se denominan con frecuencia programa lineal, o incluso sólo PL.) Aún más, se dispone de un procedimiento de solución muy eficiente llamado método simplex para resolver estos problemas lineales, incluso los de gran tamaño. Éstas son algunas razones del tremendo efecto de la programación lineal en las décadas recientes.” HILLIER (2010).

Según CHASE *et al*, (2006) la forma más conocida y trabajada del modelo de programación lineal. Su planteamiento se presenta enseguida:

Ecuación 2: Maximización y minimización.

Maximizar (minimizar)  $Z = C_1 X_1 + C_2 X_2 + C_3 X_3 + \dots + C_n X_n$

Sujeto a las restricciones de los recursos de la fórmula.

$$A_{11}X_1 + A_{12} X_2 + \dots + A_{1n} X_n \leq B_1$$

$$A_{21}X_1 + A_{22} X_2 + \dots + A_{2n} X_n \leq B_2$$

$$A_{31}X_1 + A_{32} X_2 + \dots + A_{3n} X_n \leq B_3$$

•

•

$$A_{m1}X_1 + A_{m2} X_2 + \dots + A_{mn} X_n \leq B_m \dots \dots \dots [EC 02]$$

donde  $C_n$ ,  $A_{mn}$  y  $B_m$  son constantes dadas .

Según Eppen, (2000) “Los modelos normalmente asumen partes distintivas en varios niveles de la organización, son valiosos como instrumentos de planificación estratégica, ayudan a hacer figuras, investigar alternativas, crear planes para diferentes posibilidades, aumentar la adaptabilidad y abreviar el tiempo de respuesta”.

Los modelos se utilizan la mayor parte del tiempo para adquirir decisiones recomendables. Por ejemplo, en numerosas plantas, las tareas del sistema de producción mecánica están completamente robotizadas. Tener robotizado un proceso ayuda a la creación de modelos facilitando la recopilación de información sobre las actividades. En ese punto, los jefes utilizan esta información para la actualización intermitente de su modelo en la hoja de cálculo electrónica. Posteriormente, se vuelve a revisar el modelo para extraer de ella nuevas sugerencias que ayudan a la toma de decisiones, después de lo cual ocurre la reinterpretación y ejecución de nuevas decisiones por parte de la administración.

Tipos de modelos.

Según Eppen, G. D. Investigación de Operaciones en las Ciencias Administrativa “Hay tres tipos de modelos: Modelo físico, modelo análogo y modelo simbólico; en el cual todos los conceptos están representados por variables cuantitativamente definidas y todas las relaciones tienen una representación matemática, en lugar de física o por analogía” EPPEN (2000).

Un modelo simbólico usa la ciencia matemática para hablar sobre las conexiones entre la información de interés. Un modelo simbólico necesita que su información sea cuantificable, mejor dicho, que esa concebible expresarlo numéricamente. Debido a la forma en que se utilizan variables cuantitativamente caracterizadas e interrelacionados por las ecuaciones, generalmente los modelos matemáticos se conocen como modelos numéricos, modelos cuantitativos o modelos de hojas de cálculo electrónicos.

Estos pueden manejar situaciones complejas en las que hay muchas decisiones y restricciones. La utilidad de los modelos determinísticos suele ser máxima cuando unas cuantas entradas no controladas del modelo presentan incertidumbre. En consecuencia, los modelos determinísticos se utilizan a menudo, aunque no siempre, para la toma de decisiones internas de una organización.

“los modelos probabilísticos o estocásticos, algunos elementos no se conocen con certeza.

Los modelos requieren una buena dosis de arte e imaginación, además de una pizca de conocimientos técnicos, el desarrollo de modelos cuantitativos requiere que se especifiquen las interacciones de muchas variables. Para lograr esa cuantificación, el problema debe expresarse en términos matemáticos. Se puede dividir en tres pasos el proceso de la construcción de un modelo: Estudiar el ambiente de la situación administrativa, formular una representación selectiva de la situación y construir - analizar un modelo simbólico (cuantitativo).

#### 1.3.2.1 Dimensión D1: Variable de decisión.

Según Winston, Wayne L. Investigación de Operaciones Aplicación y algoritmo. "Las variables cuyos valores están bajo nuestro control e influyen en el desempeño del sistema son las variables de decisión que maximizarán la función objetivo, estas deben describir por completo las decisiones que se tiene que tomar" WINSTON (2005).

En nuestro proyecto tenemos como variables de decisión el caudal aire o gas, presión del horno, la temperatura interna del horno, productos, etcétera, estas y otras variables son las que influyen en el sistema donde se aplicara directamente la programación lineal.

#### 1.3.2.2 Dimensión D2: Restricciones.

Según Eppen, G. D. en su libro Investigación de Operaciones en las Ciencias Administrativa

Las restricciones se presentan generalmente en dos formas: limitaciones y requerimientos. Las restricciones pueden subdividirse aún más para reflejar las limitaciones y requerimientos físicos, las limitaciones y requerimientos económicos y las limitaciones y exigencias de política operativa



### 1.3.2.3 Dimensión D3: Función Objetivo.

Cada modelo de programación lineal tiene dos características importantes: una función objetivo por maximizar o minimizar y ciertas restricciones. La función objetivo requiere desarrollar una medida cuantitativa del desempeño asociado a cada objetivo que el tomador de decisiones identifica cuando define el problema. Desarrollar una función de utilidad puede ser complejo y requerir una comparación cuidadosa de los objetivos y su importancia relativa. Una vez desarrollada la medida global de desempeño, la función objetivo expresa esta medida como una función matemática de las variables de decisión. De manera alternativa, existen métodos que contemplan al mismo tiempo y en forma explícita objetivos múltiples. EPPEN (2000, p. 68).

### 1.3.3 Variable Y: Eficiencia

En términos administrativos y de ingeniería, la eficiencia es la relación entre los resultados obtenidos (ganancias, objetivos cumplidos, productos, etc.) y los recursos utilizados (horas-hombre, capital invertido, materias primas, etc.).

Ecuación 3: Eficiencia económica

$$E.ec = \frac{\text{Ventas (ingresos)}}{\text{Costos (inversión)}} \dots\dots\dots [EC 03]$$

La eficiencia es uno de los términos más usados en termodinámica e indica que también se realiza un proceso de conversión o transferencia de energía. La eficiencia se define como la salida de energía deseada y la entrada requerida. Eficiencia térmica es el cociente del trabajo obtenido y el calor que suministra. CENGEL, *et al.* (2012, p. 50).

Ecuación 4: Eficiencia térmica

$$\eta = W / Q \dots\dots\dots [EC 04]$$

Indicadores de eficiencia en las maquinarias Es la razón porcentual que se utiliza para medir la eficiencia productiva de un equipo industrial. Esta herramienta es conocida como TTR (Tasa de Retorno Total) cuando se utiliza en centros de producción de proyectos.

#### 1.3.3.1 Dimensión Y1: Disponibilidad.

“La disponibilidad es el cociente entre el tiempo disponible para producir y el tiempo total de parada”. (CENGEL, et al. 2012).

Para calcularlo, es necesario obtener el tiempo disponible, como resta entre el tiempo total, el tiempo por paradas de mantenimiento programado y el tiempo por parada no programada. Una vez obtenido dividimos el resultado entre el tiempo total del periodo considerado.

### Ecuación 5: Disponibilidad

D = disponibilidad

TPP = Tiempo de Producción Programado.

TPR = Tiempo de Producción Real

$$D = \text{TPP} / \text{TPR} \dots \dots \dots [\text{EC } 05]$$

#### 1.3.3.2 Dimensión Y: Calidad.

“Porcentaje de producto conforme respecto a la totalidad de la producción generada”

MONTERO (2013).

### 1.4 Formulación del problema

#### 1.4.1 Problema general

¿En qué medida la aplicación de la programación lineal maximizará la eficiencia en hornos de recalentamiento, empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote, 2018?

#### 1.4.2 Problemas específicos

¿En qué medida realizar un diagnóstico situacional maximizará la eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote 2018?

¿En qué medida analizar las variables de decisión de la programación lineal afectan el funcionamiento y maximizará la eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote 2018?

¿En qué medida establecer la función objetivo de la programación lineal maximizará los niveles de eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote 2018?

¿En qué medida el determinar las restricciones de la programación lineal, maximizará

la eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote 2018?

¿En qué medida evaluar el impacto de la programación lineal maximizará los niveles de eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa Siderúrgica del Perú S.A. Chimbote 2018?

## **1.5 Justificación del estudio**

El presente proyecto es de vital importancia para la empresa ya que la aplicación de la programación lineal buscará analizar las variables que dificultan la eficiencia de los hornos de recalentamiento de la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote, y ello generará mayor eficiencia en el proceso global de la empresa, permitiéndole obtener ahorros considerables.

Finalmente lograremos que el aumento de la eficiencia de los hornos de recalentamiento, permitirá obtener ahorros considerables a la empresa así como disminuir el ciclo de producción y de esta manera aumentar su producción mensual, ello permitirá mejorar las utilidades en beneficio para la industria de Chimbote así como los beneficiarios que son los trabajadores que en ella se desempeñan.

## 1.6 Hipótesis

### 1.6.1 Hipótesis general

La aplicación de la programación lineal maximiza la eficiencia en hornos de recalentamiento, empresa siderúrgica del peru S.A.A. Chimbote, 2018.

### 1.6.2 Hipótesis específicas

El diagnóstico situacional maximiza la eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa siderúrgica del peru S.A.A. Chimbote 2018.

El análisis de las variables de la programación lineal maximiza la eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa siderúrgica del peru S.A.A. Chimbote 2018.

La función objetivo de la programación lineal maximiza la eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa siderúrgica del peru S.A.A. Chimbote 2018.

La determinación de las restricciones de la programación lineal maximiza la eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa siderúrgica del peru S.A.A. Chimbote 2018.

La evaluación del impacto de la programación lineal maximiza los niveles de eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa siderúrgica del peru. Chimbote 2018.

## 1.7 Objetivos

### 1.7.1 General

Aplicar la programación lineal para maximizar la eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa siderúrgica del peru. Chimbote 2018.

### 1.7.2 Específicos

Realizar un diagnóstico situacional para maximizar la eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa siderúrgica del peru S.A.A. Chimbote 2018.

Determinar las variables de la programación lineal para maximizar la eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa siderúrgica del peru S.A Chimbote 2018.

Establecer la función objetivo de la programación lineal para maximizar la eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa siderúrgica del peru S.A.A. Chimbote 2018.

Determinar las restricciones de la programación lineal para maximizar los niveles de eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa siderúrgica del peru S.A. Chimbote 2018.

Realizar una evaluación del impacto de la programación lineal para maximizar la eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa siderúrgica del peru S.A. Chimbote 2018.

## II. MÉTODO

### 2.1 Diseño de investigación

#### 2.1.1 Tipo de estudio.

El estudio corresponde a una investigación Pre – Experimental Aplicado, porque se hará uso de los conocimientos teóricos de la programación lineal para dar solución a la realidad problemática de la empresa en estudio.

#### 2.1.2 Diseño de investigación.

El diseño de investigación es pre experimental con pre prueba y post prueba, porque solo se tiene un solo grupo de trabajo.

G: O1 ----- X-----O2

Dónde:

G : Hornos de recalentamiento de la empresa siderúrgica del peru.

O1 : Eficiencia.

X : Aplicación de la Programación Lineal.

O2 : Eficiencia después de aplicar Programación Lineal.

Variable independiente (X): Programación Lineal.

Variable dependiente (Y): Eficiencia.

2.2 Variables, operacionalización.

2.2.1 Variable independiente (X): Programación Lineal.

VARIABLES		DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL		DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
V. Independiente (X)	PROGRAMACIÓN LINEAL	<p>Programación lineal es un procedimiento o algoritmo matemático, es una principal rama de la Investigación de Operaciones.</p> <p>Por su sencillez los modelos de Programación Lineal son utilizados para la solución de algún problema indeterminado, formulado a través de un sistema de inecuaciones lineales, optimizando la función objetivo, también lineal.</p> <p>Relacionados con varias ciencias ha permitido a empresas y organizaciones, reducir costos y aumentar rentabilidad.</p> <p>TAHA, HAMDY A.</p> <p>(INVESTIGACION DE OPERACIONES (9na edición) ISBN 978-607-32-0796-6</p>	<p>La programación lineal es un procedimiento que permite determinar las variables decisión, busca una función objetivo, incluyendo las restricciones, luego determina el modelo propuesto con un fin determinado</p> <p>(Quispe/Sanchez 2018)</p>	<b>D 1</b>	<b>DIAGNÓSTICO</b>	Pareto Pretest	Ordinal Razón
				<b>D 2</b>	<b>VARIABLES DE DECISIÓN</b>	% Variables decisión/variables totales	Razón
				<b>D 3</b>	<b>FUNCIÓN OBJETIVO</b>	$\text{Max} = \sum_{t=1}^t (Cwt X Pt + CctXCt + CdtxDt. .)$	Razón
				<b>D 4</b>	<b>RESTRICCIONES</b>	$Pt \leq nt \times Wt$ $Wt = W_{(t-1)} + C_{-t} - D_{-t} It - Ft = I_{(t-1)} - F_{(t-1)} + P_{-t} - D_{-t}$	Razón
				<b>D 5</b>	<b>EVALUACIÓN DEL IMPACTO.</b>	<p>Eficiencia inicial - eficiencia final / eficiencia inicial = % variación</p>	Razón



2.2.2 Variable dependiente (Y): Eficiencia.

VARIABLES		DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL		DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
V. Dependiente (Y)	<b>EFICIENCIA</b>	Es una razón porcentual que sirve para medir la eficiencia productiva de la maquinaria industrial, es un ratio que se utiliza para medir el rendimiento y productividad de las líneas de producción en las que la maquinaria tiene gran influencia.	La eficiencia es el resultado de la variación entre la disponibilidad, el rendimiento y la calidad de un equipo,  es el logro de un objetivo al menor costo unitario posible con el consumo mínimo de recursos	<b>d1</b>	<b>EFICIENCIA ENERGÉTICA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo de gas natural</li> <li>• Costo del gas natural</li> </ul>	Razón
		Jose Agustin Cruelles.  LA TEORÍA DE LA MEDICIÓN DEL DESPILFARRO  Año: 2010  Pg. 102  ISBN 978-84-613-5716-1.	disponibles.  (Quispe/Sanchez 2018)	<b>d2</b>	<b>EFICIENCIA ECONÓMICA</b>	Total ingresos / Total egresos	Razón

### 2.3 Población y muestra

Población de individuos.

La población estuvo establecida por todas las actividades en los hornos de recalentamiento de la empresa siderúrgica del peru.

Tabla 3: Población de individuos.

<b>POBLACIÓN POR ESTRATOS</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>%</b>
Clientes.	46	79%
Colaboradores (Operadores).	4	7%
Proveedores.	3	5%
Administrativos (Gerentes, equipo de apoyo).	5	9%
<b>TOTAL</b>	<b>58</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Muestra: La eficiencia correspondiente al 2018 de los hornos de recalentamiento de la empresa siderúrgica del peru.

Muestreo: No Probabilístico.

Población de Objetos: El total de hornos de recalentamiento en la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. (2) hornos de recalentamiento.

### 2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

En este trabajo.

Se analizará las variables que afectan el funcionamiento para maximizar la eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa siderúrgica del peru S.A Chimbote 2018, para ello se hará uso del árbol de problemas todo orientado a maximizar la eficiencia de los hornos de recalentamiento.

Se utilizará un modelo de programación lineal para maximizar la eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa siderúrgica del peru S.A. Chimbote 2018, formulará el modelo de la programación lineal empezando con la observación y análisis para definir el significado cuantitativo de las variables de decisión o controlables que se pueden representar, en símbolos como X1, X2, X3. Se continúa construyendo la función objetivo o medida de efectividad, representada por una variable (denotada con Z) cuyo valor se desea maximizar

(eficiencia). Después se debe construir las restricciones que limitan el valor óptimo que puede tomar la función objetivo, o sea, definen las soluciones admisibles o región factible del problema. Las restricciones pueden ser de una o todas las clases siguientes: Si no se debe exceder el recurso disponible, de la forma  $\leq$ ; para no menos de lo requerido, de la forma  $\geq$ ; o también para igualar el recurso especificado, de la forma  $=$ . Finalmente para condicionar las variables a valores no negativos, debido a que en la gran mayoría de los problemas los valores negativos no tienen significado físico. Los casos de excepción merecen tratamiento especial, se hará uso del software Solver.

Para el objetivo de proponer los ajustes de las variables para maximizar la eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa siderúrgica del peru S.A. Chimbote 2018, se consideran las variables ajustadas del modelo, y se procederá a determinar la inversión de dicho ajuste, evaluando finalmente la nueva eficiencia.

Gráficas. Las gráficas, incluidos conceptualmente dentro de las figuras, permitirán “mostrar la relación entre dos índices cuantitativos o entre una variable cuantitativa continua (que a menudo aparece en el eje y) y grupos de sujetos que aparecen en el eje x” (APA, 2010, p. 153). Según APA (2010), las gráficas se sitúa en una clasificación. Un gráfico es una representación bidimensional de una relación o relaciones. Exhibe gráficamente conjuntos de pares ordenados en una forma que ningún otro método puede hacerlo .

## 2.5 Validación y confiabilidad del instrumento.

Los instrumentos de recolección de datos que se van a aplicar son las entrevistas para la recolección de datos, Check List, los cuales se van a validar por juicio de expertos conocedores del tema de Programación Lineal y Eficiencia.

## 2.6 Aspectos Éticos.

Esta investigación sobre la aplicación de la programación lineal para maximizar la eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa Siderúrgica del Perú, tiene como principio fundamental los valores éticos, que se refleja durante la recolección y el procesamiento de la información donde se manifiesta la confiabilidad y transparencia. Así se certifica la autenticidad de los resultados alcanzados .

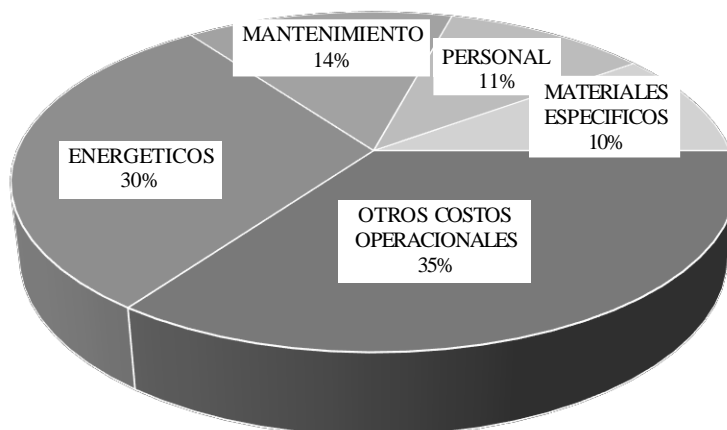
### III. RESULTADOS

#### 3.1 Programación Lineal.

##### 3.1.1 Diagnóstico.

Diagnóstico situacional de los niveles de eficiencia energética y económica.

En la actualidad en el área de laminación largos los indicadores en costos de producción tienen una tendencia al aumento mediante la recopilación de datos estadísticos basados en indicadores en costos que afectan a la línea de producción proporcionados por el área contable de la planta laminación largos de la empresa Siderúrgica del Perú del año 2017 nos muestra la siguiente gráfica 1.



