

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE POSTGRADO**

PROYECTO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

**“MAGÍSTER EN ESTADÍSTICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN DE
LA CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD”**

TEMA:

DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN EL
RENDIMIENTO METÁLICO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE
UNA EMPRESA SIDERÚRGICA.

AUTOR:

CÉSAR RUBÉN RODRÍGUEZ PARRALES

Guayaquil - Ecuador

2019

DEDICATORIA

A Dios, por darme fortaleza para cumplir esta meta.
A mis padres, hermanos y abuelos por la confianza puesta en mí y el apoyo que siempre me brindaron, a mi esposa Myrian y mis hijos Josué y César por ser mi inspiración de cada día.

AGRADECIMIENTO

Agradezco inmensamente a Dios por darme salud y vida para cumplir esta gran meta, a mis padres y hermanos por ser un pilar fundamental en mi vida, al igual que toda mi familia, al Ing. Julio Morales y Johnny Figueroa por el apoyo incondicional brindado.

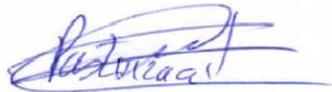
DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Graduación, me corresponde exclusivamente; el patrimonio intelectual del mismo, corresponde exclusivamente a la **Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Departamento de Postgrado** de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.



César Rubén Rodríguez Parrales

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



María Nela Pastuzaca F., Ph.D

Presidente



Gina Ochoa Jara, Mg.

Director



Sandra García Bustos, Ph.D.

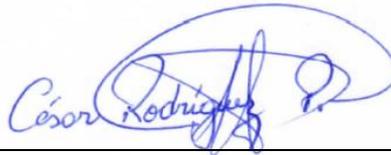
Vocal 1



Francisco Moreira Villegas, Mg.

Vocal 2

AUTOR DEL PROYECTO

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "César Rodríguez P.", enclosed within a large, stylized blue oval.

César Rubén Rodríguez Parrales

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
DECLARACIÓN EXPRESA	iii
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN	iv
AUTOR DEL PROYECTO	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ABREVIATURAS O SIGLAS.....	x
ABSTRACTO	xi
PRESENTACIÓN.....	xii
GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del Problema.....	1
1.3. Justificación.....	2
1.4. Motivación	3
1.5. Objetivos	3
1.5.1 Objetivo General.....	3
1.5.2 Objetivos Específicos	3
1.6. Alcance.....	3
1.7. Metodología.....	3
1.8. Proceso de Producción Objeto de Estudio	4
1.9. Revisión Bibliográfica	9
MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN	11
2.1 Regresión Logística.....	11
2.1.1 Modelos Lineales Generalizados.....	11
2.1.2 Modelos de Regresión Logística	12
2.1.3 Transformaciones de un Modelo de Regresión Logística	12
2.1.4 Estimación de los parámetros del Modelo	14
2.1.5 Inferencia sobre los parámetros	15
2.1.6 Odds Ratios.....	16

2.1.7 Criterios de Selección de Modelos Logísticos	16
2.1.7.1 Akaike	16
2.1.7.2 Bayesiano	17
2.1.7.3 Devianza	17
2.2 Gráficos de Control.....	18
2.2.1 Cartas de Control para mediciones individuales y rango móvil	19
2.3 Diagrama Causa - Efecto	20
CAPÍTULO 3.....	22
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	22
3.1 Fuente de Datos	22
3.2 Variables Objeto de Estudio	25
3.3 Análisis Descriptivo de los Datos.....	28
3.3.1 Análisis Estadístico de Variables Categóricas.....	28
3.3.2 Análisis Estadístico de Variables Cuantitativas	29
3.4 Factores que Inciden en el Rendimiento Metálico	39
3.4.1 Regresión Logística.....	40
3.4.2 Gráficos Estadísticos de Control	44
CAPÍTULO 4.....	53
PROPUESTA DE MEJORA	53
4.1 Diagrama Causa - Efecto	53
4.2 Análisis del Diagrama Causa - Efecto	55
4.3 Propuesta de Mejora	57
CAPÍTULO 5.....	62
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
5.1 Conclusiones.....	62
5.2 Recomendaciones.....	63
BIBLIOGRAFÍA	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1	Distribución de Frecuencias de las Variables Grupo y Turno.....	29
Tabla 3. 2	Estadística Descriptiva de las Variables Objeto de Estudio	30
Tabla 3. 3	Distribución de Frecuencias de la Variable Diámetro.....	34
Tabla 3. 4	Distribución de Frecuencias de la Variable Peso de Palanquillas	35
Tabla 3. 5	Distribución de Frecuencias de la Variable Cantidad de Palanquillas	36
Tabla 3. 6	Distribución de Frecuencias de la Variable Longitud de Palanquillas	37
Tabla 3. 7	Distribución de Frecuencias de la Variable Cantidad de Paquetes	38
Tabla 3. 8	Distribución de Frecuencias de la Variable Rendimiento Metálico	39
Tabla 3. 9	Abreviaturas de las Variables.....	40
Tabla 3. 10	Selección del Mejor Modelo de Regresión Logística.....	41
Tabla 3. 11	Modelo de Regresión Logística.....	42
Tabla 3. 12	Cálculo de los Odds Ratios	43
Tabla 4. 1	Análisis del Diagrama Causa - Efecto.....	56
Tabla 4. 2	Propuesta de Mejora	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Materia Prima (Palanquillas)	5
Figura 1. 2 Tren Laminador.....	5
Figura 1. 3 Despunte en Caliente.....	6
Figura 1. 4 Cobles.....	7
Figura 1. 5 Despunte en Frío	8
Figura 1. 6 Retazos.....	8
Figura 2. 1 Transformación de Funciones Logarítmicas	13
Figura 3. 1 Hoja de Pesaje de Producto Terminado	23
Figura 3. 2 Informe de Producción	24
Figura 3. 3 Tickets de Pesaje de los Subproductos	25
Figura 3. 4 Carta de Control observaciones individuales de los subproductos	44
Figura 3. 5 Cartas de Control Rango móvil de los Subproductos.....	49
Figura 4. 1 Diagrama Causa - Efecto.....	54

ABREVIATURAS O SIGLAS

OR	Odds Ratio
AIC	Criterio de Información de Akaike
BIC	Criterio de Información Bayesiana
UCL	Límite de Control Superior
CL	Límite Central
LCL	Límite De Control Inferior

PRESENTATION

The needs inherent to the development of our country demand an appropriate response to the demand of the construction industry, in this way steel companies dedicated to the elaboration of steel products emerged, providing the country with the ingredient that has made possible a rapid boost to the industry.

The present study is oriented to determine the factors that influence the metallic performance of the production process of a steel company, the initiative of this work arises as a result of the concerns reflected by the shift managers in relation to the weight of the by-products, due that present very high values in the reports, which causes a percentage of metallic performance below the established parameters.

For the development of this project, information was taken from administrative records that are stored in the weighing system of the finished product, information that served to know the frequency of participation of the different variables involved in the production process.

A Logistic Regression model was proposed to predict the possible variables that influence the metallic performance of the production process of a steel company, and control charts were built to evaluate the variability of the by-products generated in the process.

Finally, through the elaboration of a cause - effect diagram, the causes that cause discomfort in the closing of the production reports were identified and based on this, a proposal of improvement was established aimed at the quality control of the production process.

PRESENTACIÓN

Las necesidades inherentes al desarrollo del país exigen una respuesta apropiada a la demanda de la industria de la construcción, de esta forma surgieron empresas siderúrgicas dedicadas a la elaboración de productos derivados del acero, brindando al país el ingrediente que ha viabilizado un rápido empuje a la industria.

El presente estudio está orientado a determinar los factores que influyen en el rendimiento metálico del proceso de producción de una empresa siderúrgica, la iniciativa de este trabajo surge como resultado de las preocupaciones que reflejan los jefes de turnos en relación al peso de los subproductos, debido que presentan valores muy elevados en los informes, lo que ocasiona un porcentaje de rendimiento metálico debajo de los parámetros establecidos.

Para el desarrollo del presente proyecto se tomó información de registros administrativos que reposan en el sistema de la báscula de pesaje de producto terminado, información que sirvió para conocer la frecuencia de participación de las diferentes variables involucradas en el proceso productivo.

Se planteó un modelo de Regresión Logística para predecir las posibles variables que influyen en el rendimiento metálico del proceso productivo de una empresa siderúrgica, además se construyeron gráficos de control para evaluar la variabilidad de los subproductos generados en el proceso.

Finalmente, a través de la elaboración de un diagrama causa – efecto, se identificaron las causas que originan malestar en el cierre de los informes de producción y en base a ello se estableció una propuesta de mejora direccionada al control de calidad del proceso de producción.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Antecedentes

En el país las empresas siderúrgicas tienen inicio en 1964, con trenes laminadores usados, de procedencia Italiana, manejados en aquel tiempo por personal extranjero. Con el pasar de los años se logró una gran demanda y aceptación de los productos que se fabricaban, lo que motivó a inversionistas a adquirir nuevas tecnologías para satisfacer al cliente mediante la diversificación de productos elaborados del acero como es varillas corrugadas, barras redondas, barras cuadradas, alambón, rollo corrugado, entre otros, que son indispensables en el sector de la construcción brindando al país nuevas plazas de trabajo tanto en la siderúrgica como en la construcción.

A inicios de su actividad industrial, la siderúrgica registraba la producción diaria en formatos que eran llenados manualmente, con la aparición de nuevas tecnologías se logra obtener un sistema de pesaje en el cual se registra detalladamente la producción y los insumos utilizados en cada turno, para ello el inspector de calidad recepta en físico tickets de pesaje de los subproductos, que son entregados por operadores de maquinaria pesada y así proceder a cerrar el respectivo informe.

1.2. Planteamiento del Problema

Las necesidades inherentes al desarrollo del país exigen una respuesta apropiada a la demanda de la industria de la construcción, de esta forma surgieron empresas siderúrgicas dedicadas a la elaboración de productos derivados del acero, brindando al país el ingrediente que ha viabilizado un rápido empuje a la industria (Villavicencio, 2014).

El presente estudio relaciona a una siderúrgica dedicada a fabricar productos de acero para la construcción como varillas corrugadas, barras redondas, barras cuadradas de diferentes diámetros, alambρόn y rollo corrugado, que tiene una línea de producción continua con tres turnos rotativos de ocho horas cada uno, y al finalizar cada turno se procede a elaborar un informe donde se resume los insumos que se han utilizado y subproductos generados en el proceso de laminación.

Para la fabricación de los diferentes productos, la siderúrgica utiliza palanquillas o lingotes de acero que son precalentados en un horno para luego ser sometidos a reducción de área con la ayuda de un tren laminador, que cuenta con 21 cajas laminadoras, dos cizallas de corte cuyo trabajo es cortar punta y cola de los defectos que se van formando en cada extremo al reducir el área de cada palanquilla, posteriormente son transportados a la mesa de enfriamiento, para luego mediante un carrito transportador ser dirigidos a una cizalla encargada de realizar cortes a medidas comerciales, seguidamente son amarrados y debidamente pesados en la báscula de pesaje de producto terminado.

En algunas ocasiones los jefes de turno han manifestado su preocupación en relación al peso de los subproductos, puesto que presentan valores muy elevados en los informes, lo que ocasiona un porcentaje de rendimiento metálico debajo de los parámetros establecidos; además, el departamento de control de calidad que tiene a cargo a los inspectores de la báscula de pesaje de producto terminado, no posee un control estadístico que relacione la información de los subproductos que reposa en el sistema de pesaje con las diferentes variables que intervienen en el proceso del cierre de informes. Esta situación motiva a realizar un análisis de los factores que inciden en el rendimiento metálico generado después del proceso de producción.

1.3. Justificación

Los resultados que se obtengan en el presente estudio ayudarán a las empresas siderúrgicas a mejorar la productividad mediante el control de los subproductos que genera el proceso de fabricación de varillas.

Además, proporcionará información relacionada a los factores que influyen en el rendimiento metálico del proceso de producción de varillas de acero, lo que permitirá que las empresas cuenten con un aporte para la toma de decisiones y acciones correctivas.

1.4. Motivación

El proceso para la fabricación de los diferentes productos del acero en la siderúrgica y las oportunidades de adquirir nuevos conocimientos identificando las anomalías que se presentan en la elaboración del respectivo informe de cada turno de producción y posteriormente encontrar una solución, es lo que ha motivado a realizar el presente estudio.

1.5. Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Determinar los factores que influyen en el rendimiento metálico del proceso de producción de una empresa siderúrgica.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Analizar el rendimiento metálico a través de un modelo de Regresión Logística.
- Examinar el comportamiento de los subproductos generados en el proceso de producción mediante gráficos estadísticos de control.
- Elaborar una propuesta de mejora respecto al control de calidad del proceso de producción.

1.6. Alcance

El presente estudio, estudiará el rendimiento metálico registrado en los informes de cada turno de producción de una empresa siderúrgica ubicada en Guayaquil, durante los primeros 6 meses.

1.7. Metodología

Para el análisis del rendimiento metálico generado en el proceso de producción de una empresa siderúrgica, se utilizará un modelo de Regresión Logística que permita determinar los factores que influyen a que el rendimiento metálico del proceso de

producción esté o no conforme, basándose en el criterio que utiliza la empresa en el que se establece que si el rendimiento metálico es mayor o igual al 95% está conforme y si es inferior a ese valor no lo está. Se probarán varios modelos y a través de criterios estadísticos de selección se elegirá el mejor.

Por otro lado, se evaluará el comportamiento de los subproductos que se generan en el proceso de producción (cobles, despunte en frío, despunte en caliente, retazos y laminillas), a través del análisis de gráficos estadísticos de control. Adicionalmente, mediante un Diagrama de Causa Efecto se analizarán las inconformidades en el cierre de los informes de producción.

1.8. Proceso de Producción Objeto de Estudio

El proceso de producción inicia en el horno de precalentamiento de palanquillas o lingotes de acero, la materia prima se transporta por un montacargas hasta las naves o área de carga al horno, donde se comprueba su rectitud y cuadratura. Para conseguir que la palanquilla alcance la temperatura ideal y se transforme en producto final, debe tener un tiempo de 2h30 aproximadamente en el interior del horno.

Una vez pasado el tiempo establecido, la palanquilla sale del horno a una temperatura de 1200°C, posteriormente se traslada a un camino de rodillos y con la ayuda de tres uñas es deslizada y direccionada hasta un camino de rodillos que conducen a la caja # 1 del tren laminador donde inicia el proceso de laminación.

Figura 1. 1 Materia Prima (Palanquillas)



*Fuente: Departamento de Laminación en caliente
Elaboración: César Rodríguez*

Figura 1. 2 Tren Laminador

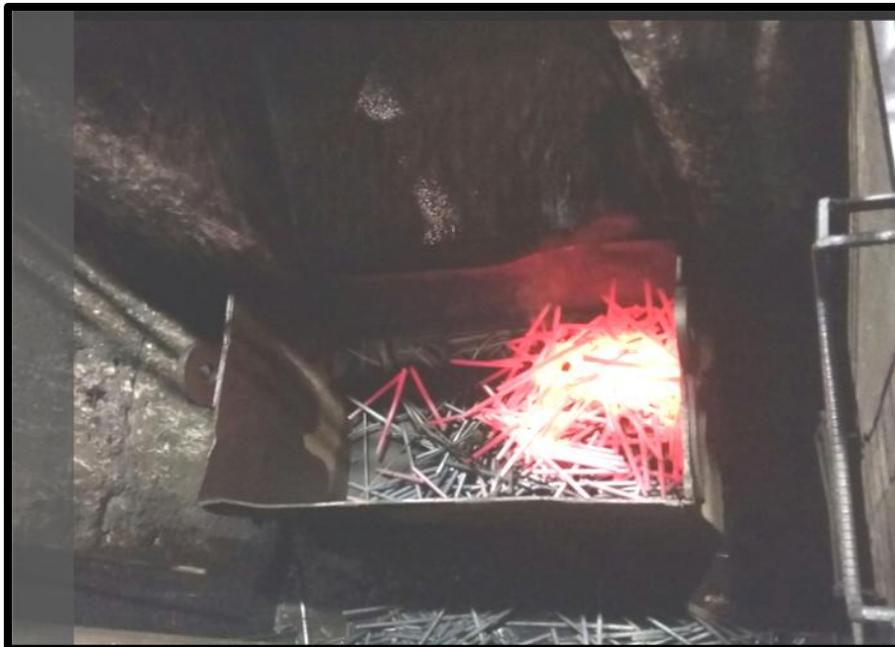


*Fuente: Departamento de Laminación en caliente
Elaboración: César Rodríguez*

El proceso de laminación consiste en pasar las palanquillas o lingotes de acero en un tren formado por 21 cajas laminadoras que está dividido en tres partes: **tren desbaste, tren intermedio y tren terminador.**

El tren desbaste está formado por las 5 primeras cajas laminadoras donde la palanquilla de 130 x 130 mm de espesor por 4,17 metros de longitud, dependiendo el diámetro a laminar, sufre una reducción de sección, dándole forma ovalada de 63 mm de diámetro. Para mayor seguridad al proceso existe un dispositivo formado por cizallas encargadas de cortar aproximadamente 30 cm del inicio y final de cada palanquilla que es sometida a reducción, este proceso se lo denomina despunte en caliente. Cada caja de laminación tiene dos cilindros y están calibrados de acuerdo con la normativa de regulaciones y velocidad de laminación.

Figura 1. 3 Despunte en Caliente



*Fuente: Departamento de Laminación en caliente
Elaboración: César Rodríguez*

El **Tren intermedio** está formado desde la caja laminadora # 6 hasta la 11, permitiendo reducir a un menor diámetro la sección de la palanquilla a 25 mm.

El **Tren terminador** está formado desde la caja laminadora # 12 hasta la 21, cuya función es reducir al mínimo espesor la palanquilla dependiendo del diámetro laminado, dándole forma y diseño de rotulación en la caja laminadora # 21, posterior es sometido a un sistema de enfriamiento denominado “*sistema tempcore*”, donde la varilla corrugada sufre un termotratamiento a base de presión de agua y aire comprimido para que el producto terminado cumpla con las especificaciones de

elasticidad, plasticidad, coeficiente sísmico y ductilidad. Cabe indicar que en el proceso que realiza el tren terminador, se tiene dos opciones de producción: varilla corrugada (mesa de enfriamiento) o alambión (Pomini), para esto simplemente se cambia la dirección de la palanquilla reducida, a una caja terminadora llamada Monoblock.

La varilla corrugada sale del “sistema tempcore” a una temperatura aproximada de 600 °C y ese proceso de cambio brusco de temperatura le da la característica de ser soldable, sus dos estructuras principales se transforman en ferrita-perlita y martensita templada.

En el proceso productivo, las palanquillas que no logran pasar totalmente el tren laminador por causas de desgaste en los guiados, que sufren golpes o se desvían del tren, se las denominan Cobles.

Figura 1. 4 Cobles



*Fuente: Departamento de Laminación en caliente
Elaboración: César Rodríguez*

Finalmente, la varilla corrugada pasa a la cizalla # 3, donde su longitud inicial de 300m es cortada a 48m, luego es transportada mediante un camino de rodillo hacia la mesa de enfriamiento en la cual mediante la cizalla 330 se realizan cortes comerciales de 6, 9, 12 m o longitudes pedidas por los clientes; cabe destacar que

este corte a medida comercial genera mermas denominadas despunte en frío y retazos.

Figura 1. 5 Despunte en Frío



*Fuente: Departamento de Laminación en caliente
Elaboración: César Rodríguez*

Figura 1. 6 Retazos



*Fuente: Departamento de Laminación en caliente
Elaboración: César Rodríguez*

Una vez cortado el material a medida comercial, es transportado hacia la báscula de pesaje de producto terminado donde es debidamente pesado e identificado con fichas y tickets adhesivos donde consta información de fabricación con el rotulado de la empresa, para después ser transportado y almacenado en las bodegas designadas según el diámetro laminado.

La información registrada en la ficha de identificación del producto terminado, ayuda a realizar cualquier tipo de trazabilidad que se requiera, por motivos de remuestreos rutinarios o por reclamos de clientes, esta información básica ayuda a encontrar el producto requerido para realizar los análisis correspondientes y poder tomar algún tipo de decisión. Caber indicar que los subproductos generados en el proceso productivo inicialmente son colados en tanques especiales para su uso, posteriormente con la ayuda de un operador de maquinaria pesada (montacarguista) es transportado hacia una báscula de pesaje, donde se emiten los respectivos tickets de subproductos, para luego ser entregados al inspector de la báscula de pesaje de producto terminado.

1.9. Revisión Bibliográfica

Las constantes quejas de los jefes de turno, ocasionadas por los informes que reflejan bajo rendimiento metálico, motivan a realizar un estudio para determinar los factores que influyen en el rendimiento metálico del proceso de producción de una empresa siderúrgica, para ello se han analizado algunos artículos relacionados con el objetivo que se plantea en el presente trabajo de investigación.

Pozo (2016) realizó un estudio cuyo objetivo es diagnosticar los fallos en los motores eléctricos de inducción, en el que aplicó diferentes modelos logísticos, que permitan pronosticar el estado de los motores, obteniendo como resultado final un modelo que ayude a calcular el tiempo exacto que debe tener un motor para proceder a realizarle un mantenimiento predictivo, y así lograr una reducción de costos por paradas a la empresas.

El autor, Edel Hernández Flores realizó en el año 2016 una investigación cuyo objetivo es modelar el proceso de soldadura utilizado en la rama automotriz, ya que provoca que las propiedades mecánicas se pierdan debido al aporte de calor que generan, en la que utilizó modelos de Regresión Logística, obteniendo como resultado parámetros que minimizan la probabilidad de encontrar defectos provocados en el proceso del soldado, logrando reducir costos en el mismo.

Por otro lado, Rondón y Martínez (2012) diseñaron un modelo matemático cuyo objetivo era determinar la factibilidad de eliminación del corte de cola en el proceso de elaboración de bandas laminadas en caliente mediante la ayuda de un tren continuo, en esta investigación se utilizó un modelo logístico para determinar la longitud factible a cortar de los extremos, es decir, punta y cola, logrando obtener como resultado final un modelo matemático que calcula una longitud exacta de corte de cola que debe tener el proceso, reduciendo costos en desperdicios de materia prima y pérdidas monetarias a la empresa.

Martínez y Buestán (2009) desarrollaron un sistema de control de variables y atributos para un proceso de impresión de una industria gráfica para disminuir los constantes reclamos que recibía la empresa; lo que generaba devoluciones, reprocesos y pérdidas de clientes, para lograrlo utilizaron técnicas básicas para la mejora de la calidad, como son diagrama causa – efecto y gráficos de control, obteniéndose como resultado final un sistema que ayude a controlar a largo plazo el proceso de impresión, reduciendo costos y aumentando la rentabilidad en la empresa.

García, Montero, Ruíz, Vásquez y Álvarez (2008) diseñaron un modelo logístico para detectar los factores económicos que influyen en la productividad de los sectores industriales (alimentos, metalmecánico, químico y plástico), para lograrlo elaboraron un cuestionario basado en preguntas que a su vez se consideraron factores, obteniendo como resultado final el modelo que refleja los factores que permiten diferenciar en mayor proporción a los sectores industriales, ayudando así a aumentar la rentabilidad en el sector industrial.

Finalmente, Jin, Li y Shi (2007) diseñaron un modelo sistemático, para disminuir los defectos superficiales generados en el proceso de laminado, para ello aplicaron un modelo logístico que toma un índice de calidad binario, clasificándolas en bueno y malo, cuyo objetivo es predecir, mejorar y controlar la calidad del producto, para ello se instalaron diferentes tipos de sensores en las cajas laminadoras que recopilan información del proceso y la calidad, dando como resultado un modelo que minimiza los costos generados por defectos en la laminación.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Regresión Logística

Es una técnica estadística que se utiliza para la predicción de respuesta de una variable de tipo binario, es decir éxito o fracaso, en función de varias variables independientes o predictoras. Parte de un análisis regresivo para poder identificar aquellos factores que pueden poner en riesgo un proceso.

2.1.1 Modelos Lineales Generalizados

El autor Cayuela (2010), es del criterio de que los modelos lineales generalizados permiten incluir distribuciones no normales, como la distribución binomial, Poisson o Gamma, y varianzas no constantes.

En la literatura especializada, varios autores hacen referencia a los Modelos lineales generalizados, enfatizando en sus tres componentes:

1. Componente aleatorio: Cañadas (2013), afirma que se refiere a la distribución de la variable de respuesta, dados su predictores. La distribución de Poisson como la binomial y los GLM's forman parte de la familia exponencial.
2. Predictor lineal: Cañadas (2013), considera que es la función lineal de las variables explicativas, suponiendo que $X_1 = x_1, \dots, X_i = x_i$ el predictor asociado a esa combinación de valores de la variables explicativas sería:

$$\eta(x) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_i x_i \quad (2.1)$$

3. Vínculo o link: Cañadas (2013), manifiesta que es la función que especifica la relación entre la esperanza condicionada $E[Y|X_1 = x_1, \dots, X_i = x_i]$ y el predictor lineal. Para los modelos lineales, su relación es directa siendo:

$$E[Y|X_1 = x_1, \dots, X_i = x_i] = \eta(x) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_i x_i \quad (2.2)$$

2.1.2 Modelos de Regresión Logística

Con respecto al modelo de Regresión Logística, la investigadora Aviléz (2017), expone que es aquel que expresa la probabilidad de que ocurra algún evento en función de otras variables, por lo que se tendrá una variable dependiente, que en este caso es dicotómica y una o varias covariables (variables independientes o predictoras), la variable de naturaleza dicotómica puede tomar valores como:

$$Y_i = \begin{cases} 1; & \text{si ocurre el evento} \\ 0; & \text{si no ocurre el evento} \end{cases}$$

En términos de $p(y)$, la función logística se la expresa mediante:

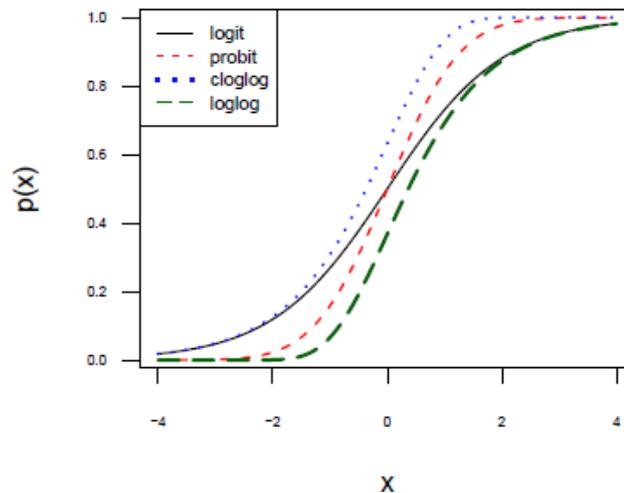
$$p(y) = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_i x_i}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_i x_i}} \quad (2.3)$$

Dónde: $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ representan los parámetros del modelo, considerando que el valor de p crece, si el valor de β es mayor a cero y si la variable aumenta, caso contrario p disminuye.

2.1.3 Transformaciones de un Modelo de Regresión Logística

Las transformaciones que se pueden usar en un modelo de Regresión Logística son: probit, cloglog, loglog y logit. Véase Figura 2.1.

Figura 2. 1 Transformación de Funciones Logarítmicas



Fuente: Regresión logística tratamiento computacional
Elaboración: César Rodríguez

Con respecto al modelo probit, el autor Cañadas (2013) afirma que esta transformación considera como función de transformación a la inversa de la función de distribución normal estándar $N(0,1)$. Se plantea además que es una variante de regresión en la cual la variable dependiente puede llegar a tomar hasta dos valores.

Por otro lado, Cañadas (2013) considera que en el modelo cloglog, esta transformación no tiene un comportamiento asimétrico, asimismo se aleja del valor de probabilidad 1 de una manera más rápida de lo que se acerca al valor 0.

Un modelo de transformación loglog, es aquel donde se obtiene el comportamiento inverso que la transformación cloglog, de forma que si la transformación loglog es adecuada para modelar la probabilidad condicionada a $X=x$ de un suceso, la cloglog es adecuada para modelar el suceso complementario. (Cañadas, 2013).

Finalmente, la función logit es un modelo de regresión logística binaria que indica la relación entre la probabilidad de que pueda ocurrir o no un suceso. La transformación logit se denota mediante:

$$\text{logit}(y) = \ln \frac{p(y)}{1-p(y)} \quad (2.4)$$

Al aplicar la transformación logit en un modelo sobre $p(y)$ se tendría:

$$\text{logit}(y) = \ln \frac{p(y)}{1-p(y)} = \alpha + \sum_{i=1}^n (\beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n) \quad (2.5)$$

Expresado en términos de $p(y)$ quedaría:

$$p(y) = \frac{e^{(\alpha + \sum_{i=1}^n (\beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n))}}{1 + e^{(\alpha + \sum_{i=1}^n (\beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n))}} = \frac{1}{1 + e^{[-(\alpha + \sum_{i=1}^n (\beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n))]} \quad (2.6)$$

La función logit ofrece al modelo de probabilidad lineal varias ventajas, una de estas ventajas es que la expresión para $p(y)$ es acotada entre 0 y 1, es decir, la probabilidad de ser éxito o fracaso.

2.1.4 Estimación de los parámetros del Modelo

Para estimar los parámetros del modelo de Regresión Logística, se utilizará el método de máxima verosimilitud. Gutiérrez (2009), manifiesta que la estimación de máxima verosimilitud es un método que ayuda a estimar los parámetros o coeficientes de un modelo matemático que provee los estimadores que maximizan la probabilidad de observar los datos muestrales bajo tal modelo.

Kutner (2005) indica que la función de máxima verosimilitud para un modelo de Regresión Logística Múltiple es:

$$\log_e L(\beta) = \sum_{i=1}^n Y_i (X_i' \beta) - \sum_{i=1}^n \log_e [1 + e^{(X_i' \beta)}] \quad (2.7)$$

Para encontrar los estimadores de los parámetros del modelo que maximizan la función de verosimilitud se procede a aplicar procedimientos de métodos numéricos (Kutner, 2005). Dichos estimadores se denotan como b_0, b_1, \dots, b_{n-1} y se representan como el vector:

$$\beta_{n \times 1} = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \beta_{n-1} \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Los valores obtenidos son sustituidos en la función de respuesta del modelo Logístico para así obtener la función de respuesta Logística ajustada. Ver expresión matemática (2.9).

$$\hat{\pi}_i = \frac{e^{(X'_i\beta)}}{1+e^{(X'_i\beta)}} = \left[\mathbf{1} + e^{(-X'_i\beta)} \right]^{-1} \quad (2.9)$$

Donde:

$$X'_i\beta = \beta_0 + \beta_1X_{i.1} + \dots + \beta_{n-1}X_{i. n-1} \quad (2.10)$$

2.1.5 Inferencia sobre los parámetros

Parra (2016), contribuye que un contraste de hipótesis es una afirmación que está sujeta a verificación o comprobación sobre uno o más parámetros de una o más poblaciones, en el cual se establecen dos hipótesis: la hipótesis nula H_0 y la hipótesis alternativa H_a .