Fuente: Área contable laminación largos

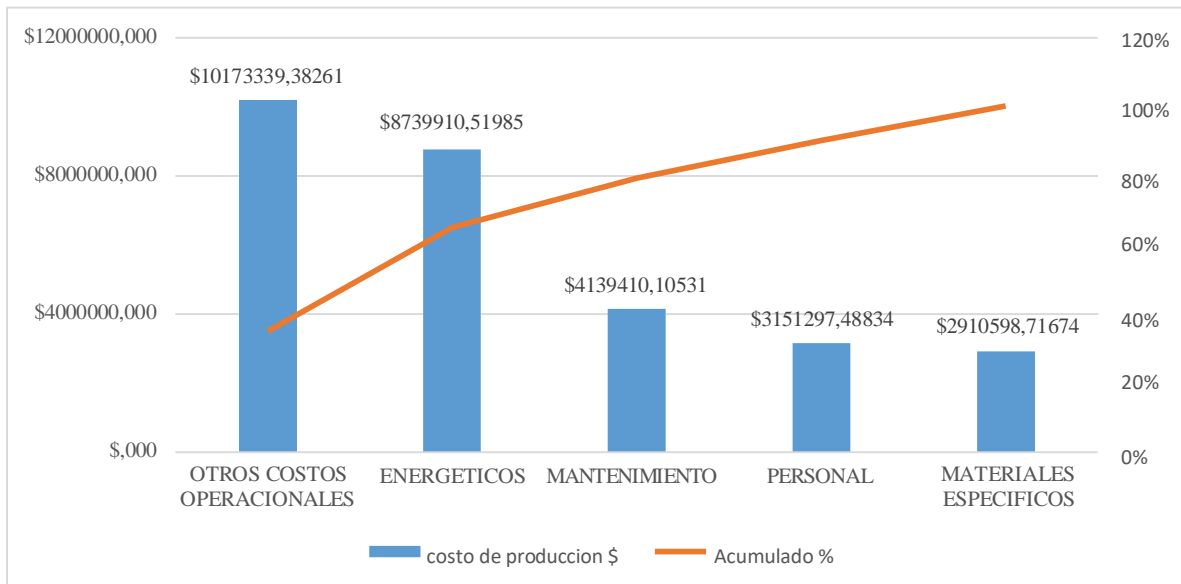
Según la gráfica mostrada, “otros costos operacionales” es el indicador con mayores gastos donde se encuentra inmerso diversos equipos externos a la producción entre estos tenemos; el alquiler de volquetes, montacargas y grúas.

Nuestro segundo indicador “costos energéticos” son los costos donde se encuentran involucrado cuatro categorías entre estas tenemos; energía eléctrica, gas natural, oxígeno y otros costos energéticos.

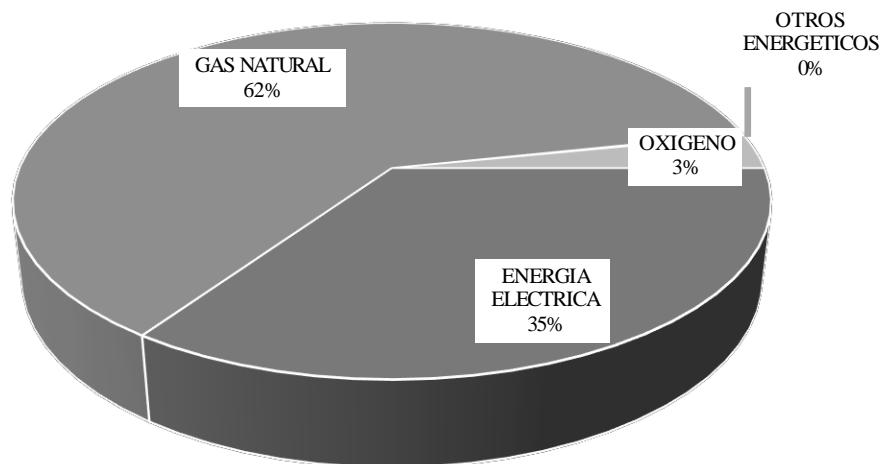
Según análisis de Pareto separamos los vitales de los triviales y nuestro problema más relevante se encuentra en los costos energéticos y otros costos operacionales mostrados en la gráfica 2.

Bajo este análisis y criterio de los investigadores analizamos los costos energéticos con el fin de identificar las variables que mantienen los costos de producción elevados. Esto se muestra en la gráfica 3.

Gráfica 2: Pareto costos operacionales enero - diciembre 2017.



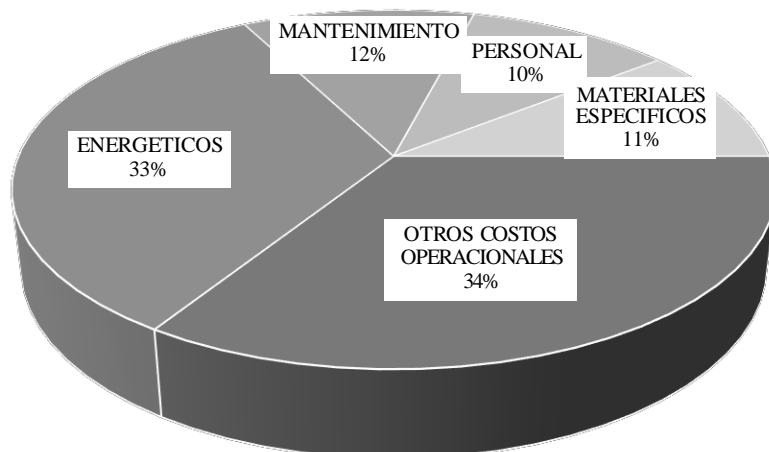
Fuente: Área contable laminación largos.



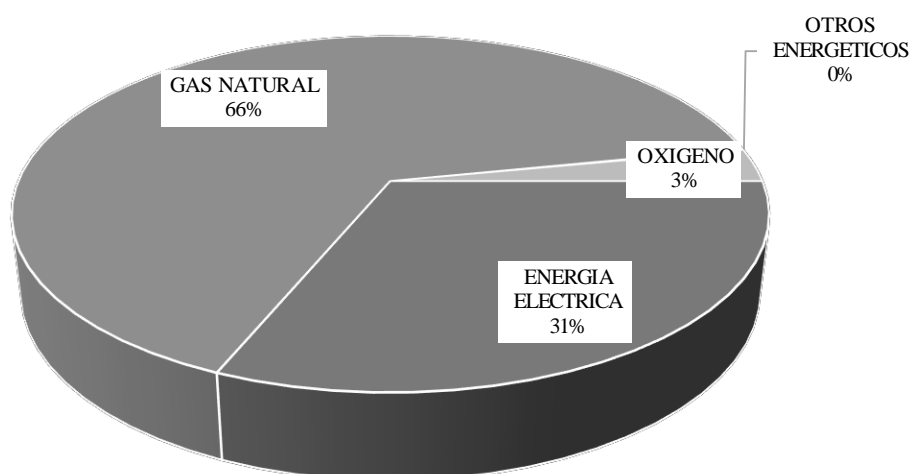
Fuente: Área contable laminación largos.

La grafica 3 data desde enero – diciembre 2017 y presenta al gas natural como el indicador con mayor porcentaje de costos energéticos.

En la planta de laminación largos existen 2 procesos que consumen este insumo, estos son los hornos de recalentamiento. Para mayor conformidad de nuestro diagnostico también se ha recopilado data desde enero a marzo del 2018. Mostradas en las gráficas 4 y 5.



Fuente: Área contable laminación largos.



Fuente: Área contable laminación largos.

Visto de una forma global la recopilación de datos sobre los costos energéticos tienen una tendencia a aumentar. Siendo los costos más altos en el área de laminación largos el consumo de gas natural .

El gas natural es un costo directo de la producción por tal motivo es el punto de partida para mejorar la eficiencia en los hornos de recalentamiento.

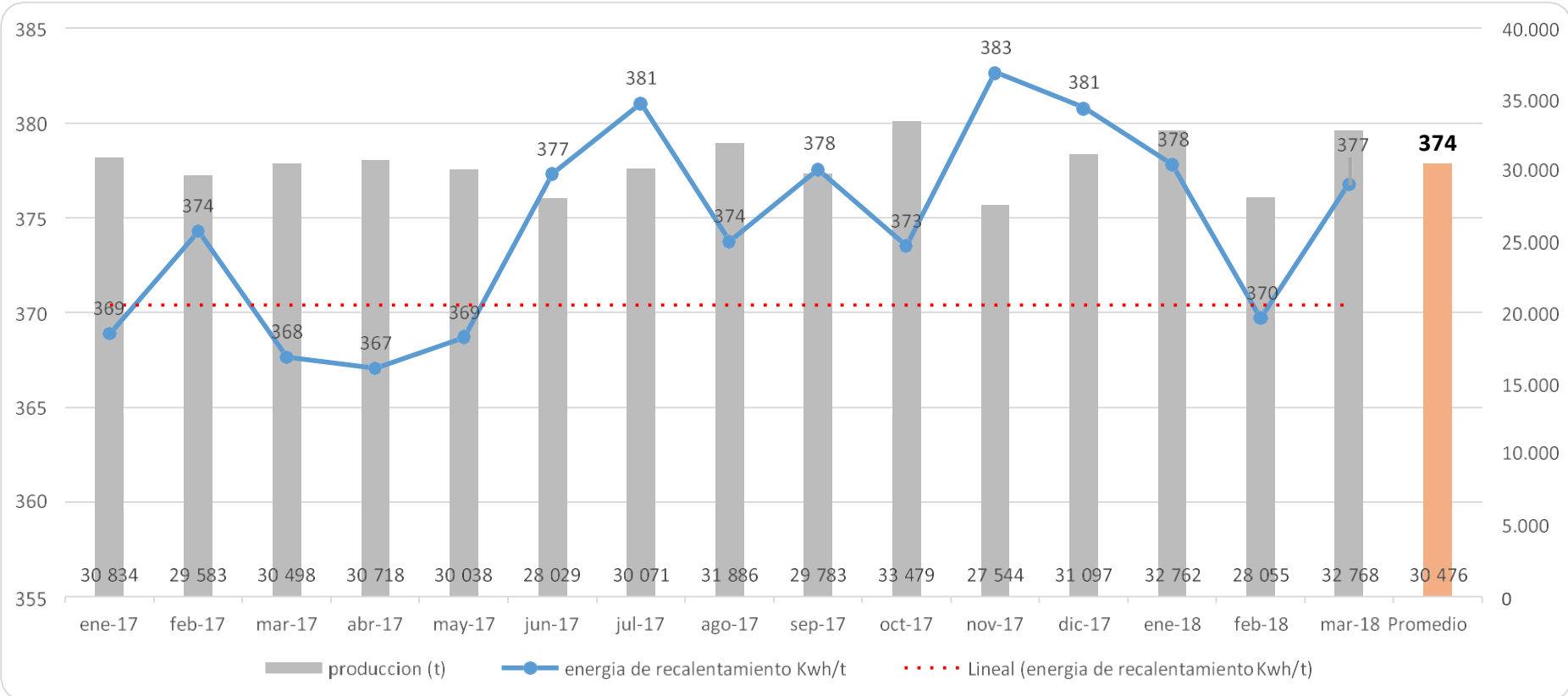
Los hornos de recalentamiento es la parte principal del proceso de laminación y trabaja las 24 horas del día. Según los indicadores de producción y la energía de recalentamiento no se está llegando a la producción de diseño del horno la cual no permite maximizar su eficiencia teniendo como resultado el aumento del consumo energético la cual mantiene relación con el costo energético.

Los datos han sido obtenidos del área contable del área de laminación largos respecto a esto, los indicadores de eficiencia energética durante el periodo de enero 2017 a marzo 2018 muestran que la energía de recalentamiento va en incremento relacionada a una producción inestable, por diversos factores, dando base a nuestro sustento, que existe una deficiencia con la energía de recalentamiento en los hornos de la planta de laminación largos. Ver grafica 6.

La eficiencia económica también de los hornos de recalentamiento durante estos mismos periodos mantiene una ratio promediado en 1,25 la cual hace referencia a que por cada dólar de inversión se ha estado ganando 0,25 centavos de dólar ver grafica 7.

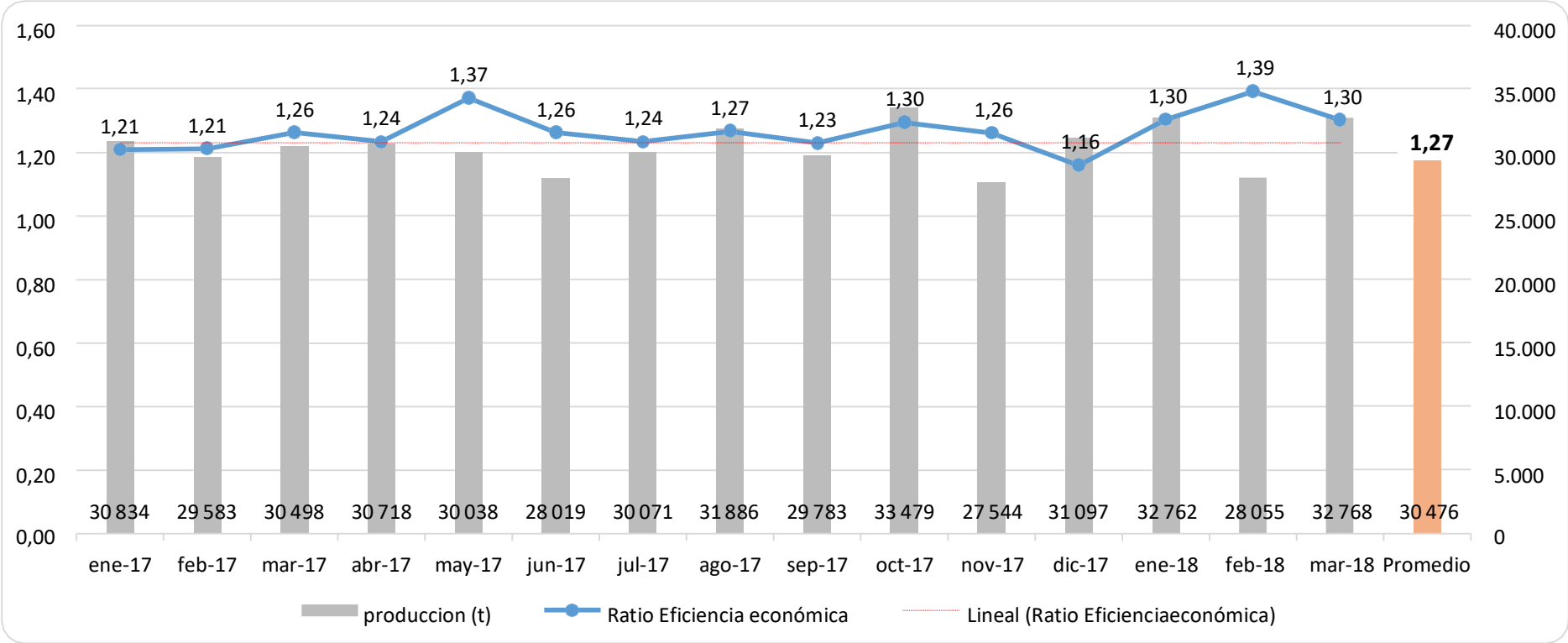


Gráfica 6: Pareto Comparativo producción - eficiencia energética enero 2017 – marzo 2018.



Fuente: Área de producción de laminación largos.

Gráfica 7: Pareto comparativo producción - eficiencia económica enero 2017 – marzo 2018.



Fuente: Área de producción de laminación largos.

### 3.1.2 Variables de decisión.

Determinar las variables de la programación lineal que afectan el funcionamiento y maximizan los niveles de eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa Siderúrgica del Perú S.A Chimbote 2018.

Las variables, para el análisis mediante programación lineal, estarán dadas por cantidad a producir en cada horno y por cada tipo de producto en toneladas; asimismo, por el incremento de la cantidad de oxígeno en m<sup>3</sup> necesario en cada horno.

En el área de laminación largos se cuenta con 2 tipos de hornos y los tipos de productos que se procesan en estos:

X1 horno 1 Tochos.

X2 horno 2 Ampliado.

1 producción de Bc. 3/8" en horno 1.

2 producción de Bc. 12 mm en horno 1.

3 producción de Bc. 1/2" en horno 1.

4 producción de Bc. 5/8" en horno 1.

5 producción de Bc. 3/4" en horno 1.

6 producción de Bc. 1" en horno 1.

7 producción adicional con incremento de oxígeno.

Con la descripción de cada horno y de cada producto se determinan las variables de decisión que serán empleadas en la programación lineal . Ver tabla 4.

Tabla 4: Variables de decisión.

Variable	Descripción de la variable
X1,1	Producción de Bc. 3/8" en horno 1.
X1,2	Producción de Bc. 12 mm en horno 1.
X1,3	Producción de Bc. 1/2" en horno 1.
X1,4	Producción de Bc. 5/8" en horno 1.
X1,5	Producción de Bc. 3/4" en horno 1.
X1,6	Producción de Bc. 1" en horno 1.
X1,7	Producción adicional por incremento de oxígeno en horno 1.
X2,1	Producción de Bc. 3/8" en horno 2.
X2,2	Producción de Bc. 12 mm en horno 2.
X2,3	Producción de Bc. 1/2" en horno 2.
X2,4	Producción de Bc. 5/8" en horno 2.
X2,5	Producción de Bc. 3/4" en horno 2.
X2,6	Producción de Bc. 1" en horno 2.
X2,7	Producción adicional por incremento de oxígeno en horno 2.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.3 Función objetivo.

Establecer la función objetivo de la programación lineal que maximiza los niveles de eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote 2018.

La función objetivo estará dada por:

#### Ecuación 6: Función objetivo

$$\begin{aligned} \text{Max} & \quad \text{Ventas} - (\text{costos indirectos} + \text{costo oxígeno} + \text{costo gas} + \text{costo aire} + \\ \text{Utilidad} & = \text{otros costos de producción}) \dots\dots\dots [\text{EC 06}] \end{aligned}$$

Fuente: Elaboración propia.

El caso de las ventas se tomará en cuenta la ecuación que sume la producción de cada tipo de producto multiplicado por el precio de ventas. Ver ecuación 7.

Los costos indirectos se calcularán en función al costo contable por cada tonelada. Ver ecuación 8.

Los costos de producción se calcularán en función al costo contable por cada tonelada producida. Ver ecuación 9.

Los costos del oxígeno se calcularon en función al costo del oxígeno por tonelada. Ver ecuación 10.

Los costos por uso de aire estuvieron linealmente relacionados al consumo de oxígeno (ecuación lineal validada mediante una prueba de ANOVA) y se calcularon en función al costo del aire por tonelada. Ver ecuación 11.

Los costos por uso de gas estuvieron linealmente relacionados al consumo de oxígeno (ecuación lineal validada mediante una prueba de ANOVA) y se calcularon en función al costo del aire por tonelada. Ver ecuación 12.

#### Ecuación 7: Ventas.

$$\begin{aligned} \text{Ventas} = & X1,1 + X1,2 + X1,3 + X1,4 + X1,5 + X1,6 + X1,7 + X2,1 + X2,2 \\ & + X2,3 + X2,4 + X2,5 + X2,6 + X2,7) * \text{precio de venta en dólares} \\ & \text{por cada tonelada ..... [EC 07]} \end{aligned}$$

Fuente: Elaboración propia.

#### Ecuación 8: Costos Indirectos.

$$\begin{aligned} \text{Costos indirectos} = & \{(X1,1 + X1,2 + X1,3 + X1,4 + X1,5 + X1,6 + X1,7) * \text{costo indirecto/tn} \\ & \text{Horno 1}\} + \{(X2,1 + X2,2 + X2,3 + X2,4 + X2,5 + X2,6 + X2,7) * \text{costo} \\ & \text{indirecto/tn horno 2}\} \text{ ..... [EC 08]} \end{aligned}$$

Fuente: Elaboración propia.

Ecuación 9: Costos de Producción.

$$\begin{aligned} \text{Costos de} & & & \{(X1,1 + X1,2 + X1,3 + X1,4 + X1,5 + X1,6+X1,7) * \text{costo producción} \\ \text{producción} & = & & / \text{tn horno 1} \} + \{(X2,1 + X2,2 + X2,3+ X2,4 + X2,5 +X2,6 + X2,7) \\ & & & * \text{costo producción/tn horno 2} \} \dots\dots\dots [\text{EC } 09] \end{aligned}$$

Fuente: Elaboración propia.