Para un modelo de Regresión Logística se establece el siguiente contraste para los parámetros del modelo: (Kutner, 2005)

$$\begin{cases} H_0: \beta_k = 0 \\ H_a: \beta_k \neq 0 \end{cases} \quad (2.11)$$

El estadístico de prueba más usado para verificar este contraste se denomina Estadístico de Wald y se lo obtiene dividiendo el valor de cada estimador (b_k) para el error estándar [$S(b_k)$], su expresión matemática es:

$$\text{Estadístico de Wald}(Z^*) = \frac{\text{Estimador } (b_k)}{\text{Error Estandar } [S(b_k)]} \quad (2.12)$$

Una vez encontrado el estadístico de Wald, se procede a verificar las alternativas para el contraste de hipótesis, para ello se utiliza la siguiente regla de decisión:(Kutner, 2005).

$$\begin{cases} \text{Si } |Z^*| \leq Z(1 - \alpha/2) & \text{No se rechaza } H_0 \\ \text{Si } |Z^*| > Z(1 - \alpha/2) & \text{Se rechaza } H_0 \end{cases} \quad (2.13)$$

Donde:

$Z(1 - \alpha/2)$: representa el Percentil $1-\alpha/2$ de la normal estándar

Z^* : Es el valor del Estadístico de prueba (Wald).

2.1.6 Odds Ratios

Es de utilidad para predecir las probabilidades donde un evento tomará un valor de éxito o un fracaso y permite comparar dos grupos o individuos.

De una forma simple, Kleinbaum (2010), define el odd ratio como la razón entre dos odds, siendo un odds la probabilidad de que un evento ocurra sobre la probabilidad de que el mismo evento no ocurra, los subíndices indican los individuos o grupos de personas que se comparan.

$$OR_{y_1, y_2} = \frac{Odds_{y_1}}{Odds_{y_0}} = \frac{\frac{P(y_1)}{1-P(y_1)}}{\frac{P(y_0)}{1-P(y_0)}} \quad (2.14)$$

2.1.7 Criterios de Selección de Modelos Logísticos

Existen varios criterios que pueden ayudarnos a seleccionar un modelo de regresión logística, en el estudio se han tenido en cuenta diferentes criterios que contribuyen a que el modelo tenga mejor ajuste en los datos, se utilizan los criterios de información de Akaike, bayesiana y devianza.

2.1.7.1 Akaike

AIC (Criterio de información de Akaike), ayuda a evaluar la calidad de un modelo estadístico en sentido relativo Akaike (1974), se lo aplica para identificar el mejor modelo entre un grupo de modelos que tiene la misma variable de respuesta, en el presente estudio ayudará a seleccionar cual es el mejor modelo que permita identificar los factores que intervienen en el rendimiento metálico. Al momento de seleccionar el modelo que mejor se ajuste a los datos, se debe elegir el que tiene menor AIC, la expresión matemática para calcularlo es:

$$AIC = 2 * K - 2 * \ln(L) \quad (2.15)$$

Donde:

K: representa el número de parámetros

L: representa el valor máximo que alcanza el modelo en la función de verosimilitud.

2.1.7.2 Bayesiano

Según el autor Posada (2004), el BIC (Criterio de información Bayesiano), se desarrolló como una aproximación a la probabilidad marginal logarítmica de un modelo.

Profundiza el autor Caballero (2011), al plantear que este criterio se obtiene al analizar el comportamiento de la probabilidad a posteriori entre un conjunto finito de modelos, cuando el tamaño de la muestra (n) tiende a ser infinito, bajo la hipótesis de algunas distribuciones a priori de los parámetros. Al igual que el AIC, mientras más bajo sea su valor, existirá un mejor ajuste en los datos, a continuación la expresión matemática que lo determina:

$$BIC = 2 * L + K * \log(n) \quad (2.16)$$

Donde:

K: representa el número de parámetros

L : representa el valor máximo que alcanza el modelo en la función de verosimilitud.

n: representa al tamaño de la muestra

2.1.7.3 Devianza

El investigador Cayuela (2010), manifiesta que la devianza da una idea libre de la variabilidad de los datos. Por ello, para obtener una medida de variabilidad explicada por el modelo, hemos de comparar la devianza del modelo nulo (Null deviance) con la devianza residual (Residual deviance), esto es, una medida de cuánto de la variabilidad de la variable de respuesta es explicado por el modelo.

Aviléz (2017), manifiesta que la devianza determina si las variables explicativas seleccionadas son importantes para explicar la variable criterio y la variabilidad de

los datos. También indica que cuando la devianza del modelo es más pequeña, el ajuste de los datos es bueno.

$$D^2 = \frac{\text{devianza.modelo.nulo} - \text{devianza.residual}}{\text{devianza.modelo.nulo}} * 100 \quad (2.17)$$

2.2 Gráficos de Control

También conocido como cartas de control, Walpole (2012) manifiesta que son técnicas estadísticas gráficas que su utilidad radica en determinar si el desempeño de un proceso se mantiene en un nivel aceptable de calidad. Por otro lado, Zurita (2010) los considera “esquemas gráficos” que en un espacio de tiempo presentan evidencia acerca del proceso, precisando si se encuentra bajo control o si por alguna razón presenta irregularidades en su variabilidad, esto permite que puedan tomarse acciones o medidas correctivas inmediatas.

Las cartas de control se orientan hacia las causas especiales de variación cuando estas aparecen y reflejan la magnitud de la variación debida a causas comunes o aleatorias. Las causas comunes en el presente estudio hacen referencia a los subproductos o mermas generados en el proceso de producción de una siderúrgica pueden ser: cajas con rodillos laminadores cruzados, falta de mantenimiento en los montacargas, tanque de despuntes con orificios muy pronunciados, báscula de pesaje descalibrada, entre otros.

Existen diferentes gráficas de control que pueden ayudarnos a realizar una revisión en función de la variable a observar y del proceso a controlar, estas pueden ser de dos clases: por variables y por atributos.

En la literatura especializada se precisa por autores como Pastuizaca (2016), que las cartas de control por variables son utilizadas sí la característica de calidad es medible y, es expresada como un número en una escala continua de la medición, se aplica para esta situación un control sobre la tendencia central y variabilidad de los datos.

El investigador Walpole (2012) considera que las cartas de control por atributos son de utilidad para identificar si las características de un producto se ajustan a requisitos establecidos normativamente, y poder determinar si el producto está o no defectuoso.

En el presente estudio se utilizará las cartas de control por variables para mediciones individuales y rango móvil las cuales permitirán identificar si existe o no variabilidad en los subproductos generados en el proceso de producción.

2.2.1 Cartas de Control para mediciones individuales y rango móvil

Según Loaiza (2013), las cartas de control para observaciones individuales es un gráfico que representa una característica de calidad X cuantitativa, y sigue una distribución normal. Se lo utiliza cuando no es posible tomar más que una sola muestra, también cuando el tiempo de generación de un producto toma mucho tiempo en fabricarse. Por otro lado Montgomery (2009), manifiesta que estas cartas de control, se las utiliza en aquellas situaciones donde el tamaño de la muestra utilizado para el monitoreo del proceso es $n = 1$, es decir, la muestra consiste en una unidad individual.

Para la elaboración de la carta de control para observaciones individuales, se deben tener presente sus límites o intervalos basados en $\pm 3\sigma$, los que se determinan de la siguiente forma:

$$LCS = \bar{\bar{X}} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (2.18)$$

$$LC = \bar{\bar{X}} \quad (2.19)$$

$$LCI = \bar{\bar{X}} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (2.20)$$

Por otro lado, las cartas de control de rangos móviles se basan en los valores absolutos entre las diferencias de observaciones consecutivas, diseñadas para detectar los cambios en la variabilidad del proceso a partir del cálculo de los rangos de las muestras.

Igual que en las cartas de control de observaciones individuales es necesario tener presente sus límites o intervalos, la siguiente expresión permite calcular dichos intervalos:

$$LSC = D_4 \overline{MR} \quad (2.21)$$

$$LC = \overline{MR} \quad (2.22)$$

$$LSI = 0 \quad (2.23)$$

Las cartas de control de observaciones individuales y rango móvil son consideradas como una ayuda para el seguimiento estadístico del control de calidad y variabilidad de un proceso; alertan e indican la existencia de algún defecto o alteración, en el mismo.

2.3 Diagrama Causa - Efecto

Se considera una técnica de representación gráfica parecida a una espina de pescado, la misma permite analizar las causas directas o posibles que incidan o puedan incidir, causando un efecto de interés. El autor (Gutiérrez, 2009, p152), afirma que es una técnica gráfica que relaciona un problema o efecto con los factores o causas que posiblemente lo generan. La importancia de este diagrama radica en que obliga a buscar las diferentes causas que afectan el problema bajo análisis y, de esta forma se evita el error de buscar de manera directa las soluciones sin cuestionar cuáles son las verdaderas causas.

Para su elaboración primeramente se procede a identificar un problema o efecto, luego se enumera causas que expliquen potencialmente su comportamiento, además, cada causa puede dar origen a otras subcausas permitiendo así, tomar acciones correctivas al momento de analizar su comportamiento.

El diagrama causa – efecto puede ser analizado a través de una matriz en la que se establecen posibles soluciones a las distintas causas y a cada una de ellas se les asigna una calificación basada en criterios que miden el beneficio de cada solución, posteriormente se puede seleccionar las causas que resulten con mayor ponderación para diseñar una propuesta de mejora para cada problema que se

encuentre en un análisis realizado, finalmente se puede involucrar a las diferentes áreas que participan en un proceso de producción.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Fuente de Datos

El análisis realizado en este trabajo de graduación se basa en los datos que reposan en los registros administrativos del sistema de pesaje de la báscula de producto terminado de una empresa siderúrgica, correspondiente al primer semestre del año 2017.

El sistema de pesaje es una hoja de cálculo donde se registra los datos del peso de paquete o rollo de alambón que genere el proceso productivo, además resume detalladamente el total de producción óptima vs total de materia prima utilizada por cada turno, también refleja los valores de los subproductos o mermas generadas en el proceso, en la figura 3.2 se puede apreciar valores de una hoja creada en el sistema de pesaje.

Figura 3. 1 Hoja de Pesaje de Producto Terminado

Formulario de Datos:

Número Control: 9977 Turno: Turno A Fecha Inicio: 2017/04/25 00:00 Fecha Fin: 2017/04/25 08:00

Clase: Varilla Forma: De acero con resalte Diámetro: 10.00 Grado: Tempcore

Grado Mat. Prima: SAE-1029 Norma Inen: NTE-INEN-2167 Grado Acero Prod. T.: 42

Laminador Baan: PORTOCARRERO MARQUEZ JO

Responsable Turno Baan: CONTRERAS OLVERA JULIO CE

Producción ADELCA: Laminador: Danieli

Sec.	Num. Paquete	Producto	Long.	Masa	# Var. X Paq.	Procedencia	Pedido No	Orden Producción	Estado	Posible Cantidad
1	659303	VARILLA CORRUGADO SOLDABLE 10 N	12	598	82	ACERIA	FU - 33129	LA0002233	Enviado	80.77
2	659304	VARILLA CORRUGADO SOLDABLE 10 N	12	2422	330	ACERIA	FU - 33129	LA0002233	Enviado	327.12
3	659305	VARILLA CORRUGADO SOLDABLE 10 N	12	2418	330	ACERIA	FU - 33129	LA0002233	Enviado	326.58
4	659306	VARILLA CORRUGADO SOLDABLE 10 N	12	2414	330	ACERIA	FU - 33129	LA0002233	Enviado	326.04
5	659307	VARILLA CORRUGADO SOLDABLE 10 N	12	2412	330	ACERIA	FU - 33129	LA0002233	Enviado	325.77
6	659308	VARILLA CORRUGADO SOLDABLE 10 N	12	2390	330	ACERIA	FU - 33129	LA0002233	Enviado	322.8
7	659309	VARILLA CORRUGADO SOLDABLE 10 N	12	2380	330	ACERIA	FU - 33129	LA0002233	Enviado	321.45
8	659310	VARILLA CORRUGADO SOLDABLE 10 N	12	2378	330	ACERIA	FU - 33129	LA0002233	Enviado	321.18
9	659311	VARILLA CORRUGADO SOLDABLE 10 N	12	2380	330	ACERIA	FU - 33127	LA0002233	Enviado	321.45
10	659312	VARILLA CORRUGADO SOLDABLE 10 N	12	2382	330	ACERIA	FU - 33127	LA0002233	Enviado	321.72
11	659313	VARILLA CORRUGADO SOLDABLE 10 N	12	2380	330	ACERIA	FU - 33127	LA0002233	Enviado	321.45

Sub Productos:

Item	Producto	Cantidad
1	COBLES	2172
2	DTE. CALIT.	2478
3	DTE. FRIO	2110
4	RETAZO	1980
5	CASCARILLA	1159

Total ==>> 9899

MATERIAL OPTIMO:

Long.	Masa Kg.	# Var. X Paq.	# de Paq.
6m	1544	410	1
9m	2100	385	1
12m	295082	40352	124

298726 41147 126

F6: Imprime Ticket F7: Captura Peso
F8: Imp. Ticket Prod. Terminado

Especificar Path. para Archivo Capturador Peso

Fuente: Báscula de Pesaje de Producto Terminado
Elaboración: César Rodríguez

Una vez culminada cada jornada de trabajo se procede a elaborar el informe de producción, donde se sintetiza los insumos utilizados vs los beneficios obtenidos en un turno, cabe indicar que para el presente estudio se recopiló información de 371 informes debidamente cerrados, a continuación se muestra un informe de producción:

Figura 3. 2 Informe de Producción

CONTROL DE PRODUCCION POR TURNO									
« 00009977 »									
TURNO: « A »					FECHA INICIAL: 25/04/2017 00:00				
FORMA: A					FECHA FINAL: 25/04/2017 08:00				
DIAMETRO: 10MM					GRADO DE ACERO: SAE-1029				
DESCARGA DE PALANQUILLAS AL HORNO									
PROCEDENCIA	CODIGO	PEDIDOS	PESO Kg	SECCION mm	LARGO m	PALANQ. No.	PESO TOTAL (tn)	SUB - PRODUCTOS	Kg
ACERIA	00018		548.180	130	4.17	563	308.625	COBLES	2172
								RECUPERABLES	0
								DES . CALIENTE	2478
								DES . FRIO	2110
								RETAZOS	1980
								RECHAZO	0
								LAMINILLAS	1158
						563	308.625	SUB - TOTAL	9899
PRODUCTOS (tn)									
LARGO	VARILLAS	PESO	PAQUETES No.	ACUMULADO	PESO TEORICO	% DIFERENCIA	RENDIMIENTOS		
6 m	410	1.544	1		1.518	1.73	RENDIMIENTO METALICO		
9 m	385	2.100	1		2.138	1.77	96.79 %		
12 m	40352	295.082	124		298.766	1.23	RENDIMIENTO PROMEDIO		
Otros			0				%		
							HORAS DISPONIBLES		
TOTAL	41147	298.726	126			0.000	%		
OBSERVACIONES:									
Materia Prima --- Aceria --- SAE - 1029									
Se elabora informe segun el # de palanquillas que informa producción									
Subproducto es pesado totalmente									
ORDENES: (# L A 0002233 - 12 mts - L A 0002234 - 9 mts - L A 0002235 - 6 mts) 10 mm --- Varilla Corrugada									
H. Cobos R.									
CONTROL DE PRODUCCION									
GESTION DE CALIDAD									

*Fuente: Báscula de Pesaje de Producto Terminado
Elaboración: César Rodríguez*

Para elaborar el informe de producción, personal de apoyo del área de laminación, colabora pesando por separado, las mermas generadas en el proceso, en la que

se obtienen tickets que reflejan el peso de cada subproducto generado en cada turno de producción, dichos documentos son receptados por el inspector de control de producción.