Ecuación 10: Costos de oxígeno.

$$\begin{aligned} \text{Costos de} & & & \{(X1,1 + X1,2 + X1,3 + X1,4 + X1,5 + X1,6+ X1,7) * \text{costo oxígeno por} \\ \text{oxígeno} & = & & \text{Tn horno1} \} + \{(X2,1 + X2,2 + X2,3 + X,4 + X2,5 +X2,6 + X2,7) * \text{costo} \\ & & & \text{oxígeno por Tn horno 2}\} + ( X1,7/2,56 *520 + X2,7/3,2*440)\dots [\text{EC } 10] \end{aligned}$$

Fuente: Elaboración propia.

Ecuación 11: Costos del aire.

$$\begin{aligned} \text{Costos de} & & & \{(X1,1 + X1,2 + X1,3 + X1,4 + X1,5 + X1,6+X1,7) * \text{costo aire por Tn.} \\ \text{aire} & = & & \text{horno1} \} + \{(X2.1 + X2.2 + X2.3 + X2.4 + X2.5 +X2.6+X2.7) * \text{costo} \\ & & & \text{aire por Tn. Horno2}\} \dots\dots\dots [\text{EC } 11] \end{aligned}$$

Fuente: Elaboración propia.

Ecuación 12: Costo de gas.

$$\begin{aligned} \text{Costos de} & & & \{(X1,1 + X1,2 + X1,3 + X1,4 + X1,5 + X1,6+X1,7) * \text{costo gas por Tn.} \\ \text{gas} & = & & \text{horno1} \} + \{(X2.1 + X2.2 + X2.3 + X2.4 + X2.5 +X2.6+X2.7) * \text{costo} \\ & & & \text{gas por Tn. Horno 2}\} \dots\dots\dots [\text{EC } 12] \end{aligned}$$

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.4 Restricciones.

Proponer los ajustes de las restricciones de la programación lineal que afectan el funcionamiento y maximiza la eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa Siderúrgica del Perú S.A. Chimbote 2018.

Para el cumplimiento de la función objetivo se establecieron las siguientes restricciones.

Tabla 5: Restricción.

<b>Restricciones.</b>	<b>Descripción de la restricción.</b>
$X_{1,1} + X_{1,2} = 0$	El horno 1 no produce Bc. 3/8" y Bc. 12 mm
$X_{2,4} + X_{2,5} + X_{2,6} = 0$	El horno 2 no produce Bc. 5/8", Bc. 3/4" y Bc. 1"
$X_{1,3} \leq 300$	La producción Bc. 1/2" debe ser menor a la demanda en el horno 1
$X_{1,4} \leq 350$	La producción Bc. 5/8" debe ser menor a la demanda en el horno 1
$X_{1,5} \leq 200$	La producción Bc. 3/4" debe ser menor a la demanda en el horno 1
$X_{1,6} \leq 150$	La producción Bc. 1" debe ser menor a la demanda en el horno 1
$X_{2,1} \leq 200$	La producción Bc. 3/8" debe ser menor a la demanda en el horno 2
$X_{2,2} \leq 300$	La producción Bc. 12mm debe ser menor a la demanda en el horno 2
$X_{2,3} \leq 350$	La producción Bc. 1/2" debe ser menor a la demanda en el horno 2
$X_{1,7} \geq 0$	El incremento de oxígeno debe ser mayor o igual a 0 en el horno 1
$X_{1,1} + X_{1,2} + X_{1,3} + X_{1,4} + X_{1,5} + X_{1,6} = 856$	La producción en el horno 1 debe ser igual a las 856 toneladas sin incremento del oxígeno.
$X_{2,1} + X_{2,2} + X_{2,3} + X_{2,4} + X_{2,5} + X_{2,6} = 560$	La producción en el horno 2 debe ser igual a las 560 toneladas sin incremento del oxígeno.
$X_{1,7} \leq 51$	La producción en el horno 1 debe ser menor o igual al máximo toneladas por incremento del oxígeno (51 tn)

$X_{2,7} \leq 64$	La producción en el horno 2 debe ser menor o igual al máximo toneladas por incremento del oxígeno (64 tn)
$X_{2,7} \geq 0$	El incremento de oxígeno debe ser mayor o igual a 0 en el horno 2
$X_{1,1} + X_{1,2} + X_{1,3} + X_{1,4} + X_{1,5} + X_{1,6} + X_{2,1} + X_{2,2} + X_{2,3} + X_{2,4} + X_{2,5} + X_{2,6} \geq 100$	La producción mínima requerida tiene que ser mayor a 100 toneladas.

Fuente: Elaboración propia.

Determinadas las variables de decisión conjuntamente con la función objetivo y las restricciones se procedió a cargar estas variables en un software que determine la máxima utilidad. Para ello se empleó la aplicación Solver, la cual es una de las herramientas con que cuenta el Excel.

Esta aplicación nos ha permitido resolver problemas de optimización y asignación para maximizar la eficiencia energética y económica de los hornos de recalentamiento encontrando los siguientes resultados.

El programa resuelve que el horno tocho designado como horno 1 debe tener las siguientes producciones:

Producción Bc. 1/2" = 300 Toneladas.

Producción Bc. 5/8" = 350 Toneladas.

Producción Bc. 3/4" = 106 Toneladas.

Producción Bc. 1" = 100Toneladas.

Con una producción adicional de 51 toneladas con el incremento de oxígeno.

Con esta producción se logró obtener una ratio en eficiencia económica de 1,39. Esto quiere decir que por cada dólar de inversión se obtendrá una ganancia de 0,39 centavos de dólar.

El programa resuelve para el horno ampliado designado como horno 2 debe tener las siguientes producciones:

Producción Bc. 3/8" = 200 Toneladas.

Producción Bc. 12mm. = 260 Toneladas.

Producción Bc. 1/2 " = 100 Toneladas.



Con una producción adicional de 64 toneladas con el incremento de oxígeno.

Con esta producción se logró obtener una ratio en eficiencia económica de 1,43. Esto quiere decir que por cada dólar de inversión se obtendrá una ganancia de 0,43 centavos de dólar. Ver tabla 6 y 7.

Tabla 6: Solución Programación Lineal

	Horno 1	Horno 2	
Demanda Bc. 3/8"		200	<b>200</b>
Demanda Bc. 12 mm		300	<b>300</b>
Demanda Bc. 1/2"	300	350	<b>650</b>
Demanda Bc. 5/8"	350		<b>350</b>
Demanda Bc. 3/4"	200		<b>200</b>
Demanda Bc. 1"	150		<b>150</b>
Producción Bc. 3/8"	0	200	<b>200</b>
Producción Bc. 12 mm	0	260	<b>260</b>
Producción Bc. 1/2"	300	100	<b>400</b>
Producción Bc. 5/8"	350	0	<b>350</b>
Producción Bc. 3/4"	106	0	<b>106</b>
Producción Bc. 1"	100	0	<b>100</b>
<b>Producción general</b>	<b>856</b>	<b>560</b>	<b>1416</b>
Producción adicional	51	64	<b>115,2</b>
<b>Cumplimiento demanda</b>	<b>90,72%</b>	<b>73,41%</b>	<b>82,77%</b>
Ingresos por ventas	\$ 36 288,00	\$ 24 960,00	<b>\$ 61 248,00</b>
Oxígeno mínimo en m <sup>3</sup>	12 400,00	8 800,00	<b>21 200,00</b>
<b>Incremento de oxígeno m<sup>3</sup></b>	<b>10 400,00</b>	<b>8 800,00</b>	<b>19 200</b>
Gas m <sup>3</sup>	57 937,9	27 679,4	<b>85 617,3</b>
Aire m <sup>3</sup>	383 944,1	23 7516,8	<b>62 1460,9</b>
Toneladas c/ oxígeno mínimo	856	560	<b>1416</b>
Toneladas incrementando oxígeno	51	64	<b>115,2</b>
<b>Uso de capacidad</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>
Costo indirecto	\$ 847,46	\$ 523,60	<b>\$ 1 371,06</b>
Costo oxígeno	\$ 3 783,02	\$ 2 864,16	<b>\$ 6 647,18</b>
Costo gas	\$ 12 700,80	\$ 7 363,20	<b>\$ 20 064,00</b>
Costo aire	\$ 99,79	\$ 68,64	<b>\$ 168,43</b>
Otros costos producción	\$ 8 760,92	\$ 6 620,40	<b>\$ 15381,32</b>
Total costos de producción	\$ 26 192,00	\$ 17 440,00	<b>\$ 43632,00</b>
<b>Utilidad</b>	<b>\$ 10 096,00</b>	<b>\$ 7 520,00</b>	<b>\$ 17616,00</b>
<b>Eficiencia económica</b>	<b>1,39</b>	<b>1,43</b>	<b>1,4</b>

Fuente: Herramienta de análisis de Excel Solver.

Tabla 7: Análisis de sensibilidad.

	Final	Reducido	Objetivo	Permisible	Permisible
Nombre	Valor	Coste	Coficiente	Aumentar	Reducir
Producción Bc. 3/8" Horno 1	0	0	10	0	1E+30
Producción Bc. 3/8" Horno 2	200	0	10	1E+30	0
Producción Bc. 12 mm Horno 1	0	0	10	0	1E+30
Producción Bc. 12 mm Horno 2	260	0	10	0	0
Producción Bc. 1/2" Horno 1	300	0	10	1E+30	0
Producción Bc. 1/2" Horno 2	100	0	10	0	1E+30
Producción Bc. 5/8" Horno 1	350	0	10	1E+30	0
Producción Bc. 5/8" Horno 2	0	0	10	0	1E+30
Producción Bc. 3/4" Horno 1	106	0	10	0	0
Producción Bc. 3/4" Horno 2	0	0	10	0	1E+30
Producción Bc. 1" Horno 1	100	0	10	0	1E+30
Producción Bc. 1" Horno 2	0	0	10	0	1E+30
Producción adicional Horno 1	51.2	30	30	1E+30	30
Producción adicional Horno 2	64	30	30	1E+30	30

	Final	Sombra	Restricción	Permisible	Permisible
Nombre	Valor	Precio	Lado derecho	Aumentar	Reducir
Producción general Horno 1	856	10	856	94	6
Producción general Horno 2	560	10	560	40	160

Fuente: Herramienta de análisis de Excel Solver.

### 3.1.5 Evaluación del impacto.

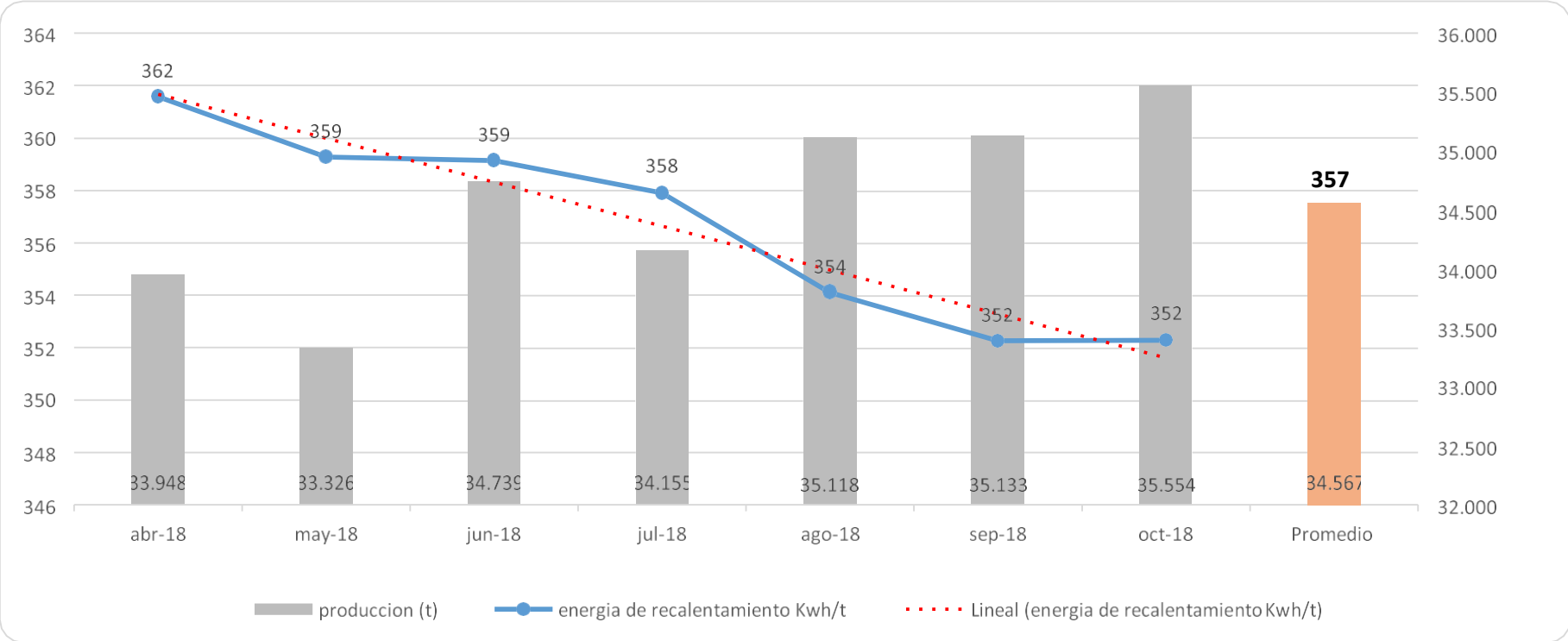
Al evaluar el impacto de la programación lineal aplicada sobre los niveles de eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa Siderúrgica del Perú S.A. Chimbote 2018. Los indicadores obtenidos luego de la aplicación de la programación lineal a los hornos de recalentamiento muestran indicadores favorables con tendencia a bajar la energía de recalentamiento. Esto trae como consecuencia disminución en el costo energético de los hornos y con ello se logra la máxima eficiencia de los mismos.

La data recopilada del área contable de la planta de laminación largos refleja que la producción ha incrementado en estos últimos 7 meses con una eficiencia energética menor a meses anteriores.

Desde los meses de abril a octubre los datos muestran una tendencia a la baja, en la eficiencia energética de 374 a 357 Kwh/t., sumado a ello, el incremento de producción por la cual podemos decir que hemos maximizado la eficiencia de los hornos de recalentamiento. Ver grafica 8.

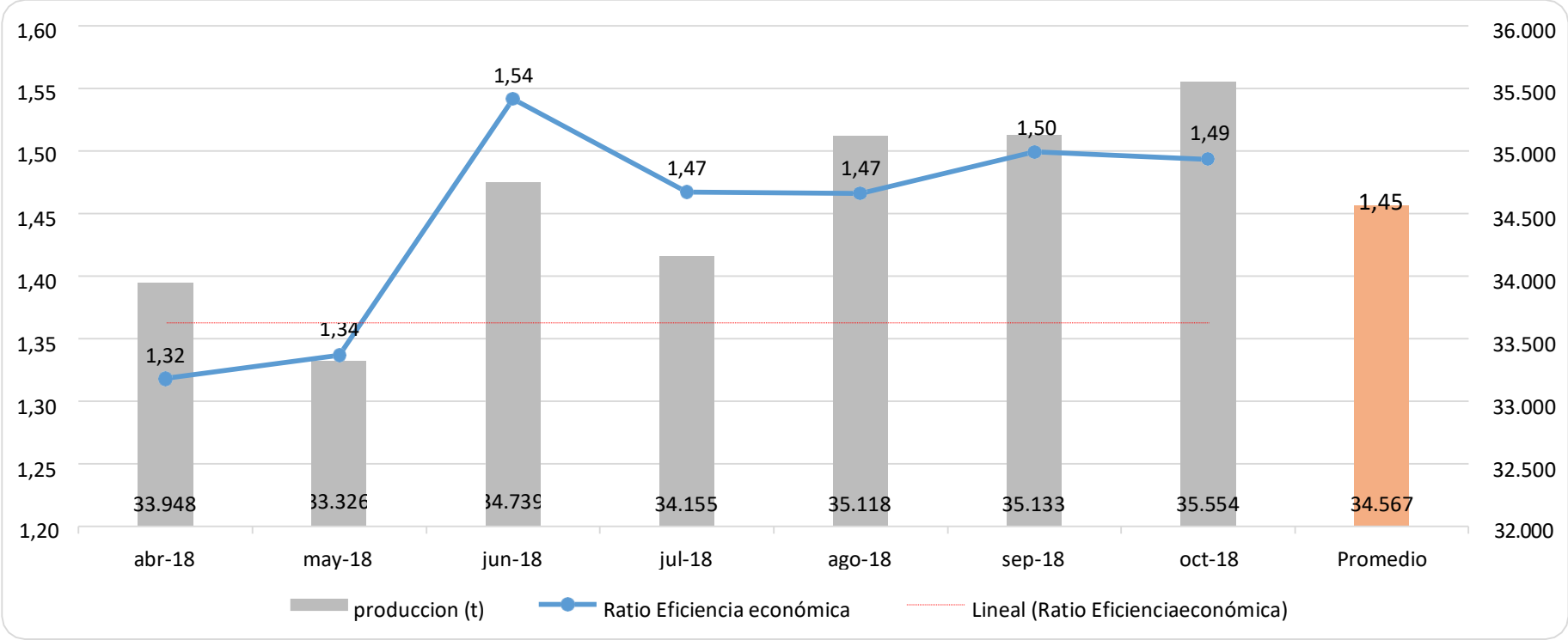
Con estos mismos datos desde abril a octubre muestran que la eficiencia económica ha incrementado en una ratio de 1,27 a 1,45 cumpliendo con el objetivo de maximizar la eficiencia económica de los hornos Ver gráfica 9.

Gráfica 8: Pareto comparativo producción - eficiencia energética abril – octubre 2018.



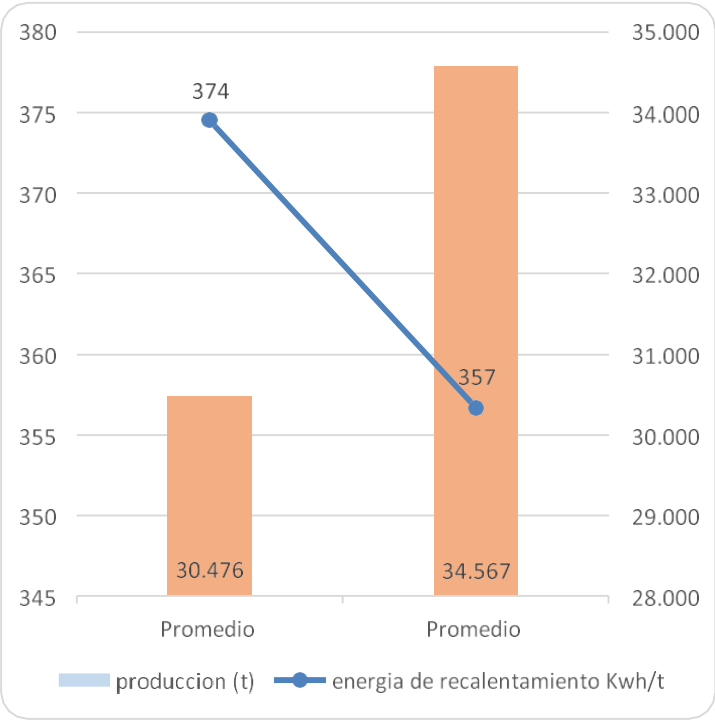
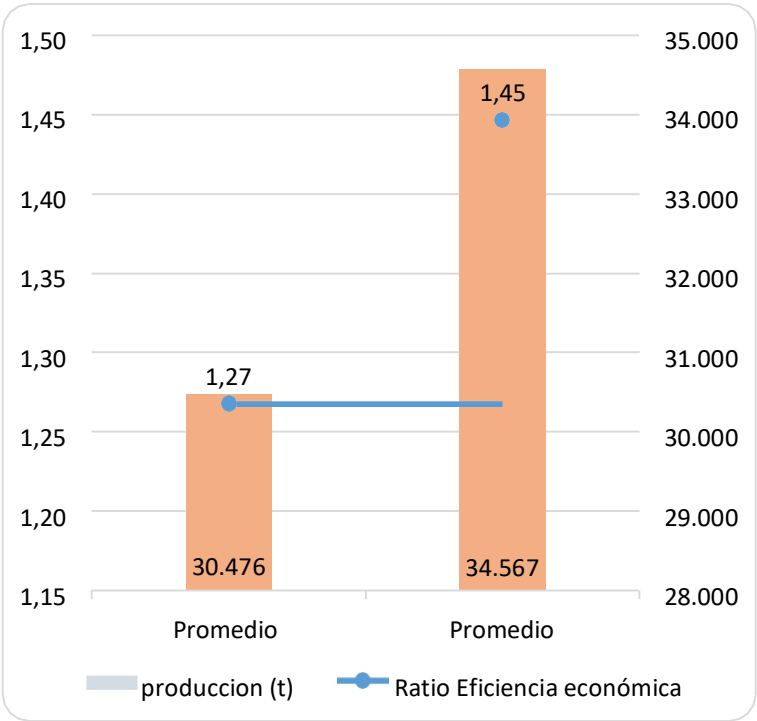
Fuente: Área de producción de laminación largos

Gráfica 9: Pareto comparativo producción - eficiencia energética abril - octubre 2018.