Figura 3. 3 Tickets de Pesaje de los Subproductos

7104371	7104384	7104381
--- ENTRADA --- 7104371 Fecha : 25/04/2017 Hora : 09:01 Peso Bruto - Kg : 32.160	--- ENTRADA --- 7104384 Fecha : 25/04/2017 Hora : 09:48 Peso Bruto - Kg : 29.150	--- ENTRADA --- 7104381 Fecha : 25/04/2017 Hora : 09:21 Peso Bruto - Kg : 27.750
--- SALIDA --- 7104371 Fecha : 25/04/2017 Hora : 09:07 Peso Tara - Kg : 27.510 PESO NETO - Kg : 4.650	--- SALIDA --- 7104384 Fecha : 25/04/2017 Hora : 09:51 Peso Tara - Kg : 27.040 PESO NETO - Kg : 2.110	--- SALIDA --- 7104381 Fecha : 25/04/2017 Hora : 09:26 Peso Tara - Kg : 25.770 PESO NETO - Kg : 1.980
Material: <u>DESPUNTE CALIENTE</u> <u>V. COBLE</u>	Material: <u>DESPUNTE FRIO</u>	Material: <u>RETAZO VARILLA</u>
Pedido No.: <u>STOCK</u>	Pedido No.: <u>STOCK</u>	Pedido No.: <u>VEZZANI</u>
Procedencia: <u>LAMINACION</u>	Procedencia: <u>LAMINACION</u>	Procedencia: <u>LAMINACION</u>
Chofer: <u>QUIMI</u>	Chofer: <u>QUIMI</u>	Chofer: <u>QUIMI</u>
Placas: <u>HYUNDAI</u>	Placas: <u>HYUNDAI</u>	Placas: <u>HYUNDAI</u>
Pesador: <u>JOSE WONG</u>	Pesador: <u>JOSE WONG</u>	Pesador: <u>JOSE WONG</u>

Fuente: Báscula de Pesaje de Producto Terminado
Elaboración: César Rodríguez

3.2 Variables Objeto de Estudio

En la presente investigación se analizan un total de 13 variables que hacen referencia a las diferentes etapas del proceso de producción, donde 2 son variables categóricas y 11 son variables cuantitativas. El detalle de cada una de ellas se muestra a continuación:

Variables Categóricas

- Turno
- Grupo

Variables Cuantitativas

- Diámetro
- Peso de palanquilla
- Longitud

- Cantidad de palanquillas
- Cantidad de paquetes
- Rendimiento metálico
- Cobles
- Despunte en caliente
- Despunte en frío
- Retazo
- Laminilla

Turno

Se considera turno a las jornadas madrugada, día y noche, en el caso de la siderúrgica se caracteriza de la siguiente manera: el turno de madrugada corresponde al horario de 00h00- 07h59, el turno de día corresponde al horario de 08h00-15h59 y el turno de la noche corresponde al horario de 16h00-23h59.

Grupo

Conjunto de 30 personas aproximadamente, que pertenecen al área de laminación. En la investigación se establecen 3 grupos que se denominan A, B y C, cada grupo pertenece a una misma línea de producción llamada laminación en caliente.

Diámetro

Es la anchura de forma circular que tiene una varilla corrugada o alambón expresada en milímetros, en el presente estudio se establecieron tres clases: (<12, >=12 - <=16, >16) mm.

Palanquilla

Es una barra de forma rectangular con extremos de sección cuadrada de 130x130 de espesor, utilizadas para elaborar varillas corrugadas y otros aceros que benefician al sector de la construcción, se expresa en kilogramos.

Peso de palanquilla

Es el valor referencial de masa que tiene una palanquilla en relación a la densidad del acero y el volumen, está expresada en kilogramos.

Longitud

Es el largo de una palanquilla, esta expresado en metros y se han establecidos dos categorías ≤ 4.00 y > 4.00 m.

Cantidad de paquetes

Es el total de paquetes fabricados en un turno de producción, que se encuentran debidamente embalados o amarrados, se la expresa en unidades.

Rendimiento metálico

Es la representación proporcional entre la producción óptima y el total de materia prima utilizada, su expresión está dada en porcentaje.

Cobles

En el proceso productivo, las palanquillas que no logran pasar totalmente el tren laminador por causas de desgaste en los guiados y sufren golpes o se desvían del tren se los denominan cobles y está expresada en kilogramos.

Despunte en Caliente

Consiste en cortar aproximadamente 30 cm del inicio y final (punta y cola), de cada palanquilla que es sometida a reducción, se expresa en kilogramos.

Despunte en Frío

Consiste en cortar el inicio y final (punta y cola), de cada varilla para obtener una longitud estándar, esta expresada en kilogramos.

Retazo

Se adquiere cuando se realizan cortes comerciales a 6 y 9 m de varillas es decir pedazos de varillas que no tienen una longitud estándar, se expresa en kilogramos, en el caso del alambroón son aquellos rollos que en su proceso han estado mucho tiempo expuestos al calor, lo que ocasiona debilidad en espiras.

Laminilla

Conocido también como cascarilla, se genera cuando ingresan las palanquillas al tren laminador, viene expresado en kilogramos.

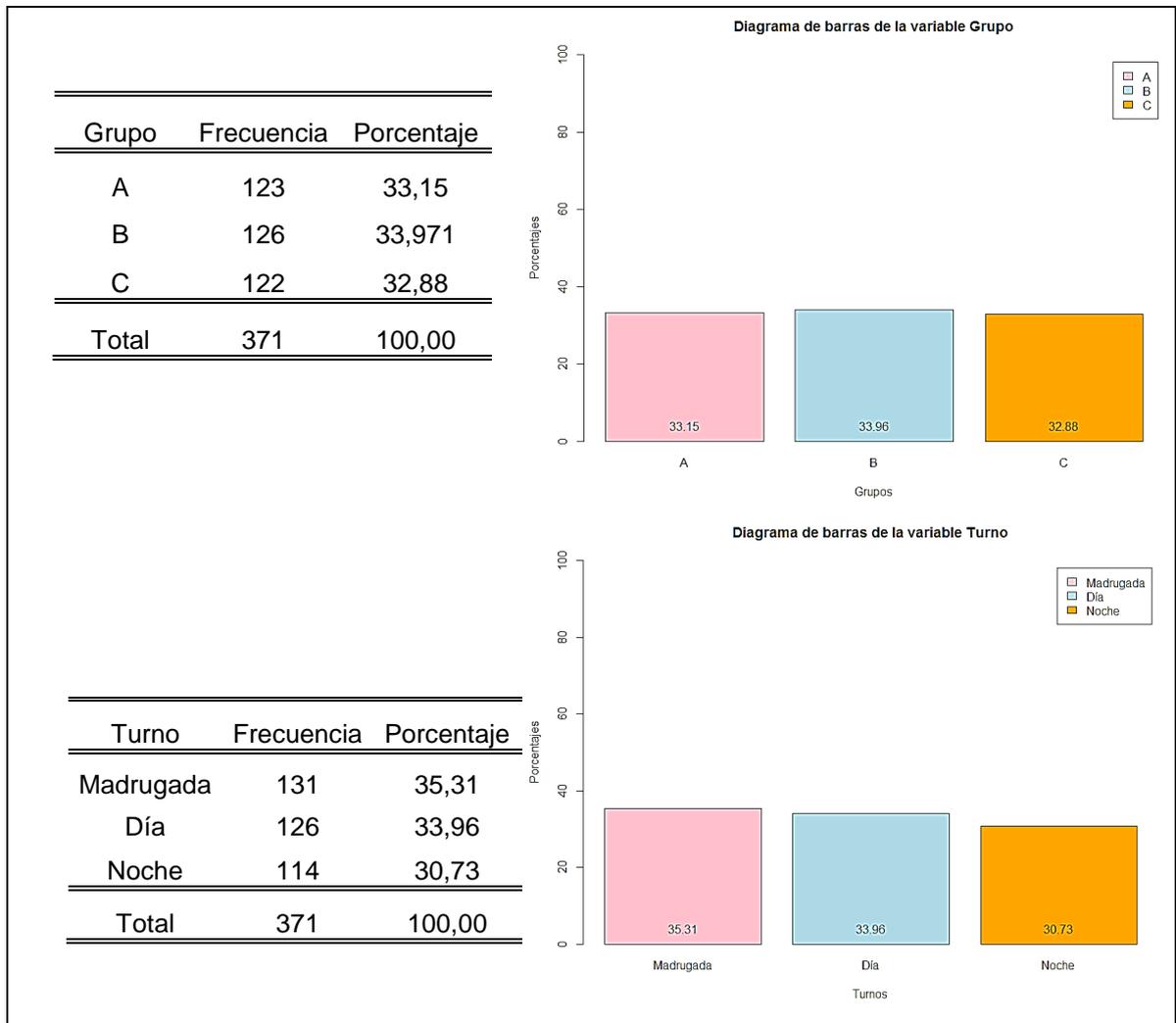
3.3 Análisis Descriptivo de los Datos

En el presente estudio se analizará 371 registros administrativos que pertenecen a informes de producción que están debidamente cerrados.

3.3.1 Análisis Estadístico de Variables Categóricas

Según los datos registrados en el sistema de pesaje de producto terminado de la empresa siderúrgica, para el primer semestre del año 2017, se tiene que el grupo B representa el 33.97% de participación en el proceso de producción, seguido del grupo A con un 33.15% de participación y el grupo C con un 32.88%, además se aprecia que en el sistema de pesaje, el turno que registra más participación en el proceso de laminación, es el de la madrugada con un porcentaje de 35.31%, seguido del turno del día con un 33.96% de participación en el proceso productivo y un 30.73 % de participación en la producción que corresponde al turno de la noche. Véase tabla 3.1.

Tabla 3. 1 Distribución de Frecuencias de las Variables Grupo y Turno



Fuente: Báscula de Pesaje de Producto Terminado
Elaboración: César Rodríguez

3.3.2 Análisis Estadístico de Variables Cuantitativas

Para una mejor comprensión de cómo están estructurado los datos, se detalla a continuación, los valores correspondientes a las estadísticas descriptivas de las variables cuantitativas, donde se puntualiza la media, moda, desviación típica, cuantiles, mínimos y máximos.

Tabla 3. 2 Estadística Descriptiva de las Variables Objeto de Estudio

	Diámetro	Peso de Palanquilla	Longitud de Palanquilla	Cantidad de Palanquilla	Cantidad de Paquetes	
Media	12.05	543.82	4.14	349.20	78.76	
Moda	12.00	548.00	4.00	460.00	26.00	
Desv. típ.	4.971	9.78	0.07	185.06	41.49	
Rango	27.00	68.00	1.00	701.00	160.00	
Mínimo	5.50	484.00	3.68	2.00	1.00	
Máximo	32.00	552.00	4.19	703.00	161.00	
	25	8.00	548.18	4.17	205.00	47.00
Cuantiles	50	12.00	548.18	4.17	350.00	78.00
	75	12.00	548.18	4.17	508.00	115.00

a. Existen varias modas. Se mostrará el menor de los valores.

Tabla 3. 2 Estadísticas descriptivas de las variables objeto de Estudio (Continuación)

	Cobles	Despunte en Caliente	Despunte en Frío	Retazo	Laminilla	Rendimiento metálico
Media	1687.67	1716.66	1213.39	1728.83	1296.08	94.88
Moda	0.01	1490.0 ^a	0.00	0.00	6.0 ^a	96.14
Desv. típ.	1585.46	850.49	799.61	1298.24	1064.60	26.48
Rango	8148.00	5970.00	5430.0	8220.0	5672.0	90.33
Mínimo	0.00	20.00	0.00	0.00	6.00	7.68
Máximo	8148.00	5990.00	5430.0	8220.0	5678.0	98.01
	25	0.00	1130.00	600.00	402.00	93.05
Cuantiles	50	1090.00	1790.00	1260.00	1047.00	95.89
	75	2700.00	2328.00	1720.00	2021.00	96.75

a. Existen varias modas. Se mostrará el menor de los valores.

*Fuente: Báscula de Pesaje de Producto Terminado
Elaboración: César Rodríguez*

En la Tabla 3.2, se aprecia que la variable diámetro, con un decimal de precisión, tiene valores iguales en la media, mediana y moda, esto indica que su distribución es simétrica, el diámetro mínimo de las varillas producidas en el primer semestre del 2017 fue 5.5 mm y el máximo 32 mm, el valor de la mediana y el tercer cuartil coinciden en 12.

La variable peso de palanquilla, muestra que el peso mínimo de las palanquillas fue de 484 kilogramos y el máximo 552 kilogramos, los valores de su mediana y moda son muy cercanos e iguales a 548 kilogramos, en promedio las palanquillas pesan 543 kilogramos, por otro lado, los valores de los cuartiles coinciden en 548.

También se observa que las variables longitud, cantidad de palanquillas y cantidad de paquetes, señalan que su distribución es asimétrica, a su vez detalla que longitud de palanquilla mínima utilizada en el proceso productivo fue 3.68 metros y la máxima longitud es 4.19, los valores de los cuartiles se ubican en 4.17. Con respecto a la variable cantidad de palanquillas se visualiza que en promedio se ha laminado 349 palanquillas, además se registra que la cantidad mínima de palanquilla utilizada en el proceso de producción fue 2 palanquillas y la cantidad máxima es 703 palanquillas, de la misma manera, la variable cantidad de paquetes indica que la cantidad mínima de paquetes que se ha producido fue 1 y la máxima es 161 paquetes de varilla o alambón y en promedio la cantidad de paquetes que el proceso de producción ha producido es aproximadamente 79 paquetes.