Fuente: Área de producción de laminación largos.

Gráfica 10: Pareto comparativo eficiencia económica - eficiencia energética abril – octubre 2018.



Fuente: Área de producción de laminación largos.

### 3.1.6 Contrastación de hipótesis.

Las dimensiones de la programación lineal cumplen el objetivo de maximizar utilidad, dando la distribución de las cantidades y productos a procesar. Aplicando esta optimización es posible extraer datos únicos mensuales, para nuestro caso montos económicos, por tal motivo, la contrastación de las hipótesis se realizará con las dimensiones de Eficiencia económica y eficiencia energética.

#### 3.1.6.1 Programación lineal - eficiencia económica.

La contrastación de hipótesis de los resultados de la eficiencia económica, se realizó con los datos del pre test y post test de la programación lineal aplicada a los hornos de recalentamiento, los datos fueron resueltos por medio del software Xlstat. Este es un software estadístico complementario de Excel.

De acuerdo a nuestra data se ha aplicado  $t$  de Student para dos muestras sobre un análisis asintótico, y como hipótesis alternativa  $H1-H0 < 0$ .

Tabla 8: Tabla estadística descriptiva eficiencia económica.

Variable	Obs.	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Típica
Eficiencia económica inicial	15	0	15	1.160	1.394	1.268	0.061
Eficiencia económica final	7	0	7	1.318	1.542	1.446	0.085

Fuente: Software estadístico Xlstat.

Prueba  $t$  para dos muestras independientes / Prueba unilateral a la izquierda:

Intervalo de confianza para la diferencia entre las medias al 95%:] -Inf ; -0,124 ]

0

Diferencia	-0.178
t (Valor observado)	-5.645
t (Valor crítico)	-1.725
GL	20
valor-p (unilateral)	< 0,0001
Alfa	0.05

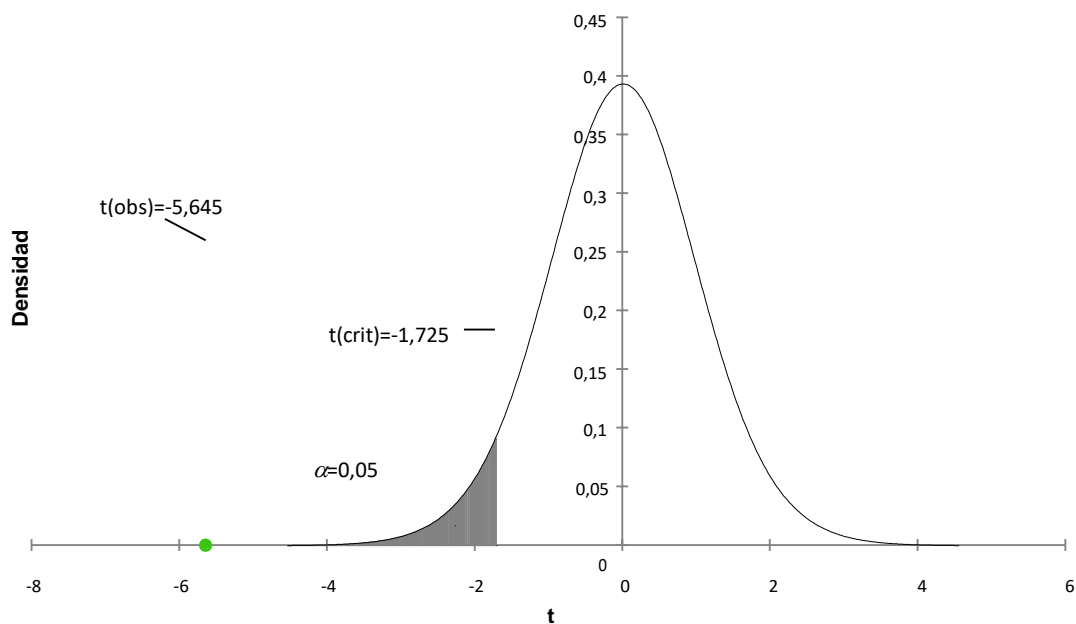
Interpretación de la prueba:

H0: La diferencia entre las medias es igual a 0.

Ha: La diferencia entre las medias es inferior a 0.

Puesto que el valor-p computado es menor que el nivel de significación  $\alpha=0,05$ , se debe rechazar la hipótesis nula H0, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.

Gráfica 11: Prueba t para dos muestras eficiencia económica/ Prueba unilateral a la izquierda



Fuente: Software estadístico Xlstat.



De forma complementaria se realizó la contratación de hipótesis mediante un método más exhaustivo que es el análisis de Montecarlo el cual evaluó 10 000 veces las muestras, esto con la intención de controlar la incertidumbre y el riesgo.

#### Interpretación de la prueba análisis de Montecarlo

Intervalo de confianza para la diferencia entre las medias al 95%:] -Inf ; -0.123 ]

Diferencia	-0.178
t (Valor observado)	-5.645
t (Valor crítico)	-1.746
GL	20
valor-p (unilateral)	<1,0000
Alfa	0.05

Se han utilizado 10000.00 simulaciones Monte Carlo para calcular el valor-p. Tiempo transcurrido: 0s

Intervalo de confianza para el valor-p al 99%:] 1.000; 1.000 [

H0: La diferencia entre las medias es igual a 0.

Ha: La diferencia entre las medias es inferior a 0.

Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación  $\alpha=0,05$ , no se puede rechazar la hipótesis nula H0.

Realizada la contrastación mediante dos tipos de análisis, el análisis estocástico demuestra que la hipótesis alternativa es aceptada y con el análisis de Montecarlo la hipótesis alternativa es rechazada. El análisis Montecarlo es más exhaustivo y da por aceptada la hipótesis nula, esto debido a que la desviación de las muestras presenta márgenes muy pequeños. Por tal motivo, aceptamos la hipótesis de los análisis estocásticos, debido a que el promedio diario del margen de utilidad es 1 600 dólares diarios.

### 3.1.6.2 Programación lineal - eficiencia energética.

La contrastación de hipótesis de los resultados de la eficiencia energética, se ha realizado con los datos del antes y después de aplicar programación lineal a los hornos de recalentamiento, con el software Xlstat.

De acuerdo a nuestra data se ha aplicado t de Student para dos muestras sobre un análisis asintótico, y como hipótesis alternativa  $H1-H0 > 0$ .

Tabla 9: Tabla estadística descriptiva eficiencia energética.

Variable	Obs.	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
Eficiencia Energética Inicial	15	0	15	367.057	382.625	374.473	5.162
Eficiencia Energética final	7	0	7	352.297	361.615	356.685	3.738

Fuente: Software estadístico Xlstat.

Prueba t para dos muestras independientes / Prueba unilateral a la derecha:

Intervalo de confianza para la diferencia entre las medias al 95%:[ 14,015;+Inf [

Diferencia	17.788
-t (Valor observado)	8.131
t (Valor crítico)	1.725
GL	20
valor-p (unilateral)	< 0,0001
Alfa	0.05

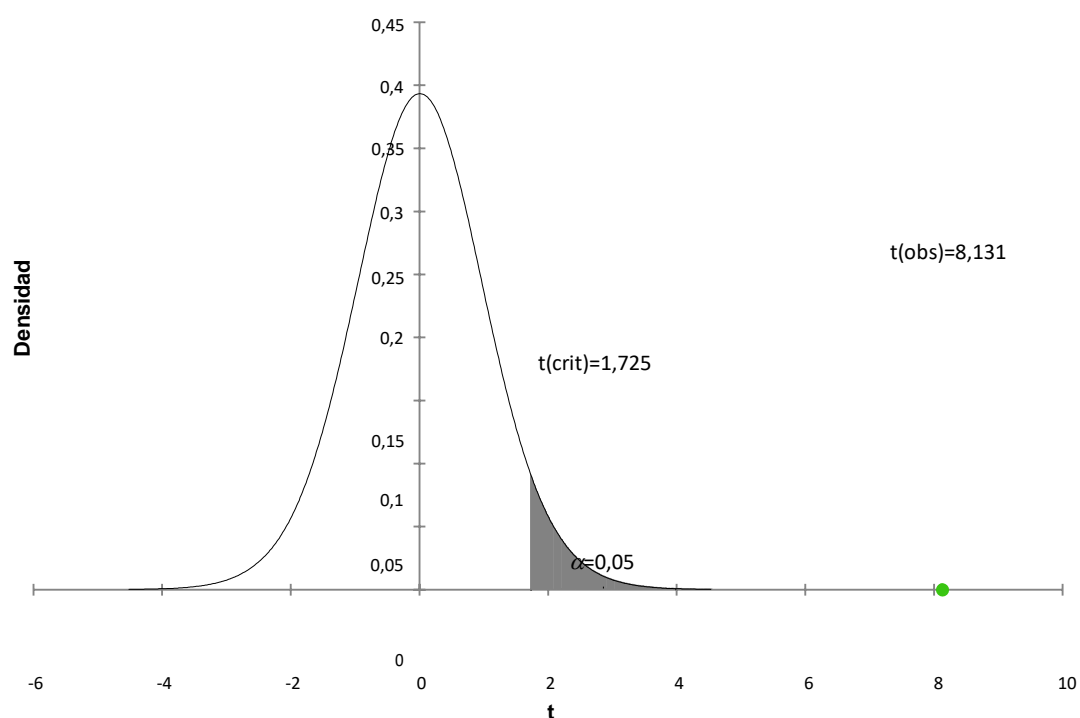
Interpretación de la prueba:

H0: La diferencia entre las medias es igual a 0.

Ha: La diferencia entre las medias es superior a 0.

Puesto que el valor-p computado es menor que el nivel de significación  $\alpha=0,05$ , se debe rechazar la hipótesis nula H0, y aceptar la hipótesis alternativa Ha .

Gráfica 12: Prueba t para dos muestras eficiencia energética/ Prueba unilateral a la derecha



Fuente: Software estadístico Xlstat.

De forma complementaria se ha realizado la contrastación de hipótesis mediante un método más exhaustivo que es el análisis de Montecarlo el cual evaluó 10 000 veces las muestras, mostradas en las tablas estadísticas descriptivas, esto con la intención de controlar la incertidumbre y el riesgo.

## La interpretación de la prueba análisis de Montecarlo

Intervalo de confianza para la diferencia entre las medias al 95%:[ 13.906; +Inf [

Diferencia 17.788

-t (Valor observado) 8.131

t (Valor crítico) 1.725

GL 20

valor-p (unilateral) < 0,0001

Alfa 0.05

Se han utilizado 10000.00 simulaciones Monte Carlo para calcular el valor-p.

Tiempo transcurrido: 0s

Intervalo de confianza para el valor-p al 99%:] 0.000;0.000 [

H0: La diferencia entre las medias es igual a 0.

Ha: La diferencia entre las medias es superior a 0.

Puesto que el valor-p computado es menor que el nivel de significación  $\alpha=0,05$ , se debe rechazar la hipótesis nula H0, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.

Realizada la contrastación mediante dos tipos de análisis, y en ambos casos aceptan la hipótesis alternativa, dando como resultado que estadísticamente la aplicación de la programación lineal maximiza la eficiencia energética en los hornos de recalentamiento de la empresa siderúrgica del peru.

#### **IV. DISCUSIÓN**

Esta investigación toma como base datos obtenidos durante el periodo de enero – diciembre del 2017 y enero – marzo 2018 para obtener data fiable sobre eficiencia energética y eficiencia económica de los hornos de recalentamiento en la Empresa Siderúrgica del Perú diagnosticando un elevado consumo de energía, lo cual conlleva a una baja eficiencia económica (ver tablas 6 y 7). La deficiente planificación en la programación de los procesos de producción y falta de recetas para obtener eficientes ratios en los consumos de energía, están ocasionando que la empresa se perjudique económicamente por ende se debe resolver con un adecuado planteamiento de programación lineal dando como resultado una disminución de 17 Kw/t en el consumo actual de energía y un incremento de 0,18 centavos de dólar por cada dólar invertido (Ver gráfica 10).

Ante dichos resultados podemos afirmar el gran impacto de la decisión que se toma a través del uso de la herramienta Solver para la resolución de problemas de programación lineal dentro del campo productivo.

Con la premisa “Lo que no se mide, no se puede mejorar” del físico y matemático británico William Thomson Kelvin , se realizó un diagnóstico inicial basándonos en las gráficas 1, 2, 3,4 y 5 dejando como resultado el excesivo gasto en energía requerida para producir, según muestra la tabla 6, lo cual conlleva a elevados costos operacionales, convirtiéndonos en una planta con un proceso productivo ineficiente. Una vez identificadas las principales causas que generan impacto dentro de los costos energéticos, se identifica al consumo de gas natural como el principal responsable del alto costo dentro del área de energéticos (Los hornos de recalentamiento son los únicos equipos dentro de planta que utilizan gas natural). Con toda esta información se decidió realizar un planteamiento de programación lineal, lo cual dará una solución óptima para este problema.

Concordamos con DÍAZ DE LAS CASAS (2014) , en donde su objetivo es desarrollar un modelo de programación lineal que permita obtener poco desperdicio en el rollo de película, para la cual realizó un análisis situacional y modificaciones de procesos utilizando métodos simplex, dando como resultado la obtención de una solución factible que permitió optimizar el consumo de los materiales para la producción. El autor concluye que el buen manejo del sistema de control de insumos se presta como una herramienta poderosa que apoya la toma de decisiones ya que permite identificar cuales procesos deben de ser modificados o en que debemos mejorar para poder obtener una menor cantidad de mermas y esto incurre en un mayor margen de ganancias para la empresa mejorando productividad y rentabilidad”.

En ese sentido también se hace mención a la importancia de realizar un diagnóstico situacional inicial para poder identificar las principales causas del problema planteado por los investigadores.

Determinar las variables de la programación lineal para maximizar la eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa Siderúrgica del Perú S.A. se logró gracias al proceso de observación de las distintas variables que influyen dentro del proceso de producción inmersas en los hornos de recalentamiento, las variables para el análisis mediante programación lineal, están dadas por la cantidad de toneladas a producir en cada horno y por cada tipo de diámetro de producto; asimismo, por el incremento de la cantidad de oxígeno en  $m^3$  necesarios en cada horno para lograr incrementar el tonelaje producido (Ver tabla 4). Este proceso es vital para iniciar el planteamiento de un problema de programación lineal ya que si las variables no son bien identificadas por los investigadores lo más probable es que no logremos alcanzar el objetivo trazado.

Con respecto a lo antes mencionado concordamos con VEGA (2014), teniéndose como objetivo proponer recomendaciones de fondos de inversión concebibles y el mejoramiento de su eficiencia, para esto se realiza una investigación en el proceso de combustión, a fin de decidir consumo de energía, las pérdidas y eficiencia. Se evaluó la eficiencia del horno, que fue de 74,6% en total, y 9,381 barriles de petróleo crudo todos los días, con una utilización de 94,5 barriles de gasolina y 8,9 barriles de gas, información tomada entre el 1 y el 13 de junio. Con estas variables obtenidas se propuso el objetivo de aumentar esta eficiencia energética, se generó el mantenimiento de rutina y paralelamente se completó el análisis y la simplificación del procedimiento de combustión, mejorando el combustible de gasolina utilizando el Solvente de petróleo refinado como sustancia añadida (kerosene), se examinó la cantidad de aire obteniendo un punto ideal en las proximidades de 28 y 29% de aire, por ende, la utilización del gas combustible se redujo a 0 barriles. Con cada uno de estos parámetros satisfactorios, se ha obtenido para aumentar la eficiencia, según la información decidida entre el 17 y el 29 de junio, considerando 79,9% de alta productividad con una suma de 9526 barriles de petróleo crudo preparado; y haciendo uso de 93,6 barriles de gasolina y 14 barriles de kerosene .

Para establecer la función objetivo en el presente trabajo de investigación el cual busca maximizar la eficiencia en los hornos de recalentamiento, se tomó como referencia la ecuación de maximizar, dada en la ecuación 6. Asimismo, se plantearon diferentes ecuaciones para todas las variables identificadas dentro del problema de programación lineal (Ver ecuaciones 7, 8 y 9). Los costos por uso de oxígeno, aire y gas estuvieron linealmente relacionados al consumo de oxígeno (ecuación lineal validada mediante una prueba de ANOVA) y se calcularon en función al consumo en  $\text{Nm}^3$  por tonelada (Ver ecuaciones 10, 11 y 12). En este contexto concordamos con MARIÑOS, *et al.* (2016, p. 19), en su artículo científico titulado “Optimización del combustible por precalentamiento de la carga y enriquecimiento con oxígeno en los hornos de recalentamiento de la industria siderúrgica”, tuvo como objetivo principal el ahorro de combustible en los hornos de recalentamiento de la industria siderúrgica por precalentamiento del aire de combustión y/o enriquecimiento con oxígeno, así como por el precalentamiento de la carga.

Los parámetros más importantes en el funcionamiento de hornos de recalentamiento son identificados realizando una revisión bibliográfica enfocándose en los libros de texto de combustión y de hornos en general, y en los artículos científicos experimentales publicados en periódicos internacionales. Con respecto a lo antes planteado coincidimos con su resultado que al aumentar la concentración de oxígeno en el aire de combustión, además de aumentar la temperatura de la llama, aumentan también las tasas de transferencia de calor y la eficiencia del proceso de combustión dentro de los hornos de recalentamiento, dando como resultado una significativa reducción en el consumo de energía de recalentamiento, lo cual acarrea consigo que los costos por consumos de gas natural disminuyan significativamente dentro del proceso de recalentamiento.

En tal sentido podemos afirmar que las ecuaciones utilizadas y validadas en la función objetivo planteada por los investigadores logra maximizar la eficiencia dentro de los hornos de recalentamiento.



La determinación de las restricciones estuvo estrictamente relacionada a las variables y recursos que posee el horno de recalentamiento y no pueden ser modificados o excederse en el consumo o producción de estos. Se identificaron 16 restricciones (Ver tabla 5). Con respecto a lo antes mencionado, las variables de decisión conjuntamente con la función objetivo y las restricciones, se procedió a cargar en un software que determine la máxima utilidad. Para ello, se empleó la aplicación Solver, la cual es una de las herramientas con que cuenta el Excel.

El programa resuelve que el horno tocho para la cual fue designada horno 1 debe tener las siguientes producciones:

Producción Bc. 1/2" = 300 Toneladas.

Producción Bc. 5/8" = 350 Toneladas.

Producción Bc. 3/4" = 106 Toneladas.

Producción Bc. 1" = 100 Toneladas.

Con una producción adicional de 51 toneladas con el incremento de oxígeno. Con esta producción se logró obtener una ratio en eficiencia económica de 1,39.

El programa resuelve para el horno ampliado para la cual fue designada horno 2 debe tener las siguientes producciones:

Producción Bc. 3/8" = 200 Toneladas.

Producción Bc. 12mm = 260 Toneladas.

Producción Bc. 1/2 " = 100 Toneladas.

Con una producción adicional de 64 toneladas con el incremento de oxígeno.

Con esta producción se logró obtener un ratio en eficiencia económica de 1,43 (Ver tabla 6 y 7).

La evaluación del impacto de la programación lineal aplicada sobre los niveles de eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa Siderúrgica del Perú S.A. nos arroja como resultados indicadores positivos con tendencia a disminuir el consumo de energía de recalentamiento, en consecuencia, el consumo de gas natural baja por lo tanto se produce una disminución en el costo energético y con ello se logra maximizar la eficiencia en los hornos de recalentamiento. Desde los meses de abril a octubre los datos muestran una tendencia a la baja, en la eficiencia energética de 374 a 357 Kwh/t., sumado a ello, el incremento de producción por la cual podemos decir que hemos maximizado la eficiencia de los hornos de recalentamiento. Ver grafica 8.

Con estos mismos datos desde abril a octubre muestran que la eficiencia económica ha incrementado en una ratio de 1,27 a 1,45 cumpliendo con el objetivo de maximizar la eficiencia económica de los hornos. Ver grafica 9.

## V. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en el presente trabajo concluimos que aplicando la programación lineal maximizamos la eficiencia económica de los hornos de recalentamiento en 0,18. En el pre test se obtuvo 1,27 (por cada dolar invertido obtenemos una ganacia de 0,27 centavos de dolar) y el post test 1,45 (por cada dolar invertido obtenemos una ganacia de 0,45 centavos de dolar). Asi mismo aplicando la programación lineal obtuvimos ratios optimizados de la relación oxígeno - aire, logrando de esta forma reducir el consumo energético en 17 Kwt/tn , en el pre test obtuvimos 357 Kwt/tn y el post test arroja un 374 Kwt/tn logrando de esta forma maximizar la eficiencia enérgica de los hornos de recalentamiento, resultados que son validados por la prueba estadística de diferencia de hipótesis, al 95% de confianza utilizando el software xlstat.

Se determinó las variables de la programación lineal que afectan el funcionamiento de los hornos de recalentamiento, las cuales estan dadas por cantidad a producir en cada horno y por cada tipo de producto en toneladas; asimismo, por el incremento de la cantidad de oxígeno en m<sup>3</sup> necesario en cada horno: X1,1 Producción de Bc. 3/8" en horno 1; X1,2 Producción de Bc. 12 mm en horno 1; X1,3 Producción de Bc. 1/2" en horno 1; X1,4 Producción de Bc. 5/8" en horno 1; X1,5 Producción de Bc. 3/4" en horno 1; X1,6 Producción de Bc. 1" en horno 1; X1,7 Producción adicional por incremento de oxígeno en horno 1; X2,1 Producción de Bc. 3/8" en horno 2; X2,2 Producción de Bc. 12 mm en horno 2; X2,3 Producción de Bc. 1/2" en horno 2; X2,4 Producción de Bc. 5/8" en horno 2; X2,5 Producción de Bc. 3/4" en horno 2; X2,6 Producción de Bc. 1" en horno 2; X2,7 Producción adicional por incremento de oxígeno en horno 2.

Se estableció la función objetivo para maximizar la eficiencia en los hornos de recalentamiento:  $\text{Max Utilidad} = \text{Ventas} - (\text{costos indirectos} + \text{costo oxígeno} + \text{costo gas} + \text{costo aire} + \text{otros costos de producción})$  Ver ecuación 6. La herramienta Solver da solución al problema de programación lineal, aplicando el método simplex, esto determinó una nueva programación óptima de la producción, quedando de la

siguiente manera según la nomenclatura de las variables de decisión(Ver tabla 4):  
 $X_{1,3}= 300$  Tn;  $X_{1,4}=350$  Tn;  $X_{1,5}=106$  Tn;  $X_{1,6}=100$  Tn;  $X_{2,1}=200$ Tn;  $X_{2,2}=300$   
 Tn;  $X_{2,3}=350$  Tn. Con esta solución, se logró maximizar la eficiencia de los horno de  
 recalentamiento de la empresa siderurgica del peru.

Se determinaron las restricciones de la programación lineal que afectan el  
 funcionamiento y la eficiencia de los hornos de recalentamiento, quedando de la  
 siguiente manera:  $X_{1,1} + X_{1,2} = 0$  El horno 1 no produce Bc. 3/8" y Bc. 12 mm;  $X_{2,4}$   
 $+ X_{2,5} + X_{2,6} = 0$  El horno 2 no produce Bc. 5/8", Bc. 3/4" y Bc. 1";  $X_{1,3} \leq 300$  La  
 producción Bc. 1/2" debe ser menor a la demanda en el horno 1;  $X_{1,4} \leq 350$  La  
 producción Bc. 5/8" debe ser menor a la demanda en el horno 1;  $X_{1,5} \leq 200$  La  
 producción Bc. 3/4" debe ser menor a la demanda en el horno 1;  $X_{1,6} \leq 150$  La  
 producción Bc. 1" debe ser menor a la demanda en el horno 1;  $X_{2,1} \leq 200$  La  
 producción Bc. 3/8" debe ser menor a la demanda en el horno 2;  $X_{2,2} \leq 300$  La  
 producción Bc. 12mm debe ser menor a la demanda en el horno 2;  $X_{2,3} \leq 350$  La  
 producción Bc. 1/2" debe ser menor a la demanda en el horno 2;  $X_{1,7}$   
 $\geq 0$  El incremento de oxígeno debe ser mayor o igual a 0 en el horno 1;  $X_{1,1} + X_{1,2}$   
 $+ X_{1,3} + X_{1,4} + X_{1,5} + X_{1,6} = 856$  La producción en el horno 1 debe ser igual a las  
 856 toneladas sin incremento del oxígeno;  $X_{2,1} + X_{2,2} + X_{2,3} + X_{2,4} + X_{2,5} + X_{2,6}$   
 $= 560$  La producción en el horno 2 debe ser igual a las 560 toneladas sin incremento del  
 oxígeno;  $X_{1,7} \leq 51$  La producción en el horno 1 debe ser menor o igual al máximo  
 toneladas por incremento del oxígeno (51 tn);  $X_{2,7} \leq 64$  La producción en el horno 2  
 debe ser menor o igual al máximo toneladas por incremento del oxígeno (64 tn);  $X_{2,7}$   
 $\geq 0$  El incremento de oxígeno debe ser mayor o igual a 0 en el horno 2;  $X_{1,1} + X_{1,2}$   
 $+ X_{1,3} + X_{1,4} + X_{1,5} + X_{1,6} + X_{2,1} + X_{2,2} + X_{2,3} +$   
 $X_{2,4} + X_{2,5} + X_{2,6} \geq 100$  La producción mínima requerida tiene que ser mayor a  
 100 toneladas.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Se recomienda implementar la programación lineal a procesos productivos donde se requiera maximizar eficiencias económicas u optimizar consumos de recursos, determinando las variables de decisión, función objetivo y restricciones, utilizando herramientas como Solver ó Crystal ball.

Se recomienda realizar capacitaciones sobre el uso de la herramienta Solver; así como los beneficios en optimización que se logra obtener si realizamos correctamente el planteamiento y la resolución del problema de programación lineal.

Se recomienda realizar una mayor investigación en el área de la Matemática Aplicada y Optimización con Programación Lineal en procesos de producción metalúrgicos, donde se requiera maximizar eficiencia económica, optimización de ratios de carga, correlación de datos con regresión lineal.

## REFERENCIAS

ARENAS Castaño, Sandra y ARAUJO Morán, Carlos. Propuesta del plan óptimo de producción para la línea de granulados de una empresa de fertilizantes. Artículo científico (Ingeniero Industrial). Santiago de Cali : Pontificia Universidad Javeriana., 2016. 82 pp.

Disponible en [http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/7692/Propuesta\\_plano\\_optimo\\_produccion.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/7692/Propuesta_plano_optimo_produccion.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

AVELLÓN Naranjo, Blanca. La eficiencia y la productividad de las comunidades autónomas españolas en la gestión tributaria: Aplicación del Análisis envolvente de datos. Tesis Doctoral (Economía Aplicada). Valladolid : Universidad de Valladolid, 2015. 542 pp

Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/61552331.pdf>

CACERES, David *et al.* Modelo de programación lineal para planeación de requerimiento de materiales. *Revista Tecnológica SPOL* [En línea] Setiembre 2015 Vol 28 No.2 [Fecha de consulta: 01 de Junio de 2018].

Disponible en <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/322>;

[http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/8109/1/Tesis\\_t927id.pdf](http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/8109/1/Tesis_t927id.pdf)

ISSN 1390-3659

CAMPOS Vásquez, Miguel A. y RICRA Quispe, Rolan D. 2017. Impacto de la Programación Lineal con el uso Solver en la optimización de las operaciones de carguío - acarreo de mineral en la Mina Lagunas Norte, La Libertad. Tesis (Ingeniero en Minas). Cajamarca : Universidad Privada del Norte, 2017. 75 pp

CANSECO Gonzalez, Adriana *et al.* Aplicación de la programación lineal para la asignación de horarios en una institución educativa Mexicana. *Revista Ingeniería Industrial*. [en línea] Enero 2016. Vol 15 No. 2. [Fecha de consulta: 01 de junio de 2018].

Disponible en <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RI/article/view/2779>

ISSN 0717-9103.

CENGEL, Yunus y BOLES. Michael. Termodinámica. 7ª ed. México, D.F. : Mc Graw-Hill/Interamericana Editores S.A. 2012. 1042 pp.  
ISBN: 9789701072868.

CHASE, Richard, JACOBS, Robert y AQUILANO, Nicholas. Administración de Operaciones; Producción y Cadena de Suministros. 12ª ed. México, D.F. : Mc Graw-Hill/Interamericana Editores S.A. 2006. 800 pp.  
ISBN: 9789701070277.

COLLADO Cárdenas, Esequiel. Modelamiento matemático para la optimizar la carga metálica en un horno de fusión para la elaboración de fundiciones grises por el método de la Programación Lineal - Método Simplex. Tesis (Magister en ciencias de materiales). Arequipa : Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2017. 105 pp.  
Disponible en <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4110>

DE LA CRUZ Falcón, Ángel J. Maximización de la producción de derivados lácteos caso : Empresa Industrial PLEMSA S.A. Tesis Doctoral (Ingeniería de sistemas) . Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2017. 111 pp.  
Disponible en <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4110>

DÍAZ de Las Casas, José. Programación lineal modelo para minimizar la merma en el proceso de cortes de rollos de película para la elaboración de fotolitos empresa grupo Digigraf S.A. Tesis (Licenciado en Investigación Operativa). Lima : Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2014. 154 pp.  
Disponible en <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/3387>

GUÉDEZ Fernández, Carmen. Programación Lineal en Ingeniería Industrial: una aproximación al estado del arte., *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias* [En línea] Mayo 2013 Vol II No. [Fecha de consulta: 02 de Junio de 2018].  
ISSN: 1856-8327.  
Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=215021914005>

HERRERA Bernardo, *et al.* Simulación numérica de la combustión con aire enriquecido en un horno de fusión de fritas. Medellín. *TECNOLOGICAS* [En línea] Octubre 2013 Edición especial, [Fecha de consulta: 02 de Junio de 2018].

ISSN 0123-7799.

SUAREZ Cruz, Edgar. Aplicación de un modelo de programación lineal que permita maximizar la utilidad en la construcción de un tipo de vivienda. Tesis (Administración de empresas) Machala : Universidad Técnica de Machala, 2016. 98 pp.

HILLIER, Frederick y LIEBERMAN, Gerald. Introducción a la investigación de operaciones. 9ª ed. México, D.F. : Mc Graw-Hill/Interamericana Editores S.A. 2010. 1010 pp.

ISBN: 9786071503084.

INVESTIGACIÓN de Operaciones en las Ciencias Administrativa por Gary Eppen [*et al.*]. 5ª ed. Edo. de México: Prentice-Hall, 2000. 794 pp.

ISBN: 9701702700.

INACAL. 2015. Instituto nacional de calidad. [En línea] 10 de enero de 2015. [Fecha de consulta: 15 de junio de 2018].

disponible en <http://www.inacal.gob.pe/normalizacion>.

JARA Espinoza, Rosnel. Mejora del proceso de lavado para incrementar la eficiencia en el área de Clearpet de la Empresa San Miguel. Tesis (Ingeniería Industrial). Lima : Universidad César Vallejo, 2015. 134 pp.

Disponible en <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/2472?show=full>

MATA maciso, Yvan. Aplicación de la programación entera al planeamiento estratégico de la producción en la mina condestable. Tesis (Ingeniero de minas). Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 2016. 102 pp.

Disponible en [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/10076/1/mata\\_my.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/10076/1/mata_my.pdf)



MEJIA Carrera, Samir. Análisis y propuesta de mejora del proceso productivo de una línea de confecciones de ropa interior en una empresa textil mediante el uso de herramientas de manufactura esbelta. Tesis (Ingeniero industrial). Lima : Pontificia Universidad Católica del Perú, 2013. 119 pp.

Disponible en <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/4922>

MEJIA, Carlos Alberto, Indicadores de efectividad y eficiencia[en línea]. Planing consultores gerenciales. 10 de mayo 2011 [Fecha de consulta: 02 de junio de 2018].

Disponible en <http://www.ceppia.com.co/Herramientas/INDICADORES/Indicadores-efectividad-eficacia.pdf>

MONJA Gallo, Merly y SEDAN Rengifo, Manuel. Aplicación de programación lineal en la planeación y programación de la producción de azúcar para mejorar la productividad de la empresa agroindustria Pomalca S.A.A. Tesis (Ingeniero Industrial) Pimentel : Universidad Señor de Sipan, 2016 144 pp.

Disponible en <http://repositorio.uss.edu.pe/xmlui/handle/uss/881>

Horno de recalentamiento, Ingeniería del Nervión, 2010. Escala 1:100. Chimbote Perú, Ingeniería 01 de enero de 2010. 1 Plano 29,7cm \* 42 cm.

MARINOS, diego et al. Optimización del combustible por precalentamiento de la carga y enriquecimiento con oxígeno en los hornos de recalentamiento de la industria siderúrgica. *Revista ciencia para el desarrollo SCÉND0* [En línea] Mayo 2016 Vol 19 No.19 [Fecha de consulta: 01 de Junio de 2018].

ISSN: 1681-7230.

POLO Idrogo, Jean Marco. 2014. Propuesta de Programación Lineal para optimización del proceso de homogeneización de la harina de pescado en la Corporación Hillary S.A.C. Chimbote. Tesis pregrado (Ingeniero Industrial) Chimbote : Universidad César Vallejo, 2014. 128 pp.

Disponible en <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/31>

ROJAS Ginche, Santiago. KAIZEN para mejorar la eficiencia en el proceso de Pasteurización de la leche entera Gloria en el área de derivados lácteos empresa GLORIA S.A; Tesis (Ingeniería Industrial). Lima : Universidad César Vallejo., 2017. 148 pp.  
Disponibile en <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/4553?show=full>

REYES Morales, Norman. Modelo de optimización de programación de rutas para una empresa logística peruana usando herramientas FSMVRPTW. *Revista de Investigacion Industrial Data* [En línea] Diciembre 2016 Vol 19 No.2 [Fecha de consulta: 01 de Junio de 2018].

Disponibile en <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/idata/article/view/12847>

ISSN: 1560-9146.

REVISTA Asociación Latinoamericana del Acero 2011-2018 por Rafael Rubio [et al]. Alacero [en línea]. Abril 2018 No 567. [Fecha de consulta: 22 de Abril de 2018].

Disponibile en [https://www.alacero.org/sites/default/files/revista/acero\\_latinoamericano](https://www.alacero.org/sites/default/files/revista/acero_latinoamericano).  
ISSN: 0034-9798.

ROMITO, Luis. Eficiencia energética y su aplicación en la industria vinícola. Tesis (Ingeniería en energía). Mendoza, : Universidad Nacional de Cuyo, 2015 270 pp.

Disponibile en <http://observatoriova.com/wp-content/uploads/2017/12/Romito-Eficiencia-energetica-y-su-aplicacion-en-la-industria-vitivinicola.pdf>

ROSETO, Mantilla et al. Modelo de programación lineal para un sistema de planeación de requerimientos de materiales (MRP) en la empresa de calzado de seguridad industrial MARCIA. Tesis de grado (Ingeniero Industrial en Procesos de automatización). Ambato : Universidad Técnica de Ambato, 2017. 202 pp.

Disponibile en [http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25536/1/Tesis\\_t1237\\_id.pdf](http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25536/1/Tesis_t1237_id.pdf)

TRINKS, W; MAWHNNEY, M. e ITURRIAGA, Ignacio. Hornos industriales. 6<sup>a</sup>ed.  
Bilbao: Ediciones Urmo, 2007. 506 pp.  
ISBN: 978047017261.

TORRES Gómez, José. Estudio energético para el redimensionamiento de una caldera de vapor. Tesis (Ingeniero Mecánico) Veracruz: Universidad Veracruzana, 2015. 74 pp  
Disponible en <https://cdigital.uv.mx/handle/123456789/41563>

VEGA Ángeles, Julio, Optimización de los procesos de combustión del horno petrolero 311-H1, para mejorar su eficiencia en la refinería Iquitos - Petroperú. Tesis (Ingeniero Mecánico) Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2014. 98 pp.  
Disponible en <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/3217>

WINSTON, Wayne. Investigación de Operaciones: Aplicacion y algoritmos. 4<sup>a</sup> ed.  
Mexico D.F : Inernational Thomson Editores, 2007. 1418 pp.  
ISBN 9706863621.

## BIBLIOGRAFÍA

CENGEL, Yunus y BOLES. Michael. Termodinámica. 7ª ed. México, D.F. : Mc Graw-Hill/Interamericana Editores S.A. 2012. 1042 pp.

ISBN: 9789701072868.

CHASE, Richard, JACOBS, Robert y AQUILANO, Nicholas. Administración de Operaciones; Producción y Cadena de Suministros. 12ª ed. México, D.F. : Mc Graw-Hill/Interamericana Editores S.A. 2006. 800 pp.

ISBN: 9789701070277.

GONZÁLEZ, Francisco. Teoría práctica de mantenimiento industrial avanzado. 5ª ed. Madrid : F. C. Editorial, 2005. 575 pp.

ISBN 8496169499.

HILLIER, Frederick y LIEBERMAN, Gerald. Introducción a la investigación de operaciones. 9ª ed. México, D.F. : Mc Graw-Hill/Interamericana Editores S.A. 2010. 1010 pp.

ISBN: 9786071503084.

INVESTIGACIÓN de Operaciones en las Ciencias Administrativa por Gary Eppen [*et al.*]. 5ª ed. Edo. de México: Prentice-Hall, 2000. 794 pp.

ISBN: 9701702700.

INGENIER. 2010. Manejo del horno de recalentamiento. Ancash, 12 de 02 de 2010. Manual de operación.

MODELO para medición de eficiencia real de producción y administración integrada por Jose Montero [*et al.*] [en línea]. Boletín Técnico N° 33. Bogotá : Cenipalma, 2013. [fecha de consulta: 18 de Junio de 2018]. 68 pp.

ISBN: 9789588360430

TAHA, Handy. Investigación de Operaciones. 9ª ed. Edo. de México: Pearson Educación, 2012. 824 pp.

ISBN: 9786073207966.

TRINKS, W; MAWHNNEY, M. e ITURRIAGA, Ignacio. Hornos industriales. 6ªed.

Bilbao: Ediciones Urmo, 2007. 506 pp.

ISBN: 978047017261.

WINSTON, Wayne. Investigación de Operaciones: Aplicacion y algoritmos. 4ª ed.

Mexico D.F : Inernational Thomson Editores, 2007. 1418 pp.

ISBN 9706863621.

## ANEXOS

Anexo 5: Matriz de consistencia.

Aplicación de la programación lineal para maximizar la eficiencia en hornos de recalentamiento, empresa siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote, 2018.