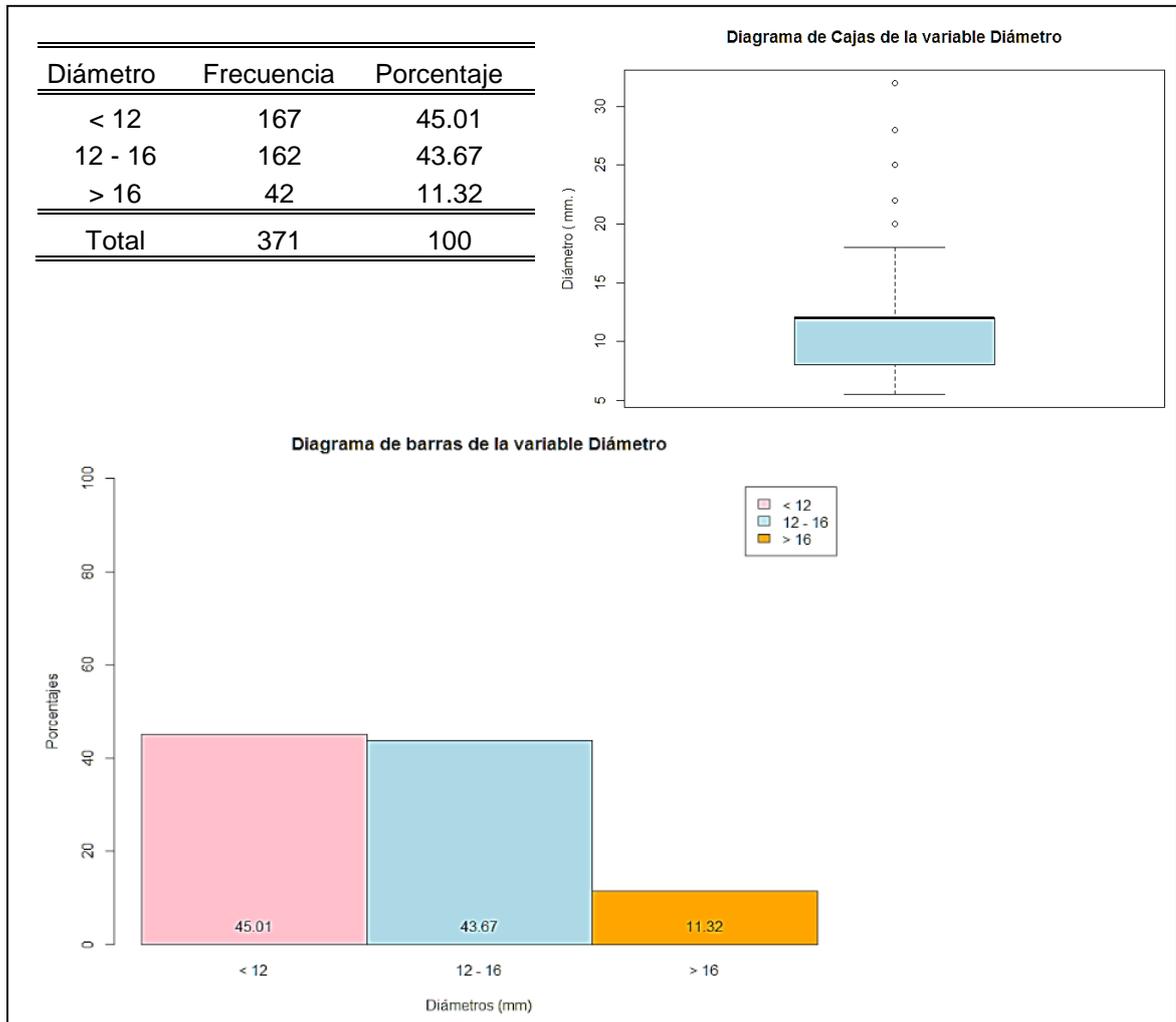
Finalmente, los valores de la media, moda y segundo cuartil, de las variables que representan a los subproductos, indican que su distribución es asimétrica puesto que sus valores no coinciden, también se visualiza que la cantidad máxima de mermas fue 8220 kilogramos, generada por la variable retazo, igualmente el mayor promedio en mermas fue aproximadamente 1728 kilogramos, este valor pertenece también a la variable retazo, además existe un promedio mínimo de 1213 kilogramos de subproducto que corresponde a la variable despunte en frío. Además, se observa que el promedio del rendimiento metálico fue 94,88%, con un

mínimo de 76.8% y un máximo de 98.01%. Nótese también en esta última variable que el 50% central de los datos está entre 93.05% y 96.75%.

En las siguientes tablas se muestran de forma gráfica la distribución de los datos correspondiente a las variables objeto de estudio, se ha hecho énfasis en aquellas variables que son consideradas en secciones siguientes para el establecimiento de los modelos logísticos.

En la Tabla 3.3 se visualiza información de los diferentes diámetros de varillas corrugadas y alambros laminados en el primer semestre del año 2017, además se observa los porcentajes de cada diámetro laminado, cabe indicar que para diseñar la tabla de frecuencia se procedió a categorizar los valores, donde se aprecia que el mayor porcentaje es de 45.01% que pertenece a las varillas producidas con un diámetro menor a 12 mm, se observa que existe un porcentaje mínimo de 11.32% que corresponden a varillas producidas con un diámetro mayor a 16 mm, también en el diagrama de barra se visualiza la representación gráfica de los diámetros laminados, representados a través de las diferentes categorías: menor a 12 mm que representa a los diámetros laminados con mayor frecuencia, seguido de los diámetros laminados entre 12 y 16 mm. Finalmente se muestra el diagrama de caja, donde se observa que no existe mucha dispersión de los datos, el 50% central de ellos se encuentra entre 8 y 12 mm.

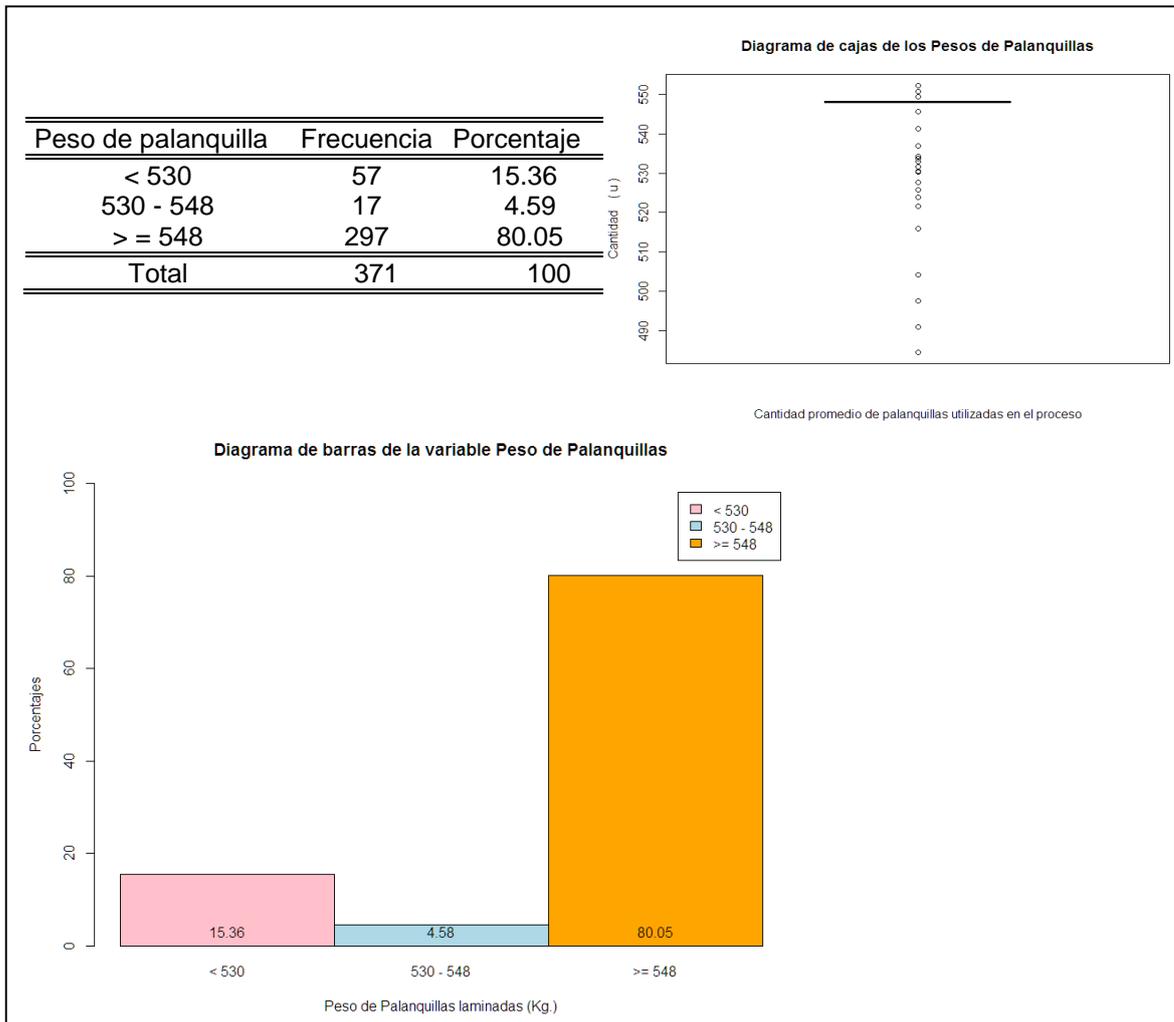
Tabla 3.3 Distribución de Frecuencias de la Variable Diámetro



Fuente: Báscula de Pesaje de Producto Terminado
Elaboración: César Rodríguez

En la Tabla 3.4, se observan los resultados para la variable, “Peso de Palanquillas”, podemos observar que la mayoría de las palanquilla, 80.05%, tienen un peso mayor e igual a 548.18 kg. El diagrama de cajas indica que los tres valores de los cuartiles coinciden aproximadamente en 550 kg, es decir que es mínima la dispersión en los pesos de las palanquillas producidas.

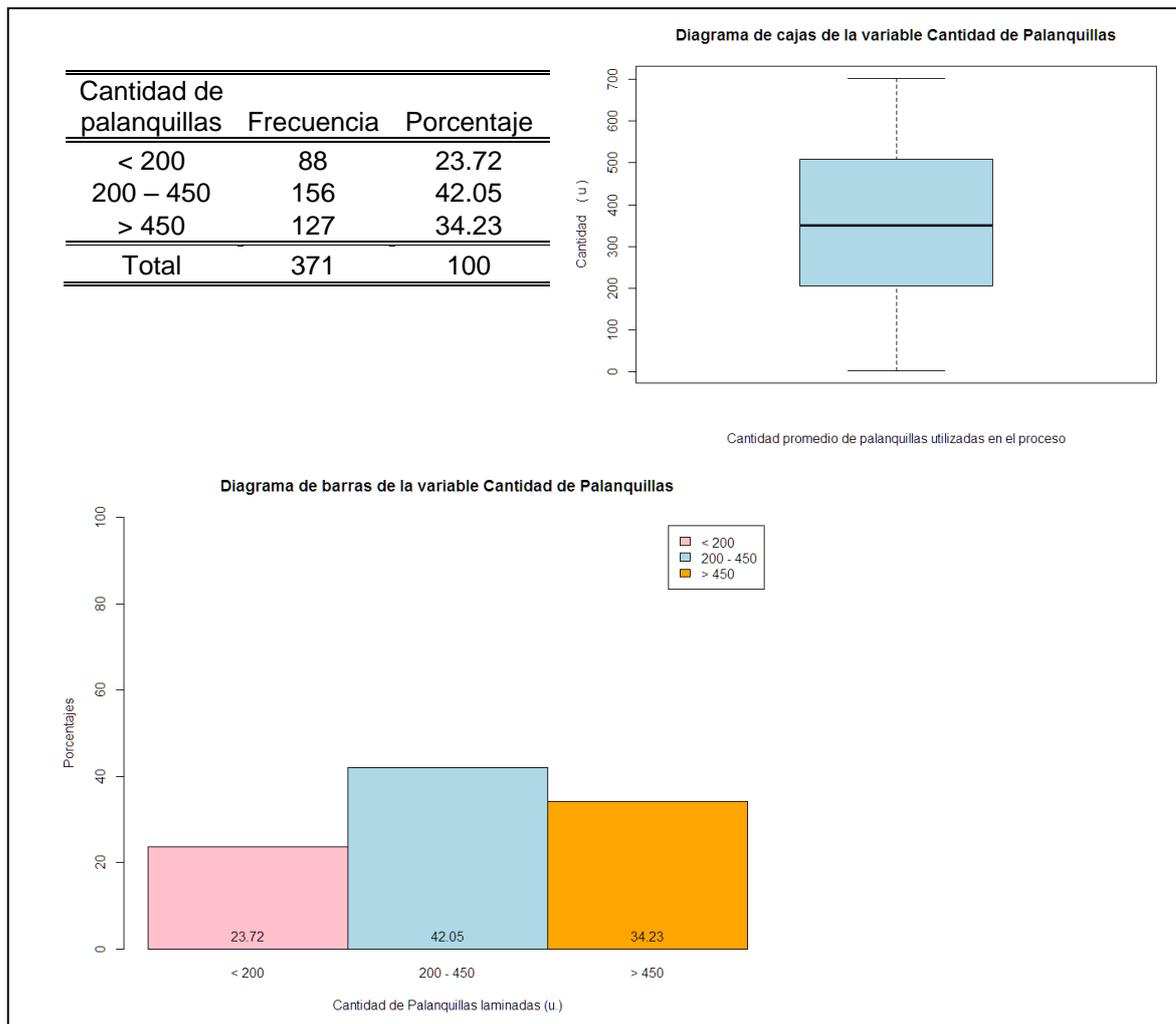
Tabla 3. 4 Distribución de Frecuencias de la Variable Peso de Palanquillas



*Fuente: Báscula de Pesaje de Producto Terminado
Elaboración: César Rodríguez*

En relación a la variable “Cantidad de Palanquillas”, se puede observar que la mayor concentración se encuentra en el intervalo de 200 a 450 palanquillas, representando el 42.05%, seguido de un 34.23% que corresponde a un total mayor a 450 palanquillas, no hay presencia de valores aberrantes para esta variable, además se observa que el 50% central de los datos está entre 200 y 500 aproximadamente. Véase la Tabla 3.5.