<b>PROBLEMA PRINCIPAL</b>	<b>OBJETIVO PRINCIPAL</b>	<b>HIPÓTESIS PRINCIPAL</b>	<b>JUSTIFICACIÓN</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>TIPO Y DISEÑO</b>
En qué medida la aplicación de la programación lineal maximizará la eficiencia en hornos de recalentamiento, empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote, 2018?	Aplicar la programación lineal para maximizar la eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa Siderúrgica del Perú S.A. Chimbote 2018.	La aplicación de la programación lineal maximiza la eficiencia en hornos de recalentamiento, empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote, 2018.	<p>El presente proyecto es de vital importancia para la empresa ya que la aplicación de la programación lineal buscará analizar las variables que dificultan la eficiencia de los hornos de recalentamiento de la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote, y ello generará mayor eficiencia en el proceso global de la empresa, permitiéndole obtener ahorros considerables</p> <p>Teóricamente la investigación permitirá aplicar todas las técnicas que muestran la programación lineal, así como ir adecuando o contrastando los procedimientos que pueden ser aplicados para ir mejorando la eficiencia de los equipos, es este caso los hornos de recalentamiento.</p> <p>Finalmente lograremos que el aumento de la eficiencia de los hornos de recalentamiento, permitirá obtener ahorros considerables a la empresa así como disminuir el ciclo de producción y de esta manera aumentar su producción mensual, ello permitirá mejorar las utilidades en beneficio para la industria de Chimbote así como los beneficiarios que son los trabajadores que en ella se desempeñan.</p>	EFICIENCIA	<p>2.1.1 Tipo de Estudio El estudio corresponde a una investigación Pre – Experimental Aplicado, porque se hará uso de los conocimientos teóricos de la programación lineal para dar solución a la realidad problemática de la empresa en estudio</p> <p>2.1.2 Diseño de investigación El diseño de investigación es pre experimental con pre prueba y post prueba, porque solo se tiene un solo grupo de trabajo.</p> <p>G: O1 ----- X -----O2 Dónde: G : Hornos de recalentamiento de la empresa Siderúrgica del Perú O1 : Eficiencia X : Aplicación de la Programación Lineal O2 : Eficiencia después de aplicar Programación Lineal</p>

PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	INDICADORS	TIPOS Y DISEÑO
<p>¿En qué medida realizar un diagnóstico situacional maximizará la eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote 2018?</p>	<p>Realizar un diagnóstico situacional para maximizar la eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote 2018.</p>	<p>El diagnóstico situacional maximiza la eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote 2018.</p>	<p><b>D1: DIAGNÓSTIGO</b> <b>Y : Eficiencia</b></p>	<p>Post Test Pre Test</p>
<p>¿En qué medida analizar las variables de decisión de la programación lineal afectan el funcionamiento y maximizará la eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote 2018?</p>	<p>Determinar las variables de la programación lineal para maximizar la eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa Siderúrgica del Perú S.A Chimbote 2018.</p>	<p>El análisis de las variables de la programación lineal maximiza la eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote 2018.</p>	<p><b>D2: VARIABLES DE DECISIÓN</b> <b>Y : Eficiencia</b></p>	<p>% Variables decisión / variables totales</p>
<p>¿En qué medida establecer la función objetivo de la programación lineal maximizará los niveles de eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote 2018?</p>	<p>Establecer la función objetivo de la programación lineal para maximizar la eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote 2018.</p>	<p>La función objetivo de la programación lineal maximiza la eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote 2018.</p>	<p><b>D3: FUNCIÓN OBJETIVO</b> <b>Y : Eficiencia</b></p>	$Max = \int_{x_1}^{x_2} (C_1x_1 + C_2x_2 + C_3x_3 + C_4x_4 + C_5x_5 + C_6x_6)$



PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	INDICADORES	TIPOS Y DISEÑO
<p>¿En qué medida el determinar las restricciones de la programación lineal, maximizará la eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa Siderúrgica del Perú S.A. Chimbote 2018?</p>	<p>Determinar las restricciones de la programación lineal para maximizar los niveles de eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa Siderúrgica del Perú S.A. Chimbote 2018.</p>	<p>La determinación de las restricciones de la programación lineal maximiza la eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote 2018.</p>	<p><b>D4: RESTRICCIONES Y : Eficiencia</b></p>	<p><math>P_t \leq n_t \times W_t</math>  <math>W_t = W_{(t-1)} + C_t - D_t</math>  <math>I_t - F_t = I_{(t-1)} - F_{(t-1)} + P_t - D_t</math></p>
<p>¿En qué medida evaluar el impacto de la programación lineal maximizará los niveles de eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa Siderúrgica del Perú S.A. Chimbote 2018?</p>	<p>Realizar una evaluación del impacto de la programación lineal para maximizar la eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa Siderúrgica del Perú S.A. Chimbote 2018.</p>	<p>La evaluación del impacto de la programación lineal maximiza los niveles de eficiencia en los hornos de recalentamiento de la empresa Siderúrgica del Perú S.A. Chimbote 2018.</p>	<p><b>D5: EVALUACIÓN DEL IMPACTO. Y : Eficiencia</b></p>	<p>Eficiencia inicial - eficiencia final / eficiencia inicial = % variación</p>

Anexo 6: Matriz de antecedentes programación lineal.

X: PROGRAMACIÓN LINEAL			
	VARIABLES DE DECISIÓN	FUNCIÓN OBJETIVO	RESTRICIONES
<p style="text-align: center;">ANTECEDENTES: TESIS / ARTÍCULO CIENTÍFICOS</p>			
<p><b>Título:</b> Artículo científico "Simulación numérica de la combustión con aire enriquecido en un horno de fusión de fritas."  <b>Autores:</b> Herrera Múnera Bernardo; Copete López Luis; Gutiérrez Flores Jhony; Ortega López Raúl.</p>	X	X	X
<p><b>Título:</b> Artículo científico "Programación Lineal e Ingeniería Industrial: una aproximación al estado del arte."  <b>Autor:</b> Guedes Fernández Carmen.</p>	X	X	X
<p><b>Título:</b> Artículo científico "Aplicación de la programación lineal para la asignación de horarios en una institución educativa mexicana, 2016."  <b>Autores:</b> Canseco González Adriana; Sánchez Partida Diana; Zúñiga Alcaez Catya; Olivarez Benites Elías.</p>	X	X	X
<p><b>Título:</b> Tesis "Propuesta del plan óptimo de producción para la línea de granulados de una empresa de fertilizantes"  <b>Autores:</b> Arenas Castaño Sandra; Araujo Moran Carlos.</p>	X	X	X
<p><b>Título:</b> Tesis "Maximización de la producción de derivados lácteos, caso: Empresa industrial Plemsa S.A."  <b>Autor:</b> De la Cruz Falcón Ángel.</p>	X	X	X
<p><b>Título:</b> Tesis "Modelamiento matemático para optimizar la carga metálica en un horno de fusión para la elaboración de fundiciones grises por el método de la programación lineal - método simplex."  <b>Autor:</b> Collado Cárdenas Ezequiel</p>	X	X	X

X: PROGRAMACIÓN LINEAL			
ANTECEDENTES: TESIS / ARTÍCULO CIENTÍFICOS			VARIABLES DE DECISIÓN
			FUNCIÓN OBJETIVO
			RESTRICCIONES
<b>Título:</b> Tesis "Propuesta de Programación Lineal para la Optimización del Proceso de Homogeneización de la Harina de Pescado en la Corporación Pesquera Hillary S.A.C." <b>Autor:</b> Polo Idrogo Jean	X	X	X
<b>Título:</b> Tesis "Aplicación de la programación entera al planeamiento estratégico de la producción en la mina condestable." <b>Autor:</b> Mata Maciso Yvan	X	X	X
<b>Título:</b> Tesis "Aplicación de programación lineal en la planeación y programación de la producción de azúcar, para mejorar la productividad de la empresa agroindustrial Pomalca S.A.A." <b>Autor:</b> Monja Gallo Merly; Sedan Rengifo Manuel.	X	X	X
<b>Título:</b> Tesis "Impacto de la programación lineal con el uso de SOLVER en la optimización de las operaciones de carguío-acarreo de mineral en la mina lagunas norte, la libertad, 2017." <b>Autor:</b> Campos Vásquez Miguel ; Ricra Quispe Rolan.	X	X	X

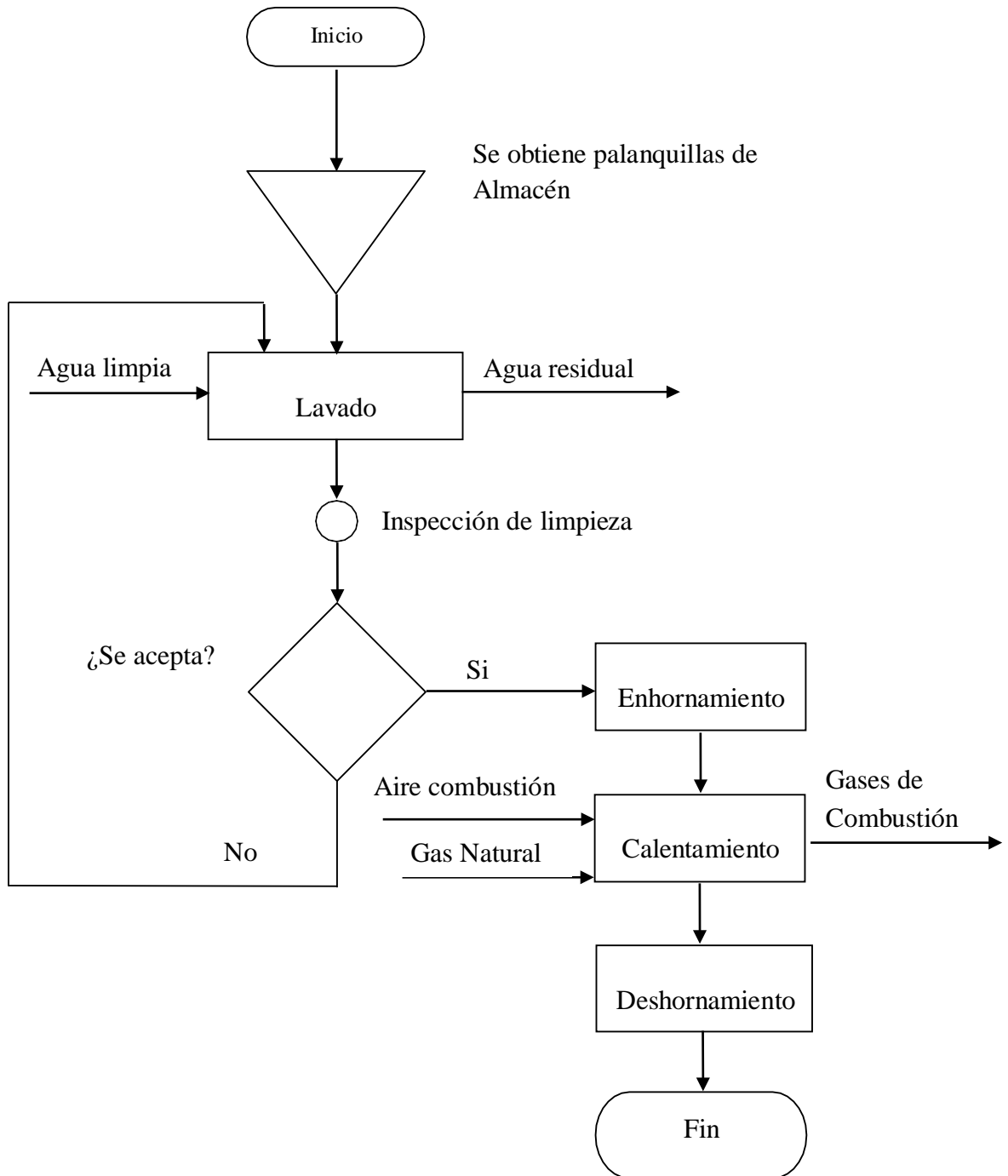
Anexo 7: Matriz de antecedentes eficiencia

Y: EFICIENCIA				
ANTECEDENTES: TESIS / ARTÍCULO CIENTÍFICOS	DISPONIBILIDAD	RENDIMIENTO	CALIDAD	ENERGÍA
<b>Título:</b> Tesis "La eficiencia y la productividad de las comunidades autónomas Españolas en la gestión tributaria: Aplicación del análisis envolvente de datos" <b>Autores:</b> Avellon Naranjo Blanca.	X	X		
<b>Título:</b> Artículo científico "Evaluación de la eficiencia energética en los hornos tradicionales de curado de tabaco, 2014." <b>Autor:</b> Cerquera Néstor; Pastrana Eduardo.	X	X	X	X
<b>Título:</b> Artículo científico "Optimización del combustible por precalentamiento de la carga y enriquecimiento con oxígeno en los hornos de recalentamiento de la industria siderúrgica, et al. 2016." <b>Autores:</b> Mariños Rojas Diego; Chucuya Samir Roberto; De los Santos Yery.		X	X	X
<b>Título:</b> Tesis "Estudio energético para el redimensionamiento de una caldera de vapor." <b>Autores:</b> Torres Gómez José.	X	X	X	
<b>Título:</b> Tesis "Eficiencia energética y su aplicación en la industria vitivinícola" <b>Autor:</b> Luis Romito.	X	X	X	X

Y: EFICIENCIA				
ANTECEDENTES: TESIS / ARTÍCULO CIENTÍFICOS				
	DISPONIBILIDAD	RENDIMIENTO	CALIDAD	ENERGÍA
<b>Título:</b> Tesis "Mejora del proceso de lavado para incrementar la eficiencia en el área clearpet de la empresa San Miguel Industrias PET S.A. Lima 2015." <b>Autor:</b> Jara Espinoza Rosnel.	X		X	
<b>Título:</b> Tesis "Optimización de los procesos de combustión del horno petrolero 311-H1, para mejorar su eficiencia en la refinería de IQUITOS-PETROPERU" <b>Autor:</b> Vega Ángeles, Julio.	X	X	X	X
<b>Título:</b> Tesis "Análisis y propuesta de mejora del proceso productivo de una línea de confecciones de ropa interior en una empresa textil mediante el uso de herramientas de manufactura esbelta" <b>Autor:</b> Mejía Carrera Samir.	X	X	X	
<b>Título:</b> Tesis "Kaizen Para Mejorar la eficiencia en el proceso de pasteurización de leche entera Gloria en el área de derivados lácteos Empresa Gloria S.A. 2016." <b>Autor:</b> Rojas Ginche Santiago.	X	X	X	

Anexo 8: Secuencia del horno

Secuencia del horno de recalentamiento mediante diagrama de flujo Horno de Recalentamiento



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 9: fotografías secuencia del horno

Fotografía01: Palanquillas de acero de 100x100 mm.



Fuente: Laminación Largos Siderperú.

Fotografía02: Ingreso de la palanquilla al horno de Recalentamiento.



Fuente: Laminación Largos Siderperú.

Fotografía 03: Armario de control del Horno de Recalentamiento



Fuente: Laminación Largos Siderperú.

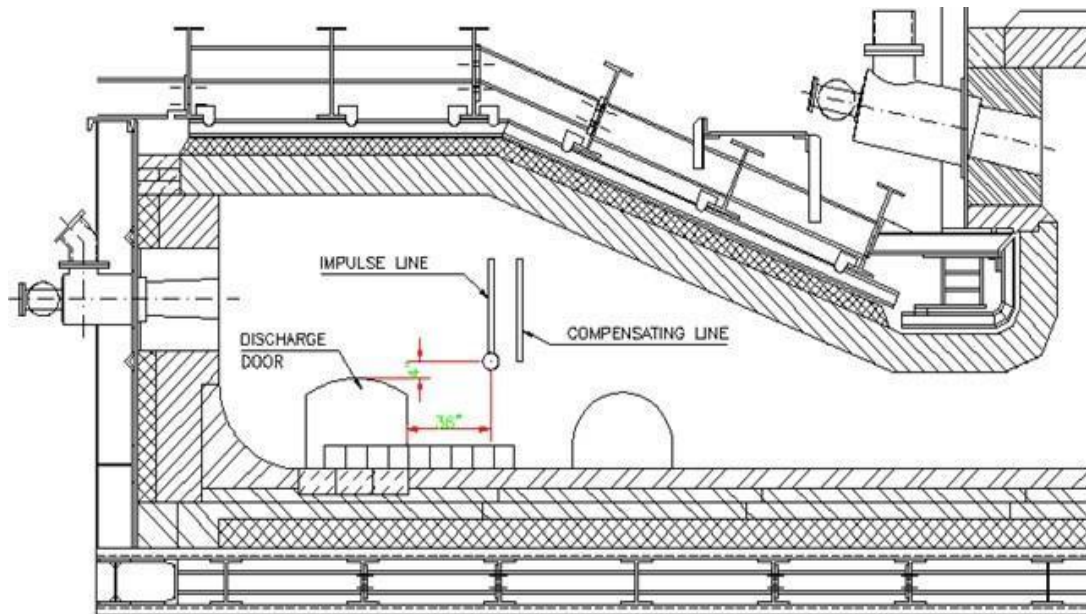
Figura 04: Deshome de palanquillas del horno



Fuente: Laminación largos Siderperú.

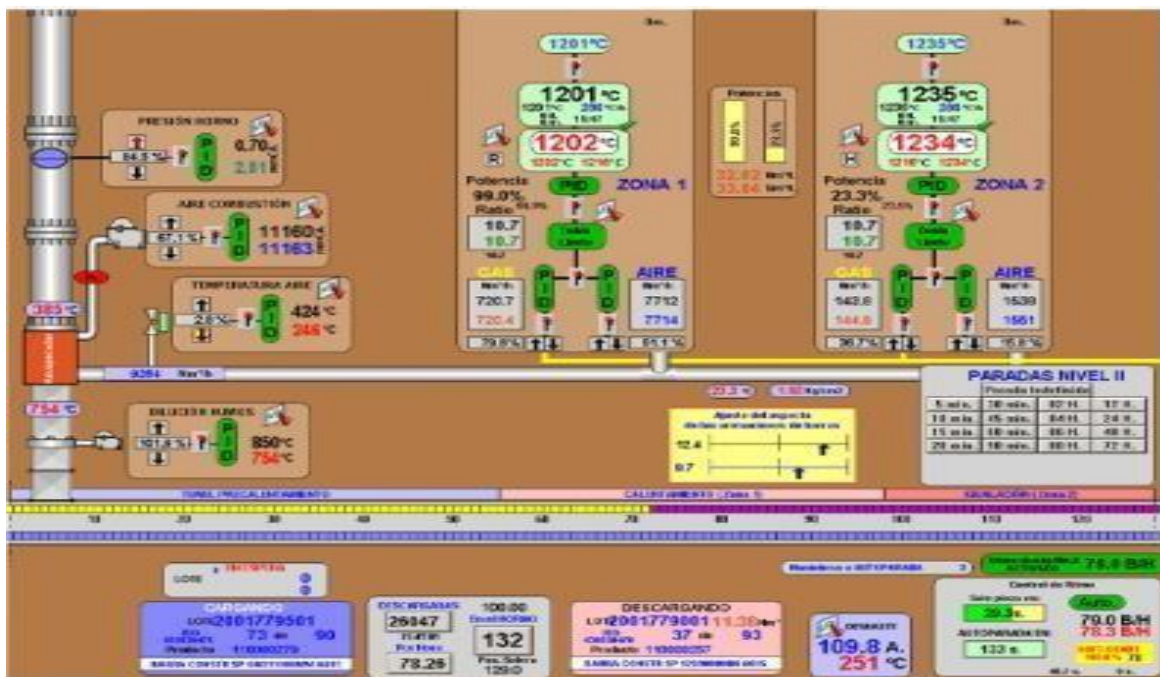


Figura 01: Interior horno de calentamiento.



Fuente: Laminación Largos Siderperú.

Figura 02: Sistema Scada Horno de Recalentamiento



Fuente: Laminación Largos Siderperú.