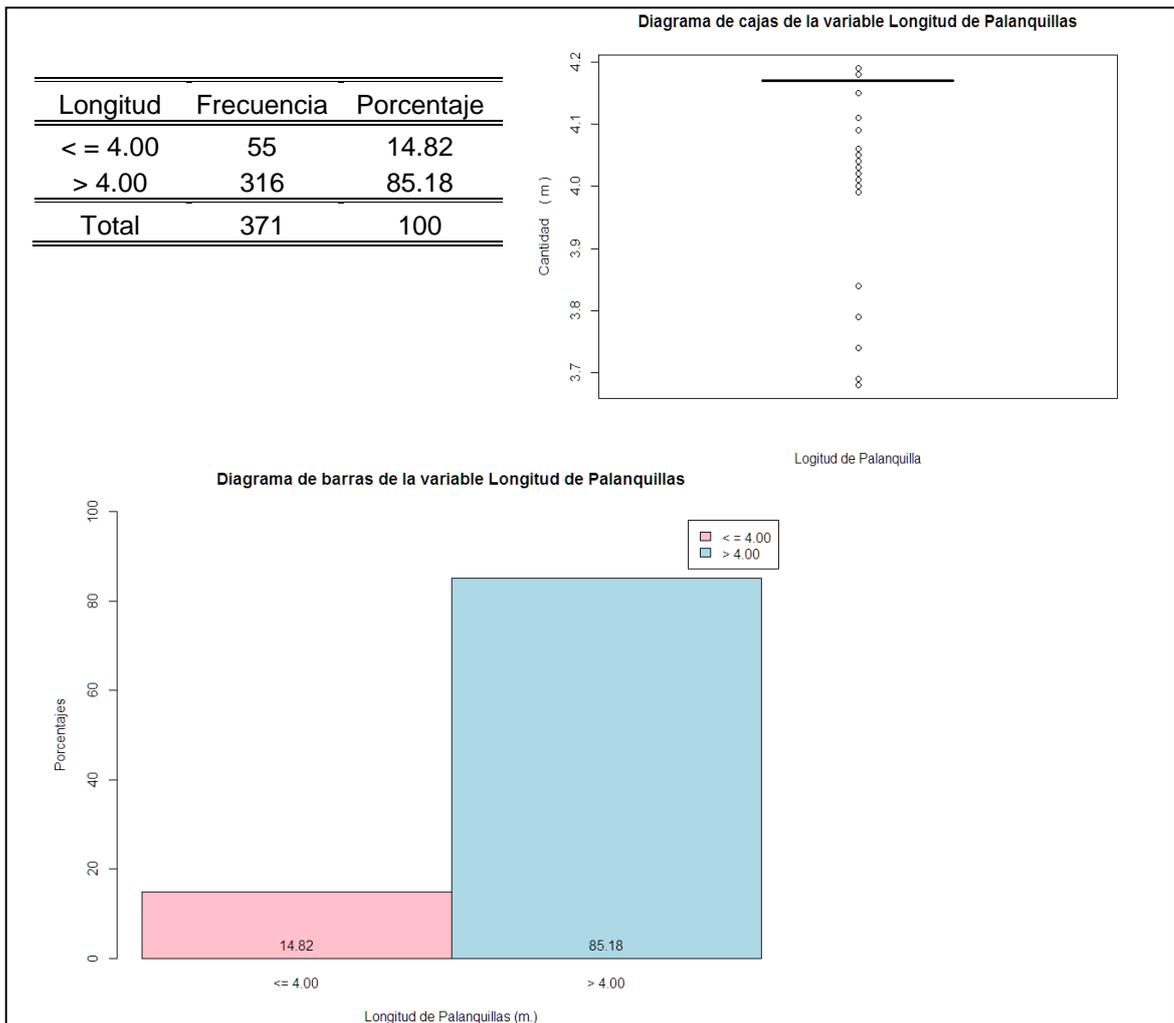
Tabla 3. 5 Distribución de Frecuencias de la Variable Cantidad de Palanquillas



Fuente: Báscula de Pesaje de Producto Terminado
Elaboración: César Rodríguez

Otra de las variables analizadas es la “Longitud de palanquillas”, los resultados se muestran en la Tabla 3.6, donde se observa que el 85.18% de las palanquillas tienen una longitud mayor 4.00 metros, también muestra que la mínima concentración de la longitud de la palanquillas se ubica en el intervalo menor o igual a 4.00 metros, esto representa el 14.82%, en el diagrama de cajas se ilustra que los valores de sus cuartiles coinciden aproximadamente en 4.18 metros, es decir que la dispersión en la longitud de las palanquillas es mínima, existen valores aberrantes para esta variable.

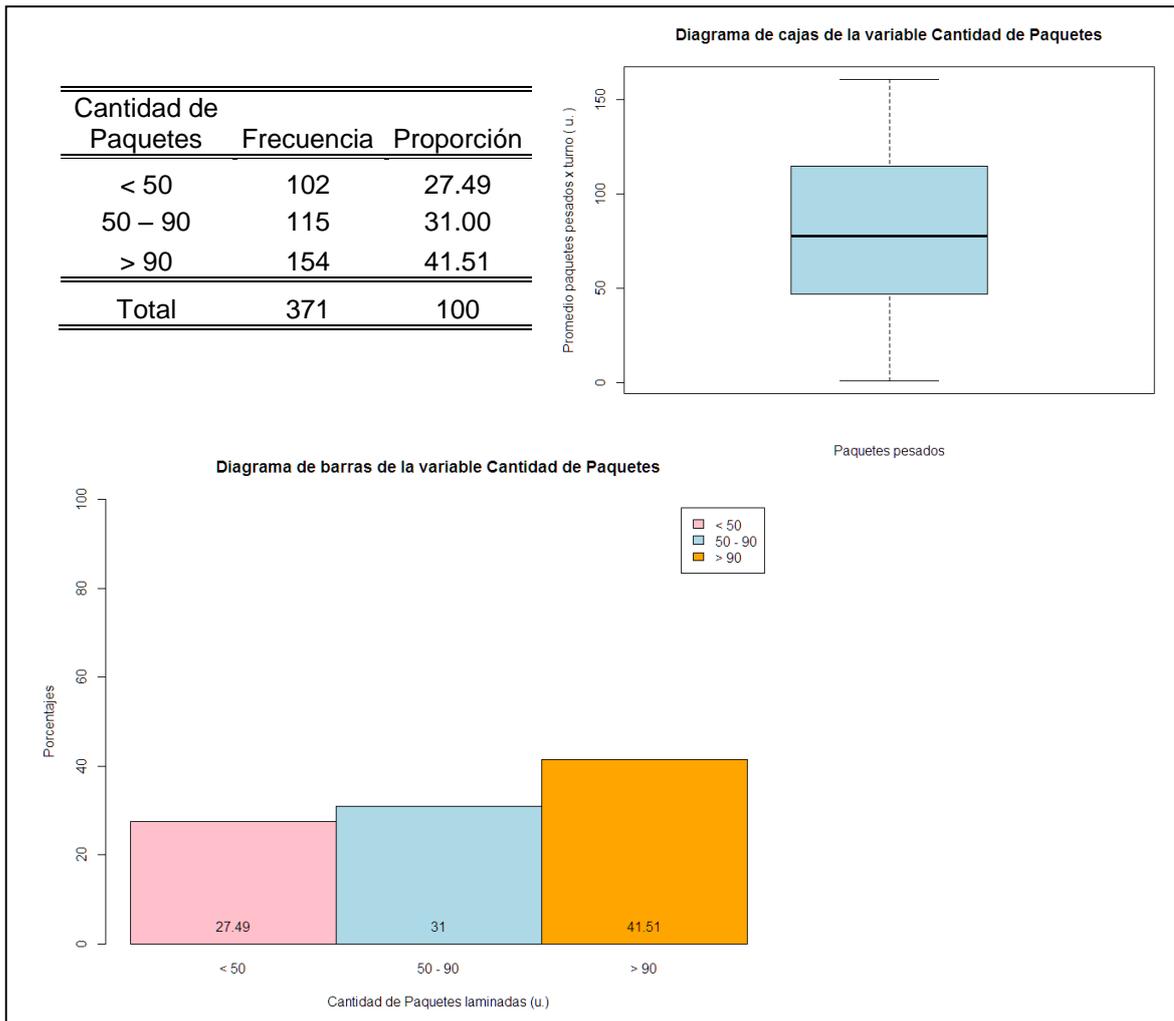
Tabla 3. 6 Distribución de Frecuencias de la Variable Longitud de Palanquillas



Fuente: Báscula de Pesaje de Producto Terminado
Elaboración: César Rodríguez

La variable “Cantidad de Paquetes” detalla que la mayor concentración de paquetes, está ubicado en el intervalo mayor a 90, esto representa el 41,51%, seguido de un 31%, que está entre 50 y 90 paquetes producidos. El diagrama de cajas no presenta valores aberrantes para la cantidad de paquetes, además se observa que el 50% central de los datos se encuentra aproximadamente entre 50 y 120. Ver Tabla 3.7.

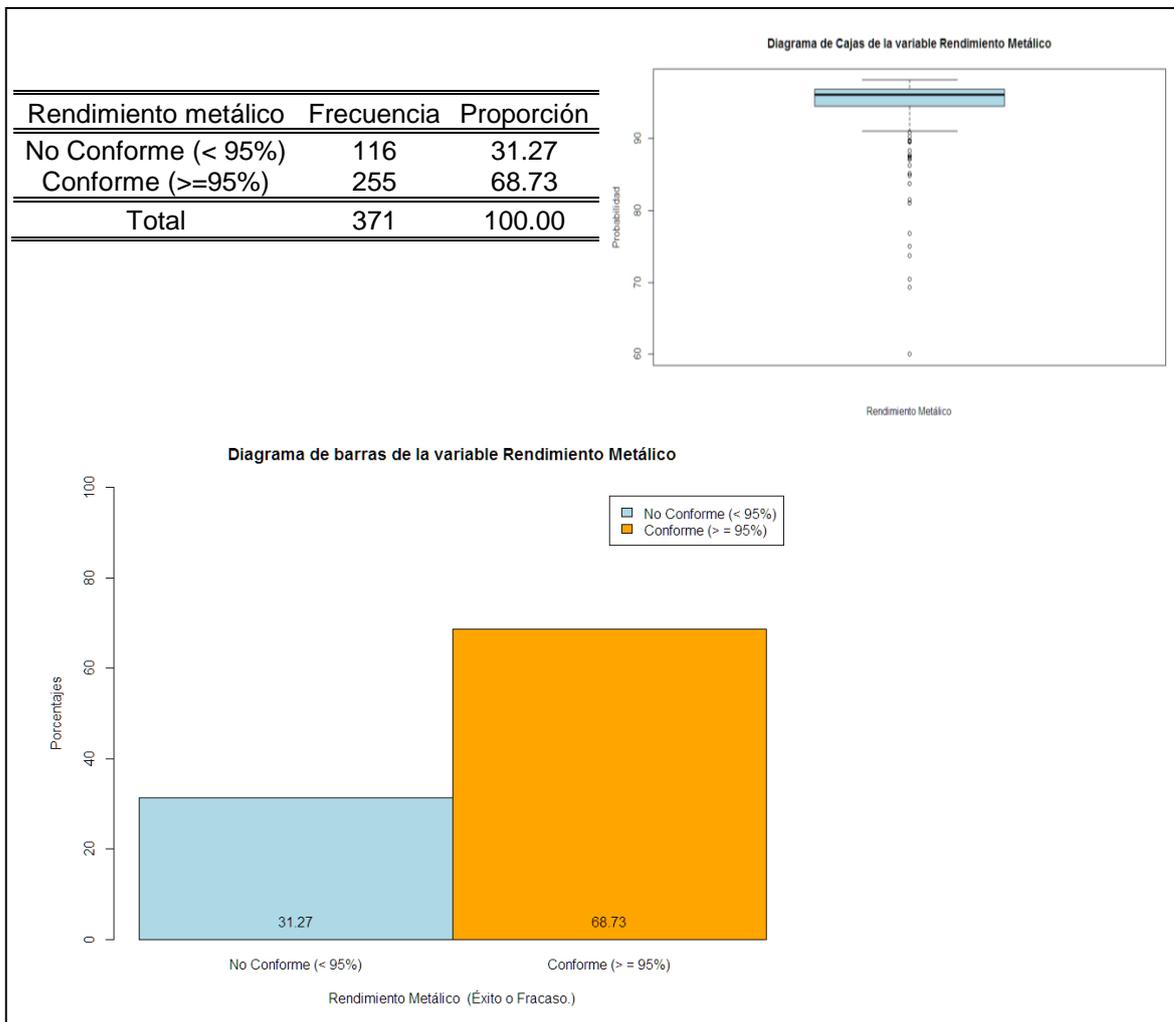
Tabla 3. 7 Distribución de Frecuencias de la Variable Cantidad de Paquetes



Fuente: Báscula de Pesaje de Producto Terminado
Elaboración: César Rodríguez

Finalmente, en la Tabla 3.8, se visualizan los resultados para la variable “Rendimiento metálico” se visualiza que el 68.73% de los datos tiene un rendimiento metálico donde su proceso de producción es conforme, seguido del 31.27% que representa al rendimiento metálico con proceso de producción no conforme. El diagrama de cajas muestra la presencia de datos aberrantes para esta variable, y se observa que el 50% central de los datos se ubica aproximadamente entre 93 y 97%.

Tabla 3. 8 Distribución de Frecuencias de la Variable Rendimiento Metálico



*Fuente: Báscula de Pesaje de Producto Terminado
Elaboración: César Rodríguez*

3.4 Factores que Inciden en el Rendimiento Metálico

En la presente investigación se analizará los factores que inciden en el rendimiento metálico desde dos puntos de vista, el primero a través de un modelo de regresión logística que permitirá evaluar qué variables relacionadas con las características de la materia prima utilizada o del proceso de producción, influyen en el rendimiento metálico; y, el segundo, a través del análisis de los gráficos de control de los subproductos generados en el proceso productivo, los mismos que están relacionados con el rendimiento metálico.

3.4.1 Regresión Logística

En el presente estudio se desea identificar qué variables son estadísticamente significativas en el modelo planteado para determinar los factores que influyen en el rendimiento metálico del proceso de producción de una siderúrgica. Las variables que se usarán para el diseño del modelo logístico son:

Tabla 3. 9 Abreviaturas de las Variables

VARIABLES	ABREVIATURAS	CODIFICACIÓN
Turno	X1	X1 = a = Madrugada X1 = b = Día X1 = c = Noche
Grupo	X2	X2 = 1 = A X2 = 2 = B X2 = 3 = C
Diámetro	X3	X3 = d1 = < 12 X3 = d2 = 12 - 16 X3 = d3 = > 16
Peso de palanquillas	X4	X4 = p1 = < 530 X4 = p2 = 530 - 548 X4 = p3 = > 548
Longitud de palanquillas	X5	X5 = l1 = < = 4.00 X5 = l2 = > 4.00
Cantidad de palanquillas	X6	X6 = cp1 = < 200 X6 = cp2 = 200 - 450 X6 = cp3 = > 450
Cantidad de paquetes	X7	X7 = cap1 = < 50 X7 = cap2 = 50 - 90 X7 = cap3 = > 90
Rendimiento metálico	Y	

*Fuente: Báscula de Pesaje de Producto Terminado
Elaboración: César Rodríguez*

Se probaron diferentes modelos, en el primero intervinieron todas las variables que se muestran en la Tabla 3.9, luego se fue suprimiendo una a una las variables que no eran estadísticamente significativas y finalmente mediante criterios de AIC, BIC

y devianza, se seleccionó el mejor, a continuación detallamos los resultados obtenidos:

Tabla 10 Selección del Mejor Modelo de Regresión Logística

	MODELO	AIC	BIC	Devianza
y =	$-\beta_0 + \beta_1 X1b + \beta_2 X1c + \beta_3 X2B + \beta_4 X2C + \beta_5 X3d2 + \beta_6 X3d3 + \beta_7 X4p2 - \beta_8 X4p3 - \beta_9 X5l2 + \beta_{10} X6cp2 + \beta_{11} X6cp3 + \beta_{12} X7cap2 + \beta_{13} X7cap3$	353.01	407.84	5.43
y =	$-\beta_0 + \beta_1 X1b + \beta_2 X1c + \beta_3 X2B + \beta_4 X2C + \beta_5 X3d2 + \beta_6 X3d3 - \beta_7 X5l2 + \beta_8 X6cp2 + \beta_9 X6cp3 + \beta_{10} X7cap2 + \beta_{11} X7cap3$	350.92	397.92	5.39
y =	$-\beta_0 + \beta_1 X1b + \beta_2 X1c + \beta_3 X2B + \beta_4 X2C + \beta_5 X3d2 + \beta_6 X3d3 + \beta_7 X6cp2 + \beta_8 X6cp3 + \beta_9 X7cap2 + \beta_{10} X7cap3$	349.43	392.50	5.38
y =	$-\beta_0 + \beta_1 X1b + \beta_2 X1c + \beta_3 X2B + \beta_4 X2C + \beta_5 X3d2 + \beta_6 X3d3 + \beta_7 Xcap2 + \beta_8 X7cap3$	348.30	383.55	5.32
y =	$-\beta_0 + \beta_1 X1b + \beta_2 X1c + \beta_3 X3d2 + \beta_4 X3d3 + \beta_5 X7cap2 + \beta_6 X7cap3$	347.80	375.21	5.25

Fuente: Báscula de Pesaje de Producto Terminado
Elaboración: César Rodríguez

A partir de la información que muestra la Tabla 3.10, podemos ver que el modelo con menor AIC, BIC y devianza es el 5, por lo que el modelo en el que incluyen las variables Turno, Diámetro y Cantidad de paquetes es el mejor. En la Tabla 3.11 se presentan los resultados para los estimadores de los coeficientes del modelo.