Anexo 10: Costos operacionales y energéticos laminación largos

Tabla 10: Costos de producción laminación largos enero - diciembre 2017

	<b>PERSONAL</b> (\$)	<b>ENERGETICOS</b> (\$)	<b>MATERIALES ESPECIFICOS</b> (\$)	<b>MANTENIMIENTO</b> (\$)	<b>OTROS COSTOS OPERACIONALES</b> (\$)
Enero	307 241,49	746 128,32	227 031,06	426 968,65	937 393,04
Febrero	352 131,91	805 078,21	192 335,71	409 381,82	992 301,57
Marzo	131 662,90	292 862,79	112 375,32	199 426,53	438 261,73
Abril	298 333,64	816 497,96	206 254,18	363 595,49	895 738,36
Mayo	182 090,99	510 268,17	201 817,88	455 900,33	727 499,60
Junio	267 765,26	716 117,69	239 213,37	446 314,96	836 351,58
Julio	274 460,02	798 696,45	273 520,20	293 172,15	822 800,56
Agosto	274 790,96	825 690,84	334 272,88	292 328,62	880 314,95
Septiembre	271 007,90	795 699,76	262 273,90	329 656,80	887 750,24
Octubre	250 241,31	852 324,67	310 131,25	278 652,76	889 697,37
Noviembre	250 451,30	702 705,71	273 321,03	295 986,05	907 360,06
Diciembre	291119,80	877839,94	278051,93	348025,94	957870,33
<b>Total</b>	<b>3 151 297,49</b>	<b>8739 910,52</b>	<b>2 910 598,72</b>	<b>4 139 410,11</b>	<b>10 173 339,38</b>

Fuente Área contable laminación largos

Tabla 11: Costos energéticos laminación largos enero - diciembre 2017

	<b>ENERGIA ELECTRICA</b> (\$)	<b>GAS NATURAL</b> (\$)	<b>OTROS ENERGETICOS</b> (\$)	<b>OXIGENO</b> (\$)
Enero	277 570,30	538 000,58	1 562,21	26 995,23
Febrero	251 877,41	523 836,51	2 015,42	27 348,87
Marzo	272 980,52	488 563,93	2 274,29	24 064,57
Abril	278 656,42	514 005,72	1 783,69	22 052,13
Mayo	170 524,15	507 960,61	1 433,27	17 350,15
Junio	258 507,29	436 683,00	1 494,58	19 432,82
Julio	279 283,88	494 909,85	956,70	23 546,02
Agosto	281 801,72	507 881,77	1 206,04	34 801,30
Septiembre	280 297,88	492 687,87	1 043,12	21 670,89
Octubre	301 422,33	532 371,27	388,19	18 142,88
Noviembre	248 171,06	430 461,39	1 133,67	22 939,58
Diciembre	282523,50	572698,70	868,97	31748,77
<b>Total</b>	<b>3 183 616,46</b>	<b>6 040 061,21</b>	<b>16 160,15</b>	<b>290 093,22</b>

Fuente Área contable laminación largos

Tabla 12: Eficiencia energética enero - diciembre 2017

	<b>PRODUCCIÓN (Tn)</b>	<b>ENERGÍA DE RECALENTAMIENTO (Kwh/T)</b>	<b>RATIO</b>	<b>CONSUMO GN Sm3</b>	<b>PRECIO (\$/m3)</b>
Enero	30 833,71	374,26	37,20	1 100565	0,48
Febrero	29 582,58	367,65	36,55	1 114 565	0,48
Marzo	30 498,00	367,06	36,49	1 120 794	0,44
Abril	30 717,79	368,67	36,65	1 100 794	0,46
Mayo	30 037,97	377,28	37,50	1 050 794	0,46
Junio	28 018,68	380,98	37,87	1 138 794	0,42
Julio	30 070,90	373,72	37,15	1 184 565	0,43
Agosto	31 886,36	377,50	37,53	1 117 630	0,43
Septiembre	29 783,45	373,49	37,13	1 242 947	0,44
Octubre	33 478,98	382,63	38,03	1 047 632	0,43
Noviembre	27 544,37	380,77	37,85	1 176 988	0,41
Diciembre	31 096,53	380,77	37,85	1 176 988	0,49

Fuente Área contable laminación largos

Tabla 13: Costos de producción laminación largos enero – marzo 2018

	<b>PERSONAL (\$)</b>	<b>ENERGETICOS (\$)</b>	<b>MATERIALES ESPECIFICOS (\$)</b>	<b>MANTENIMIENTO (\$)</b>	<b>OTROS COSTOS OPERACIONALES (\$)</b>
Enero	246 330,59	721 803,52	271 989,78	245 014,62	779 811,41
Febrero	196 158,87	633 550,22	251 739,51	263 487,37	663 585,20
Marzo	234 326,77	826 367,02	171 216,00	259 202,43	785 272,85
<b>Total</b>	<b>676 816,22</b>	<b>2 181 720,76</b>	<b>694 945,30</b>	<b>767 704,43</b>	<b>2228 669,47</b>

Fuente Área contable laminación largos

Tabla 14: Costos energéticos laminación largos enero - marzo 2018

	<b>ENERGIA ELECTRICA</b> (\$)	<b>GAS NATURAL</b> (\$)	<b>OTROS ENERGETICOS</b> (\$)	<b>OXIGENO</b> (\$)
Enero	244 809,86	546 090,94	1 069,57	29 833,14
Febrero	177 442,25	436 512,21	898,70	18 697,06
Marzo	260 707,73	547 320,63	1 136,20	17 202,47
<b>Total</b>	<b>682 959,84</b>	<b>1529923,78</b>	<b>3 104,48</b>	<b>65732,66</b>

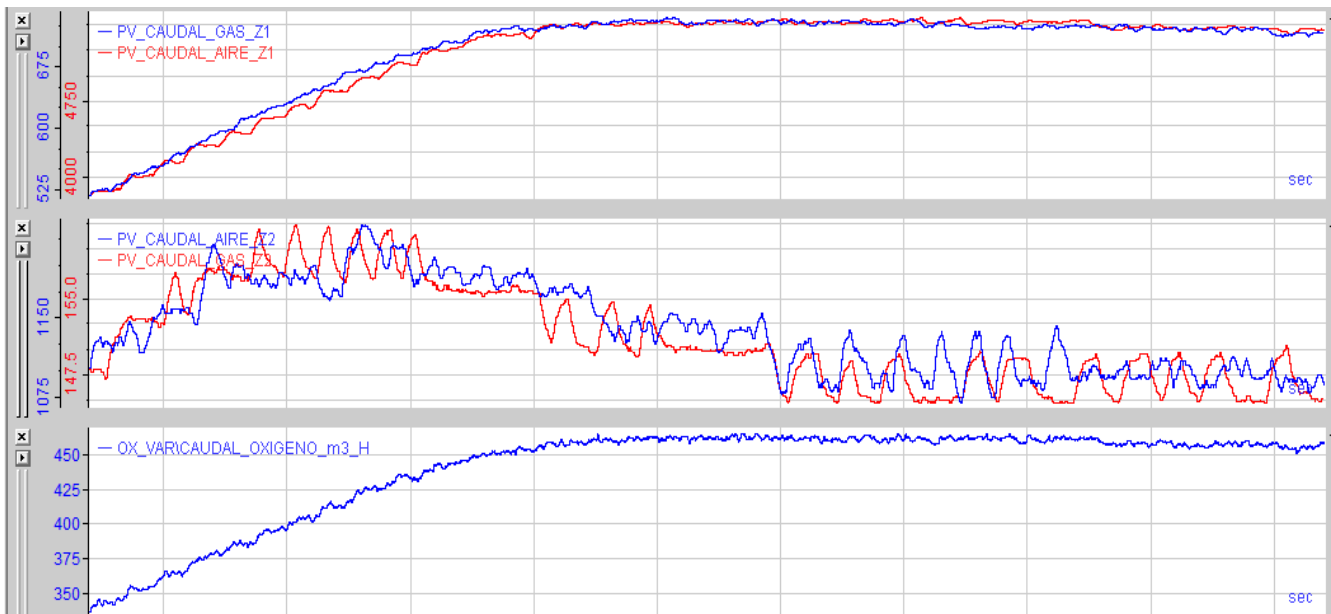
Fuente Área contable laminación largos

Tabla 15: Eficiencia Energética enero - marzo 2018

	<b>PRODUCCIÓN</b> (Tn)	<b>ENERGÍA DE RECALENTAMIENTO</b> (Kwh/T)	<b>RATIO</b>	<b>CONSUMO GN Sm3</b>	<b>PRECIO</b> (\$/m3)
Enero	32 762,30	377,77	37,55	1 230 286	0,44
Febrero	28 055,12	369,67	36,75	1 030 927	0,42
Marzo	32 767,81	376,79	37,45	1 227 287	0,45

Fuente Área contable laminación largos

Gráfica 13: caudales del horno software iba



Fuente Área Mantenimiento laminación largos

Tabla 16: Caudales de los hornos de Recalentamiento

Horno 1			Horno 2		
Oxígeno m <sup>3</sup>	Aire m <sup>3</sup>	Gas m <sup>3</sup>	Oxígeno m <sup>3</sup>	Aire m <sup>3</sup>	Gas m <sup>3</sup>
602.464	9480,126	1550,824	347,47	5057,95	685,62
612.926	9633,329	1563,048	367,43	5368,65	726,12
613.520	9630,287	1566,350	386,38	5646,57	767,13
613.716	9639,384	1574,262	404,79	5907,53	801,52
607.838	9539,826	1564,194	423,64	6188,58	833,85
608.941	9602,045	1549,927	439,06	6399,41	855,28
605.374	9543,430	1543,116	450,67	6563,88	873,60
599.390	9452,734	1543,106	457,21	6643,53	876,18
598.882	9469,768	1540,834	460,93	6647,38	880,76
594.562	9363,275	1520,347	462,22	6650,40	880,83
586.460	9171,728	1514,553	462,83	6654,74	880,13
584.764	9153,151	1508,910	461,85	6630,26	876,85
585.130	9172,493	1504,666	461,52	6627,37	874,97
586.514	9200,366	1498,591	461,72	6637,58	873,50
584.258	9168,224	1487,162	462,44	6633,64	870,74
576.415	9024,490	1467,220	461,23	6625,13	869,68
562.699	8774,204	1411,894	459,6	6580,33	870,80
541.707	8421,873	1373,519	457,86	6566,41	868,46
535.251	8337,451	1366,075	457,85	6563,65	866,72
535.266	8342,694	1374,098	456,11	6536,00	862,34
539.120	8406,352	1405,977			
556.635	8738,501	1441,027			
575.120	9064,784	1473,980			

Fuente Área contable laminación largos

Tabla 17: Demanda Diaria de la producción.

Lista de productos	Descripción de Producto	Demanda diaria (20 hrs)		Precio de Venta
		Horno 1	Horno 2	
1	Bc. 3/8"	----	200	\$ 1025 x Tn
2	Bc. 12 mm	----	300	\$ 1025 x Tn
3	Bc. 1/2"	300	350	\$ 1025 x Tn
4	Bc. 5/8"	350	----	\$ 1025 x Tn
5	Bc. 3/4"	200	----	\$ 1025 x Tn
6	Bc. 1"	150	----	\$ 1025 x Tn

Fuente Área contable laminación largos

Tabla 18: Consumo de oxígeno por tonelada

Consumo de oxígeno por Tonelada de palanquilla	Demanda diaria (20 hrs)		Precio de Venta (\$)
	Horno 1	Horno 2	
<b>Producción horaria Tn.</b>	45	30	
<b>Oxígeno en m<sup>3</sup></b>	600	440	0,313
<b>Costo por tn (\$)</b>	4,17	4,59	

Fuente Área contable laminación largos

Tabla 19: Consumo de aire por tonelada

Consumo de aire por toneladas de palanquilla	Demanda diaria (20 hrs)		Precio de Venta kw/h (\$)
	Horno 1	Horno 2	
<b>Producción horaria Tn.</b>	45	30	
<b>Potencia motor Kw.</b>	69,71	58,11	
<b>Aire en m<sup>3</sup></b>	8574	5916	0,071
<b>Costo por tn (\$)</b>	0,11	0,14	
<b>Costo por kw motor (\$)</b>	4,95	4,13	

Fuente Área contable laminación largos

Tabla 20: Consumo de gas por tonelada

Consumo de gas por toneladas de palanquilla	Demanda diaria (20 hrs)		Precio de Venta (\$)
	Horno 1	Horno 2	
<b>Producción horaria Tn.</b>	45	30	0,42
<b>Gas Natural en m3</b>	1500	845	
<b>Costo por tn (\$)</b>	14	11,83	

Fuente Área contable laminación largos

Tabla 21: Costo producto 1

Costo tonelada palanquilla producto 1	Demanda diaria (20 hrs)	
	Horno 1	Horno 2
<b>Costo tonelada palanquilla producto 1</b>	-----	\$ 3,6
<b>Otros costos indirectos tn/hr</b>	-----	\$ 0,98

Fuente Área contable laminación largos

Tabla 22: Costo producto 2

Costos por palanquilla producto 2	Demanda diaria (20 hrs)	
	Horno 1	Horno 2
Costo tonelada palanquilla producto 2	-----	\$ 3,6
Otros costos indirectos tn/hr	-----	\$ 0,91

Fuente Área contable laminación largos

Tabla 23: Costo producto 3

Costos por palanquilla producto 3	Demanda diaria (20 hrs)	
	Horno 1	Horno 2
Costo tonelada palanquilla producto 3.	\$ 3,8	\$ 3,6
Otros costos indirectos tn/hr.	\$ 1,08	\$ 0,91

Fuente Área contable laminación largos

Tabla 24: Costo producto 4.

Costos por palanquilla producto 4	Demanda diaria (20 hrs)	
	Horno 1	Horno 2
Costo tonelada palanquilla producto 4	\$ 3,8	-----
Otros costos indirectos tn/hr	\$ 0,96	-----

Fuente Área contable laminación largos

Tabla 25: Costo producto 5.

Costos por palanquilla producto 5	Demanda diaria (20 hrs)	
	Horno 1	Horno 2
Costo tonelada palanquilla producto 5	\$ 3,8	-----
Otros costos indirectos tn/hr	\$ 0,91	-----

Fuente Área contable laminación largos

Tabla 26: Costo producto 6.

Costos por palanquilla producto 6	Demanda diaria (20 hrs)	
	Horno 1	Horno 2
Costo tonelada palanquilla producto 6	\$ 3,8	-----
Otros costos indirectos tn/hr	\$ 0,91	-----

Fuente Área contable laminación largos.

*Ecuación 13:* Ecuación del modelo (Aire) horno 1:

$$\text{Aire} = -691,866560658184 + 16,8750843513976 * \text{Oxígeno}.$$

*Ecuación 14:* Ecuación del modelo (Gas) horno 1:

$$\text{Gas} = 12,2167542264965 + 2,54067402141744 * \text{Oxígeno}.$$

*Ecuación 15:* Ecuación del modelo (Aire) Horno 2:

$$\text{Aire} = 427,171029805684 + 13,4713312458052 * \text{Oxígeno}.$$

*Ecuación 16:* Ecuación del modelo (Gas) Horno 2:

$$\text{Gas} = 156,475316229908 + 1,56377039552164 * \text{Oxígeno}.$$

Tabla 27: contrastación de hipótesis eficiencia energética.

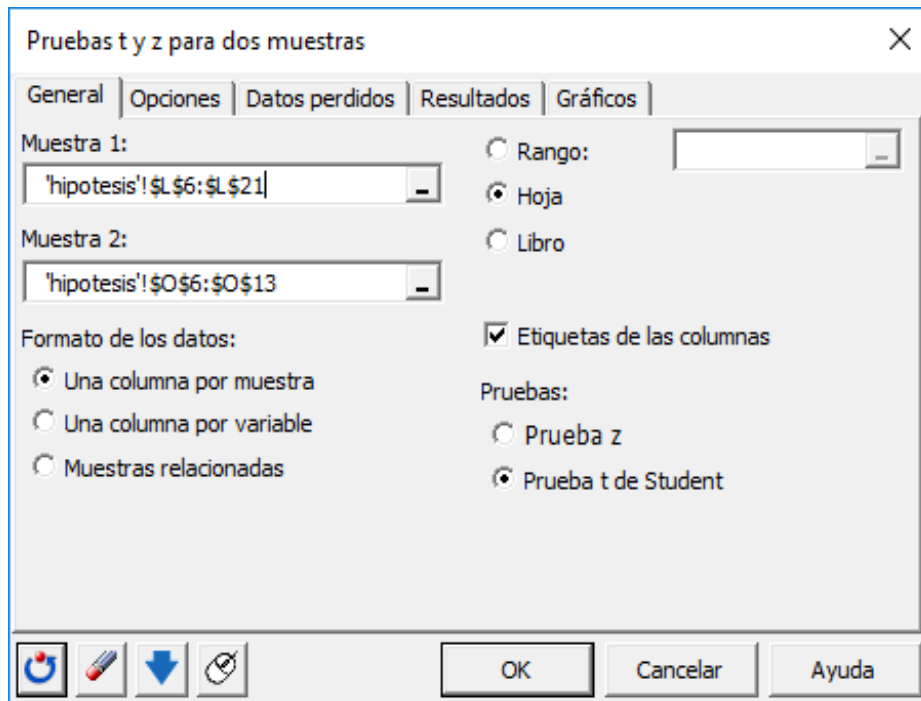
<b>Datos antes de aplicar programación lineal</b>		<b>Datos después de aplicar programación lineal</b>	
<b>Mes</b>	<b>Eficiencia energética inicial</b>	<b>Mes</b>	<b>Eficiencia energética final</b>
ene-17	368,87	abr-18	361,62
feb-17	374,26	may-18	359,31
mar-17	367,65	jun-18	359,17
abr-17	367,06	jul-18	357,95
may-17	368,67	ago-18	354,14
jun-17	377,28	sep-18	352,30
jul-17	380,98	oct-18	352,31
ago-17	373,72	nov-18	349,96
sep-17	377,50		
oct-17	373,49		
nov-17	382,63		
dic-17	380,77		
ene-18	377,77		
feb-18	369,67		
mar-18	376,79		



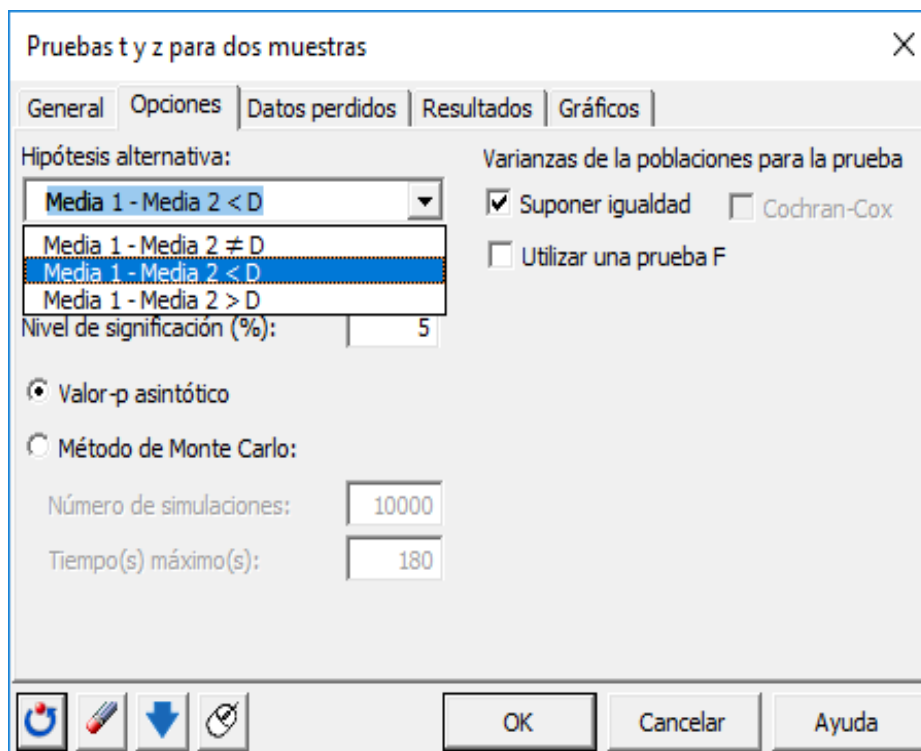
Tabla 28: Contrastación de hipótesis eficiencia económica.

<b>Datos antes de aplicar programación lineal</b>		<b>Datos después de aplicar programación lineal</b>	
<b>Mes</b>	<b>Eficiencia económica inicial</b>	<b>Mes</b>	<b>Eficiencia económica final</b>
ene-17	1,21	abr-18	1,32
feb-17	1,21	may-18	1,34
mar-17	1,26	jun-18	1,54
abr-17	1,24	jul-18	1,47
may-17	1,37	ago-18	1,47
jun-17	1,26	sep-18	1,50
jul-17	1,24	oct-18	1,49
ago-17	1,27		
sep-17	1,23		
oct-17	1,30		
nov-17	1,26		
dic-17	1,16		
ene-18	1,30		
feb-18	1,39		
mar-18	1,30		

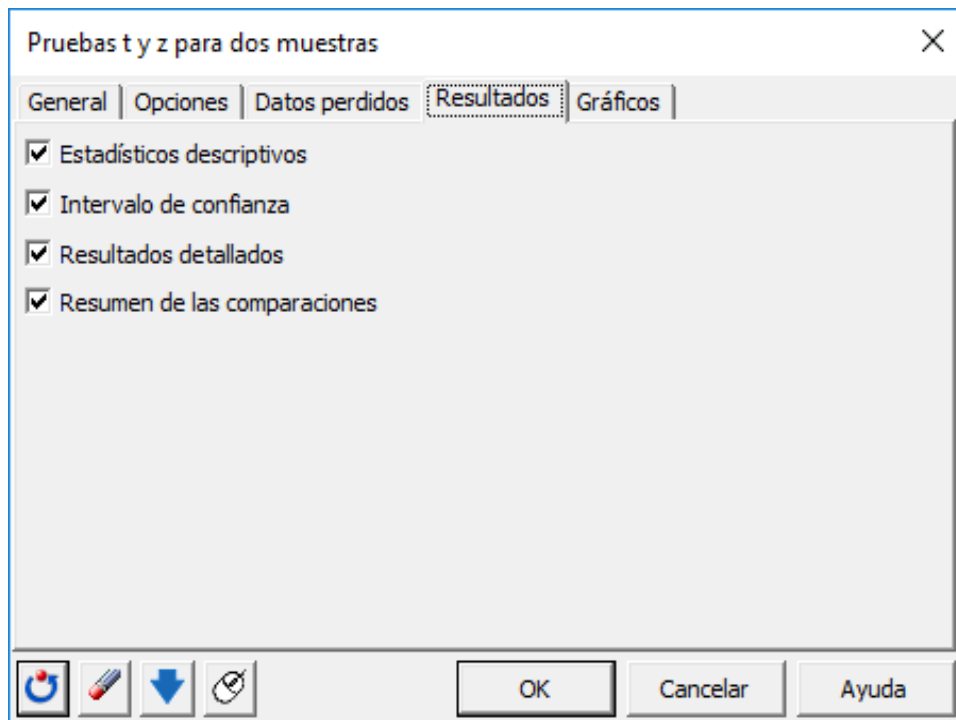
Gráfica 14: Selección de las muestras en Xlstat – Excel



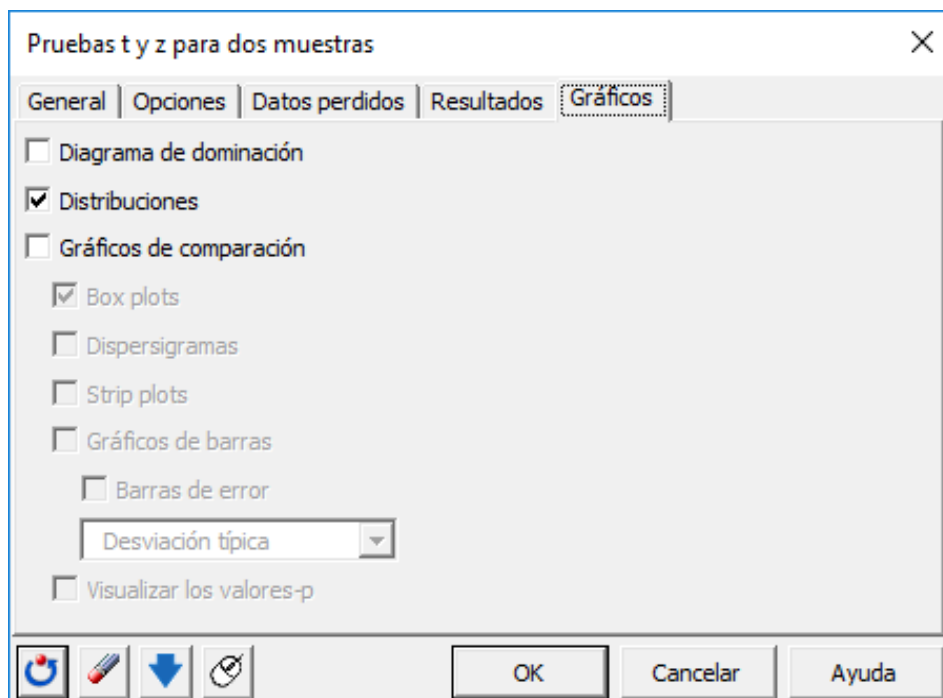
Gráfica 15: Selección de la hipótesis alternativa



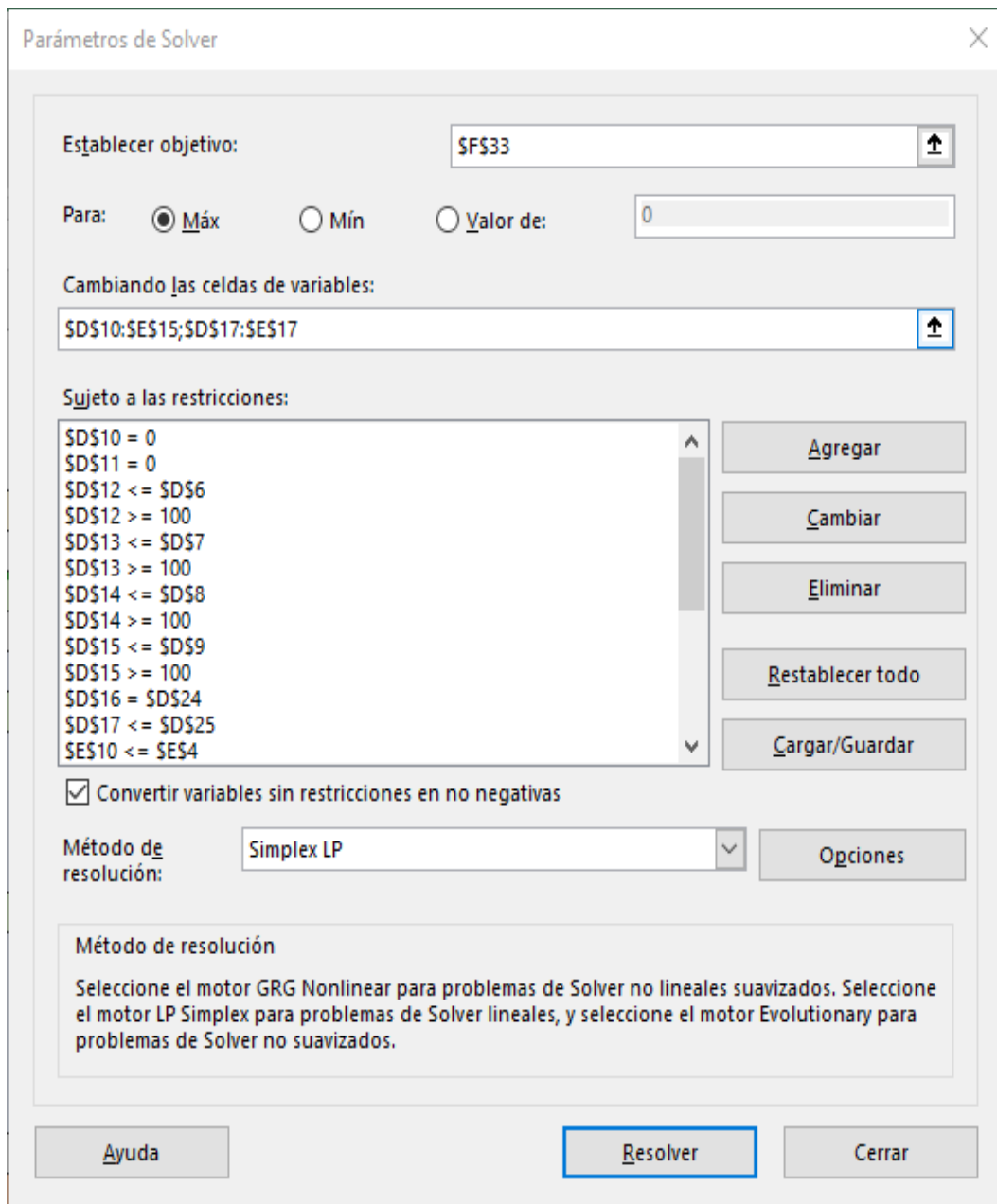
Gráfica 16: Selección de resultados a visualizar



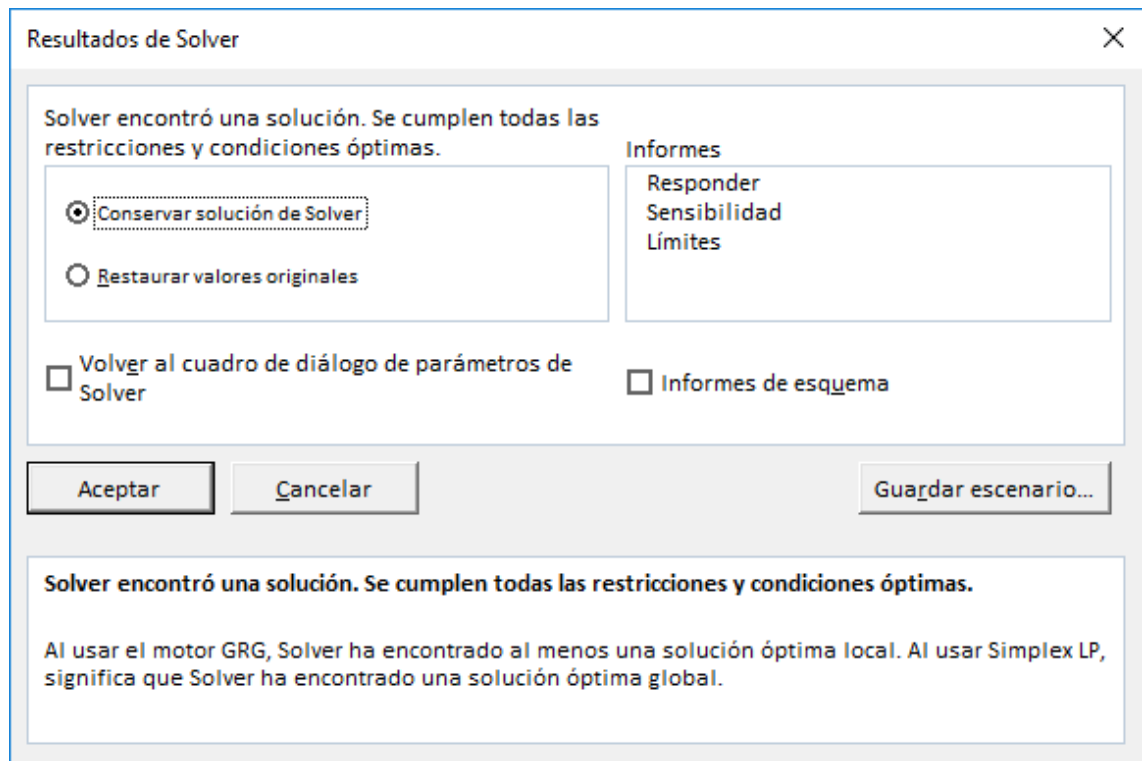
Gráfica 17: Selección de los graficos a visualizar



Gráfica 18: Configuración de la ventana solver



Gráfica 19: Selección de visualización de informes.



**Resultado: Solver encontró una solución. Se cumplen todas las restricciones y condiciones óptimas.**

**Motor de Solver**

Motor: Simplex LP

Tiempo de la solución: 0,078 segundos.

Iteraciones: 7 Subproblemas: 0

**Opciones de Solver**

Tiempo máximo Ilimitado, Iteraciones Ilimitado, Precision ""0,000001""

Máximo de subproblemas Ilimitado, Máximo de soluciones de enteros Ilimitado, Tolerancia de enteros 100%, Asumir no negativo

Celda objetivo (Máx)

Nombre	Valor original	Valor final
Utilidad Total	\$ 17616,00	\$ 17616,00

Nombre	Valor original	Valor final	Entero
Producción Bc. 3/8" Horno 1	0	0	Continuar
Producción Bc. 3/8" Horno 2	200	200	Continuar
Producción Bc. 12 mm Horno 1	0	0	Continuar
Producción Bc. 12 mm Horno 2	260	260	Continuar
Producción Bc. 1/2" Horno 1	300	300	Continuar
Producción Bc. 1/2" Horno 2	100	100	Continuar
Producción Bc. 5/8" Horno 1	350	350	Continuar
Producción Bc. 5/8" Horno 2	0	0	Continuar
Producción Bc. 3/4" Horno 1	106	106	Continuar
Producción Bc. 3/4" Horno 2	0	0	Continuar
Producción Bc. 1" Horno 1	100	100	Continuar
Producción Bc. 1" Horno 2	0	0	Continuar
Producción adicional Horno 1	51	51	Continuar
Producción adicional Horno 2	64	64	Continuar

Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Demora
Produccion general Horno 1	856	\$D\$16=\$D\$24	Vinculante	0
Produccion general Horno 2	560	\$E\$16=\$E\$24	Vinculante	0
Producción Bc. 3/8" Horno 1	0	\$D\$10=0	Vinculante	0
Producción Bc. 12 mm Horno 1	0	\$D\$11=0	Vinculante	0
Producción Bc. 1/2" Horno 1	300	\$D\$12<=\$D\$6	Vinculante	0
Producción Bc. 1/2" Horno 1	300	\$D\$12>=100	No vinculante	200
Producción Bc. 5/8" Horno 1	350	\$D\$13<=\$D\$7	Vinculante	0
Producción Bc. 5/8" Horno 1	350	\$D\$13>=100	No vinculante	250
Producción Bc. 3/4" Horno 1	106	\$D\$14<=\$D\$8	No vinculante	94
Producción Bc. 3/4" Horno 1	106	\$D\$14>=100	No vinculante	6
Producción Bc. 1" Horno 1	100	\$D\$15<=\$D\$9	No vinculante	50
Producción Bc. 1" Horno 1	100	\$D\$15>=100	Vinculante	0
Producción adicional Horno 1	51	\$D\$17<=\$D\$25	Vinculante	0
Producción Bc. 3/8" Horno 2	200	\$E\$10<=\$E\$4	Vinculante	0
Producción Bc. 3/8" Horno 2	200	\$E\$10>=100	No vinculante	100
Producción Bc. 12 mm Horno 2	260	\$E\$11<=\$E\$5	No vinculante	40
Producción Bc. 12 mm Horno 2	260	\$E\$11>=100	No vinculante	160
Producción Bc. 1/2" Horno 2	100	\$E\$12<=\$E\$6	No vinculante	250
Producción Bc. 1/2" Horno 2	100	\$E\$12>=100	Vinculante	0
Producción Bc. 5/8" Horno 2	0	\$E\$13=0	Vinculante	0
Producción Bc. 3/4" Horno 2	0	\$E\$14=0	Vinculante	0
Producción Bc. 1" Horno 2	0	\$E\$15=0	Vinculante	0
Producción adicional Horno 2	64	\$E\$17<=\$E\$25	Vinculante	0

## Anexo 2: Acta de aprobación de originalidad de tesis.

 <b>UCV</b> UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	<b>ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS</b>	Código : F06-PP-PR-02.02 Versión : 07 Fecha : 31-03-2017 Página : 1 de 1
--	--	---

### ACTA N° 010-1-2019-EII/UCV-CH

Yo, Gracia Isabel Galarreta Oliveros, docente de la Facultad de Ingeniería y Escuela Profesional de Ingeniería Industrial de la Universidad César Vallejo filial Chimbote, revisor de la tesis titulada "APLICACIÓN DE LA PROGRAMACION LINEAL PARA MAXIMIZAR LA EFICIENCIA EN HORNOS DE RECALENTAMIENTO, EMPRESA SIDERURGICA DEL PERU S.A.A. CHIMBOTE, 2018", de los estudiantes SANCHEZ CHAUCA, PAUL AUGUSTO / QUISPE SAAVEDRA, ALEX ALBERTO, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 28% verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

Chimbote, 08 de julio del 2019

  
Ms. Gracia Isabel Galarreta Oliveros  
DNI: 17802098

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------

Anexo 3: Autorización de publicación de tesis en repositorio UCV.

 <b>UCV</b> UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	<b>AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL UCV</b>	Código : F08-PP-PR-02.02 Versión : 07 Fecha : 31-03-2017 Página : 1 de 14
--	--	--

Yo, QUISPE SAAVEDRA ALEX ALBERTO, identificado con DNI N° 44837109, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Industrial de la Universidad César Vallejo, autorizo (X), no autorizo ( ) la divulgación y comunicación pública de mi trabajo de investigación titulado "APLICACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN LINEAL PARA MAXIMIZAR LA EFICIENCIA EN HORNOS DE RECALENTAMIENTO, EMPRESA SIDERÚRGICA DEL PERÚ S.A.A. CHIMBOTE, 2018."; en el Repositorio Institucional de la UCV (<http://repositorio.ucv.edu.pe/>), según lo estipulado en el Decreto Legislativo 822, Ley sobre Derecho de Autor, Art. 23 y Art. 33

Fundamentación en caso de no autorización:

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

  
FIRMA

DNI: 44837109

FECHA: 15 de febrero del 2019



 <b>UCV</b> UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	<b>AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE          TESIS EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL          UCV</b>	Código : F08-PP-PR-02.02 Versión : 07 Fecha : 31-03-2017 Página : 1 de 14
--	--	--

Yo, SANCHEZ CHAUCA PAUL AUGUSTO, identificado con DNI N° 40947923, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Industrial de la Universidad César Vallejo, autorizo ( X ), no autorizo ( ) la divulgación y comunicación pública de mi trabajo de investigación titulado "APLICACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN LINEAL PARA MAXIMIZAR LA EFICIENCIA EN HORNOS DE RECALENTAMIENTO, EMPRESA SIDERÚRGICA DEL PERÚ S.A.A. CHIMBOTE, 2018."; en el Repositorio Institucional de la UCV (<http://repositorio.ucv.edu.pe/>), según lo estipulado en el Decreto Legislativo 822, Ley sobre Derecho de Autor, Art. 23 y Art. 33

Fundamentación en caso de no autorización:

.....

.....

.....

.....

.....

  
 FIRMA

DNI: 40947923.

FECHA: 15 de febrero del 2019

Anexo 4: Autorización de la versión final del trabajo de investigación.



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:  
QUISPE SAAVEDRA ALEX ALBERTO

**INFORME TITULADO:**

APLICACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN LINEAL PARA MAXIMIZAR LA EFICIENCIA EN HORNOS DE RECALENTAMIENTO, EMPRESA SIDERÚRGICA DEL PERÚ S.A. CHIMBOTE, 2018.

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

INGENIERO INDUSTRIAL

SUSTENTADO EN FECHA: 15/02/2019

NOTA O MENCIÓN: 18



**Ms. RUTH M. QUILICHE CASTELLARES**  
ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE E.P. INGENIERÍA INDUSTRIAL



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

SANCHEZ CHAUCA PAUL AUGUSTO

INFORME TÍTULADO:

APLICACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN LINEAL PARA MAXIMIZAR LA EFICIENCIA EN HORNOS DE RECALENTAMIENTO, EMPRESA SIDERÚRGICA DEL PERÚ S.A.A. CHIMBOTE, 2018.

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

INGENIERO INDUSTRIAL

SUSTENTADO EN FECHA: 15/02/2019

NOTA O MENCIÓN: 18



  
**Ms. RUTH M. QUILICHE CASTELLARES**  
ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE E.P. INGENIERÍA INDUSTRIAL