Tabla 11 Modelo de Regresión Logística

Variable	Estimador $\hat{\beta}$	Error Estándar	Estadístico de Prueba $\hat{\beta}$	Valor p
Intercepto	-1,0715	0,3105	-3,451	0,000558***
Turno (X1= b = Día)	0,2052	0,3247	0,632	0,527430
Turno (X1= c = Noche)	0,8052	0,3405	2,365	0,018048*
Diámetro (X3 = d2 = 12–16mm)	0,9280	0,3146	2,950	0,003179**
Diámetro (X3 = d3 = > 16 mm)	0,4789	0,4359	1,099	0,271894
Cantidad de paquetes (X7=cap2=50-90)	0,7953	0,2923	2,721	0,006516**
Cantidad de paquetes (X7=cap3=>90)	1,2737	0,4506	2,826	0,0048***
Devianza Nula: 460,94 con 370 grados de libertad				
Devianza Residual: 333,80 con 364 grados de libertad				
Punto crítico 5% con 364 grados de libertad 407,366				

*Fuente: Báscula de Pesaje de Producto Terminado
Elaboración: César Rodríguez*

En la Tabla 3.11 se aprecia las variables del mejor modelo, se destaca que el turno que labora en la jornada de día, los diámetros mayores a 16 mm, no son significativas, de igual forma se visualiza que las variables significativas son el turno de la noche, diámetros laminados entre 12 y 16 mm y cantidad de paquetes producidos que sea mayor o igual a 50 unidades, además el punto crítico con un 5% es 407.366, y por ser la Devianza Residual menor que el punto crítico, se determina que no existe evidencia estadística de que el modelo sea incorrecto.

También se observa que trabajar en el turno de la noche (X1c) incrementa más la probabilidad de que el rendimiento metálico sea mayor o igual al 95% es decir, que el proceso este conforme sin considerar las demás variables, el intercepto -1.0715 representa el aporte en la probabilidad a que el rendimiento metálico este conforme, es decir mayor a 95%.

El diámetro indica, que cada vez que se fabrique varillas que estén entre “12 – 16” y diámetros mayores a 16 mm, influirá de manera positiva a que el incremento del rendimiento metálico sea mayor.

La variable Cantidad de paquetes influye positivamente a que el rendimiento metálico aumente, puesto que los coeficientes estimados del modelo son positivos.

Este modelo explica aproximadamente $\frac{460.94-333.80}{460.94} = 0.2758$, esto es el 27.58 % de la variabilidad total de los datos, es decir, si bien no es alta la variabilidad explicada por el modelo se lo utiliza para verificar los factores que influyen en el rendimiento metálico mas no para hacer predicciones.

La expresión matemática del modelo analizado es:

$$\ln\left(\frac{p(\text{proceso conforme})}{p(\text{proceso no conforme})}\right) = -1.07 + 0.80X1c + 0.92X3d2 + 0.79X7cap2 + 1.27X7cap3$$

La Tabla 3.12, muestra los resultados para los odds ratios de las variables que resultaron significativas en el modelo, trabajar en el turno de la noche aumentará en 123.7% la propensión de que el rendimiento metálico este conforme que trabajar en la madrugada. Además, al fabricar varillas que estén entre “12 y 16” mm, la propensión incrementa en 152.9% ayudando a que el rendimiento metálico sea mayor o igual al 95% con respecto a los de menor de 12 mm. También la propensión de que el rendimiento metálico este conforme, se incrementaría en 121.4% si se produce entre 50 y 90 paquetes. Finalmente, producir más de 90 paquetes de varillas aumentaría aproximadamente 257.4% la propensión, contribuyendo así, a que el rendimiento metálico este conforme, esto se debe a que el corte que se realiza a los despuntes y retazos en ciertos diámetros laminados es mínimo.

Tabla 12 Cálculo de los Odds Ratios

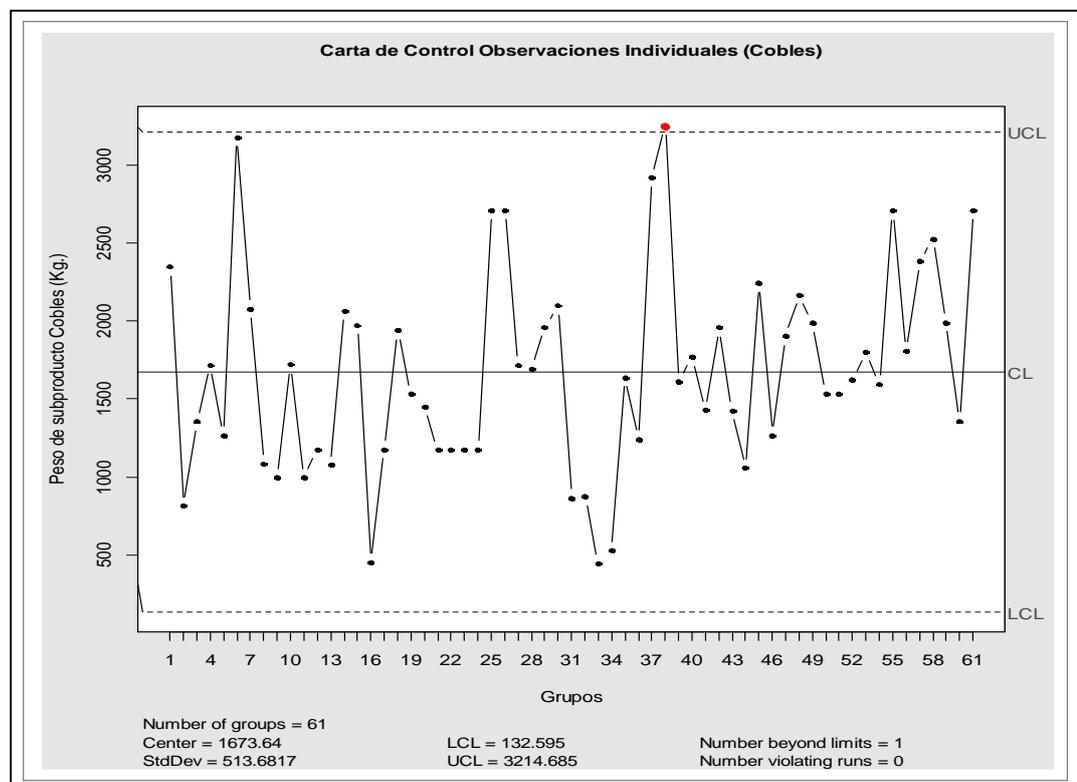
Variable	OR (<i>expcoef</i>)
Turno (X1 “c”)	2,237
Diámetro (X3 “d2”)	2,529
Cantidad de paquetes (X7 “cap2”)	2,214
Cantidad de paquetes (X7 “cap3”)	3,574

Fuente: Báscula de Pesaje de Producto Terminado
Elaboración: César Rodríguez

3.4.2 Gráficos Estadísticos de Control

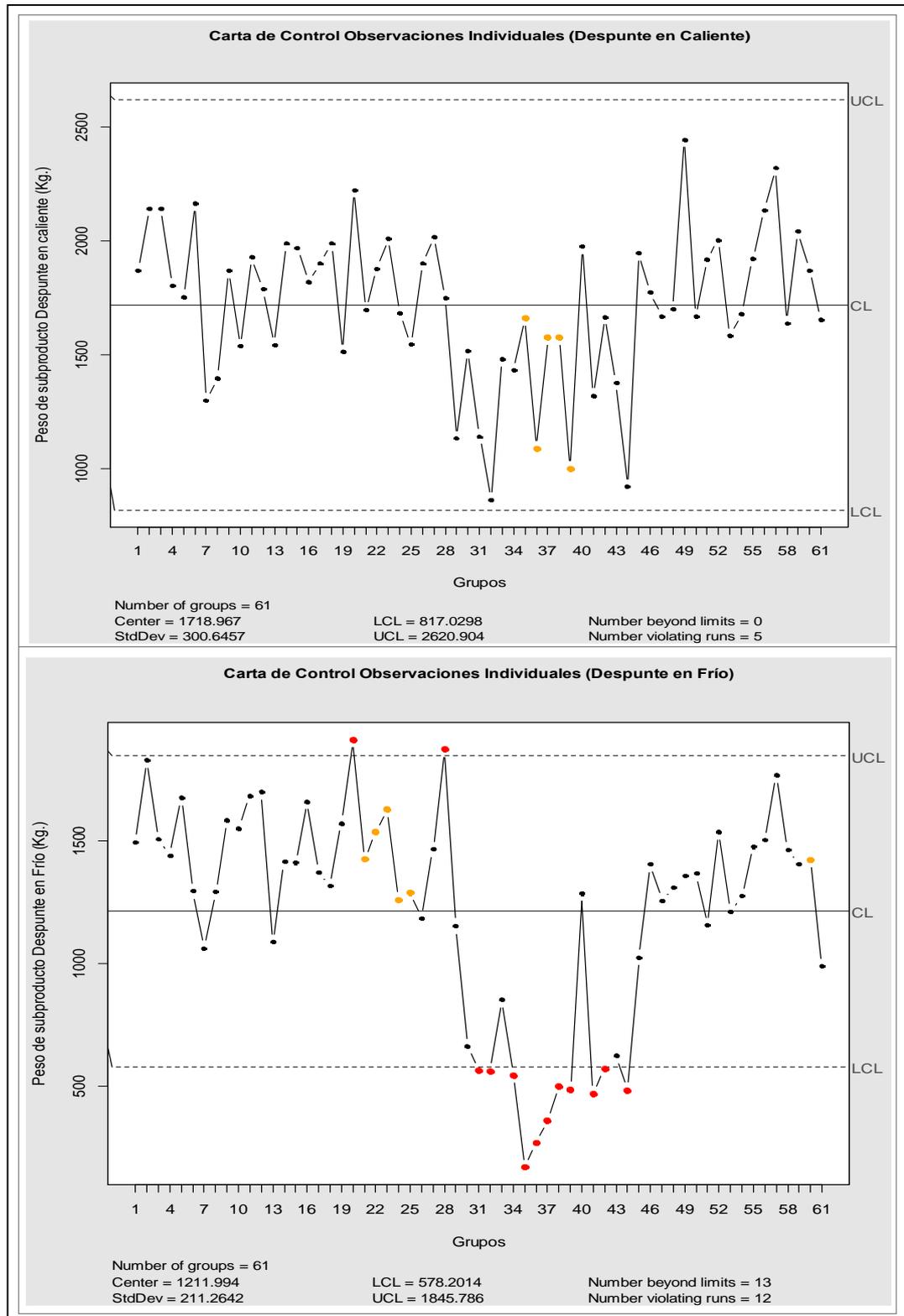
En el presente trabajo se decidió utilizar la gráfica de control de observaciones individuales y rango móvil, que nos ayudará a monitorear la localización y dispersión de las diferentes variables que representan a los subproductos dentro del cierre de informes de producción, en la que se consideró los 61 primeros registros de informes de cada mes del primer semestre, esto se debe a que la cantidad total de registros de cada mes no coincide con el resto de los meses del primer semestre, esto puede ser por mantenimientos realizados al momento de cambiar de producto, o la producción se paraliza por falta de materia prima, cabe indicar que en el proceso se presentan causas especiales donde se requiere de periodos relativamente largos para obtener una muestra del proceso de producción, para ello se considera un tamaño de muestra igual a 1. A continuación se muestra las cartas de control de observaciones individuales de los subproductos que intervienen en el proceso de producción:

Figura 3. 4 Carta de control observaciones individuales de los Subproductos



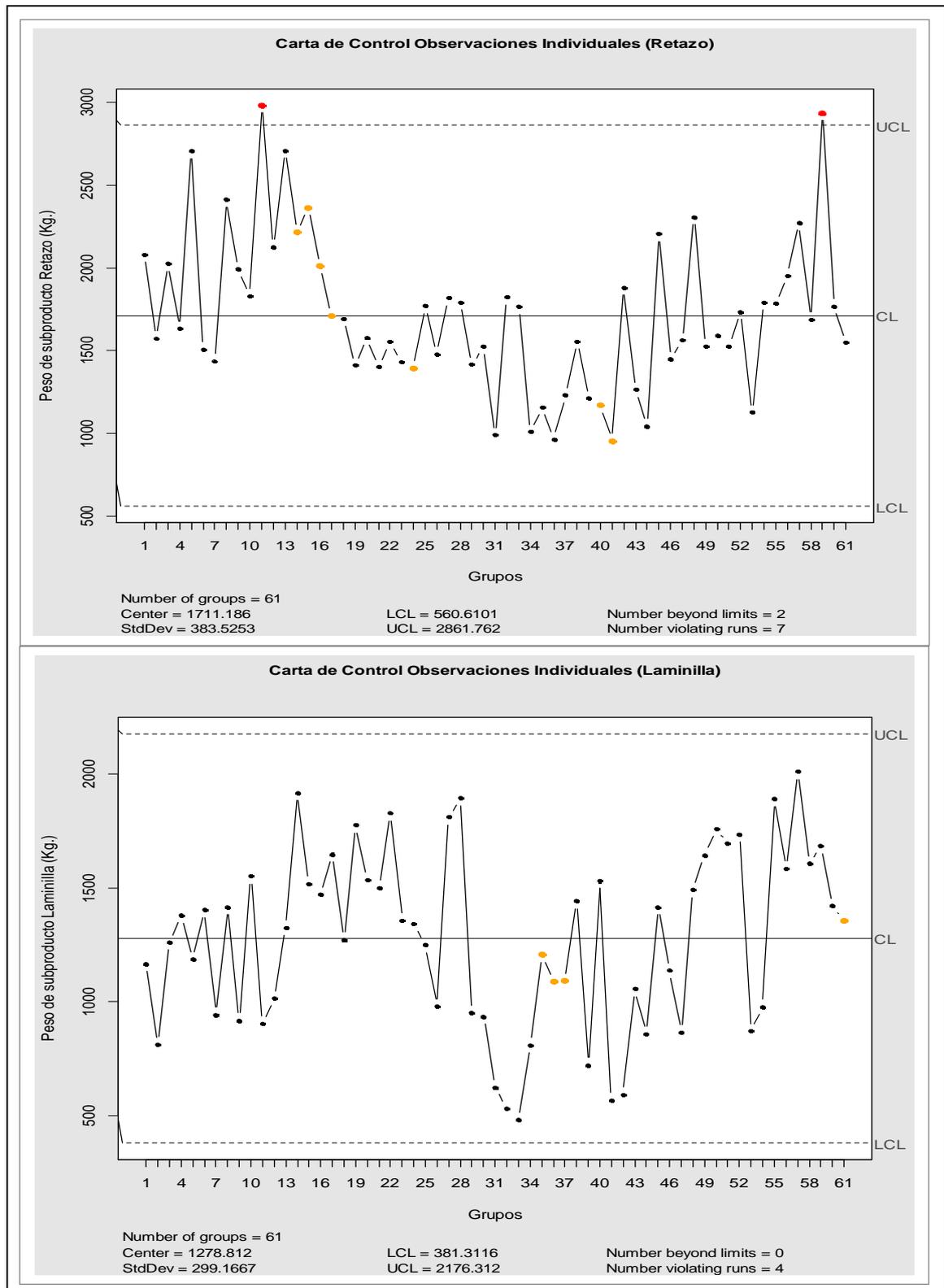
Fuente: Báscula de Pesaje de Producto Terminado
Elaboración: César Rodríguez

Figura 3.4 Cartas de control observaciones individuales de los Subproductos



Fuente: Báscula de Pesaje de Producto Terminado
 Elaboración: César Rodríguez

Figura 3.4 Cartas de control observaciones individuales de los Subproductos



Fuente: Báscula de Pesaje de Producto Terminado
 Elaboración: César Rodríguez

En la Figura 3.4 se observa que en la variable cobles el punto 39 se encuentra fuera del límite de control superior, esto puede ser por fallas en el proceso de producción, falta de mantenimiento en las cajas laminadoras, etc., esto muestra que el proceso está fuera de control. También en la variable despunte en caliente, se observa que existe 5 violaciones, correspondiente a los puntos 36, 37, 38, 39 y 40, lo que indica que existen fallas en el proceso de producción que pueden ser por falta de mantenimiento en el ten laminador o no se pesó por completo el subproducto perteneciente a otro turno de producción, estas violaciones que se producen, pueden generar una disminución en el porcentaje del rendimiento metálico, es decir que sea menor al 95% en el proceso de producción.

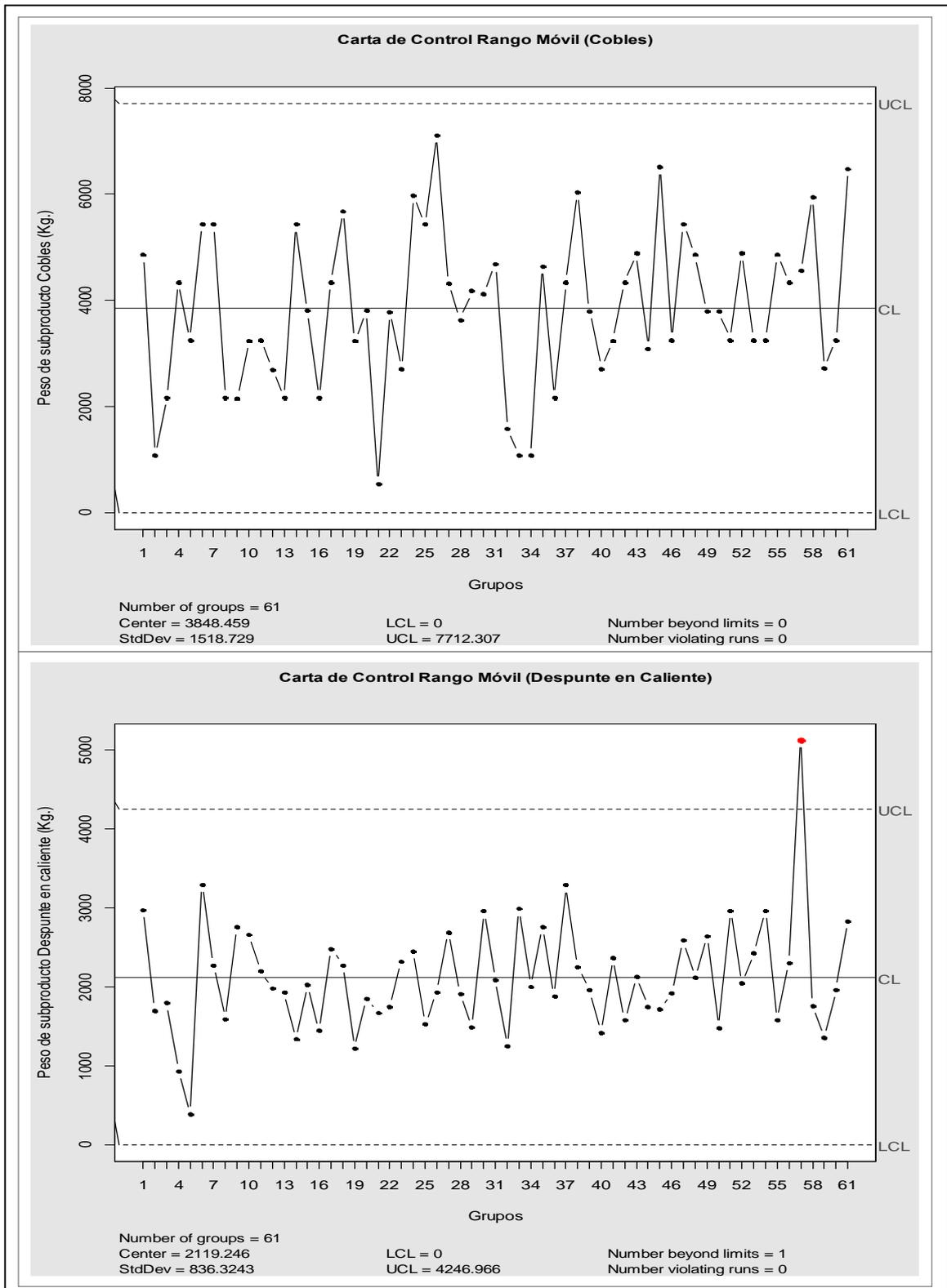
Además, en el gráfico de control que representa a la variable despunte en frío, se visualiza que existen 12 violaciones cuyos puntos son 21, 22, 23, 24, 25, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 60 y 13 puntos se encuentran fuera de los límites de control superior e inferior, que son 20, 28, 31, 32, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41 y 43 lo que muestra que el proceso está fuera de control, esto indica que existen fallas en el proceso de laminación que pueden ser por falta de mantenimiento en la cizalla de corte 330 de la mesa de enfriamiento, no se pesó por completo el subproducto, subproducto perteneciente a otro turno de producción, estos factores influyen a que el rendimiento metálico disminuya su porcentaje en el proceso de producción.

Por otro lado, en el gráfico de la variable retazo se muestra que existe 7 violaciones cuyos puntos son: 14, 15, 16, 17, 24, 40 y 41, y 2 puntos que se encuentran fuera del límite de control superior, dichos puntos son: 11 y 59, lo que indica que el proceso está fuera de control, es decir existen fallas en el proceso de producción que originan que el subproducto retazo se eleve considerablemente en su peso, estas causas pueden ser: cortes a medida no comercial de un lote de producción con defectos (aletas, exceso o ausencia de resalte longitudinal, entre otras), no se pesó por completo el subproducto o una parte del subproducto que ha sido pesado puede pertenecer a otro turno de producción.

Finalmente, en el gráfico de la laminilla, existen 4 violaciones cuyos puntos son: 35, 36, 37 y 61, lo que indica que el proceso está fuera de control, es decir existen fallas en el proceso de producción que originan que el subproducto laminilla se eleve considerablemente en su peso, estas se pueden originar porque no se pesó por completo los otros subproductos, el producto terminado no se pesó en su totalidad, esto aumentaría las posibilidades de tener un rendimiento metálico no conforme en un turno de producción, es decir un porcentaje menor al 95%.

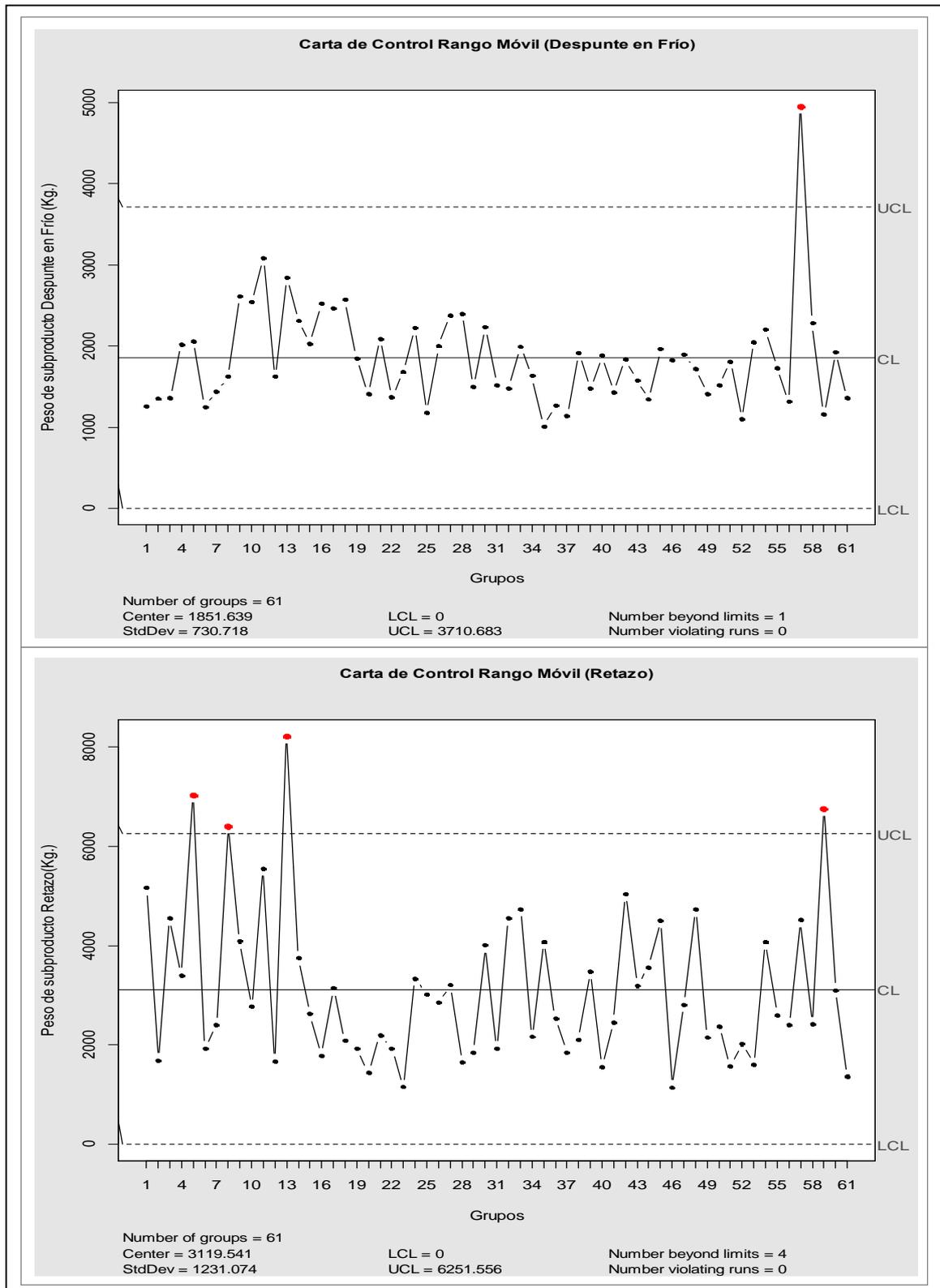
Comparando las cartas de control por observaciones individuales, se observa que los subproductos cobles, despunte en caliente, despunte en frío, retazo y laminilla, se encuentran fuera de control, esto se debe a la variabilidad de sus pesos, es decir existen violaciones que aumentan la posibilidad que el rendimiento metálico no esté conforme, es decir se encuentre con un porcentaje menor al 95%.

Figura 3. 5 Cartas de Control Rango Móvil de los Subproductos



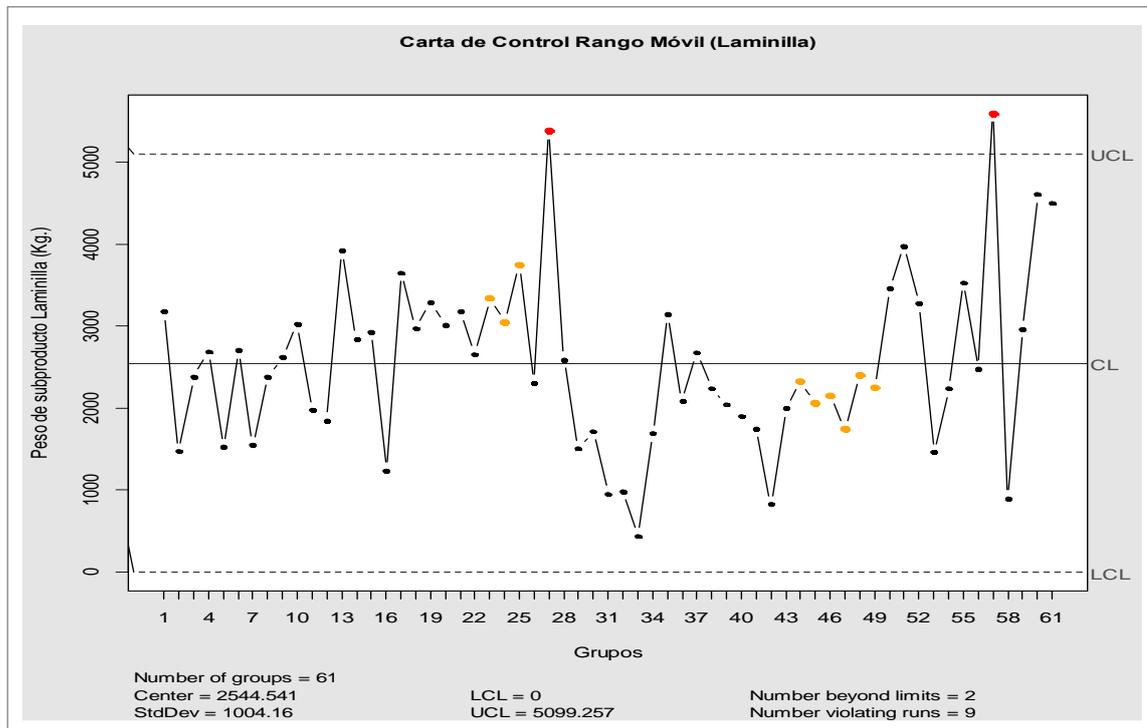
Fuente: Báscula de Pesaje de Producto Terminado
 Elaboración: César Rodríguez

Figura 3.5 Cartas de control Rango móvil de los subproductos (Continuación)



Fuente: Báscula de Pesaje de Producto Terminado
 Elaboración: César Rodríguez

Figura 3.5 Cartas de control Rango móvil de los subproductos (Continuación)



Fuente: Báscula de Pesaje de Producto Terminado
Elaboración: César Rodríguez

En la figura 3.5, se aprecia que los valores que representan a los cobles, se encuentra dentro de los límites establecidos, es decir el proceso está controlado, no existe variaciones al momento que el proceso de producción genere este subproducto. También se visualiza, que en los gráficos de las variables despunte en caliente y despunte en frío, el punto 57, se encuentra fuera de los límites establecidos, es decir, existe variabilidad en el proceso de producción, esto puede ser causado por fallas en las cajas laminadoras, fallas en la cizalla de corte o acumulación de despunte de otro turno, lo que ocasionaría un aumento de los despunte en caliente o despunte en frío y una disminución del rendimiento metálico, que representaría un proceso productivo no conforme.

Además, en la carta de control, de la variable retazo, indica que los puntos 5, 8, 13, y 59 se encuentran fuera de control, es decir existe variabilidad en el proceso de producción que pueden ser por chatarreo de material no conforme al proceso o cobles que se han generado en la mesa de enfriamiento

Finalmente, en la carta de control de la variable laminilla, se considera que existe 9 violaciones, correspondiente a los puntos 23,24,25,44,45,46,47,48,49 y 2 puntos se encuentran fuera de los límites establecidos que son 27 y 57, lo que indica que el proceso está fuera de control, es decir existe una alta variabilidad en los pesos del subproducto laminilla.

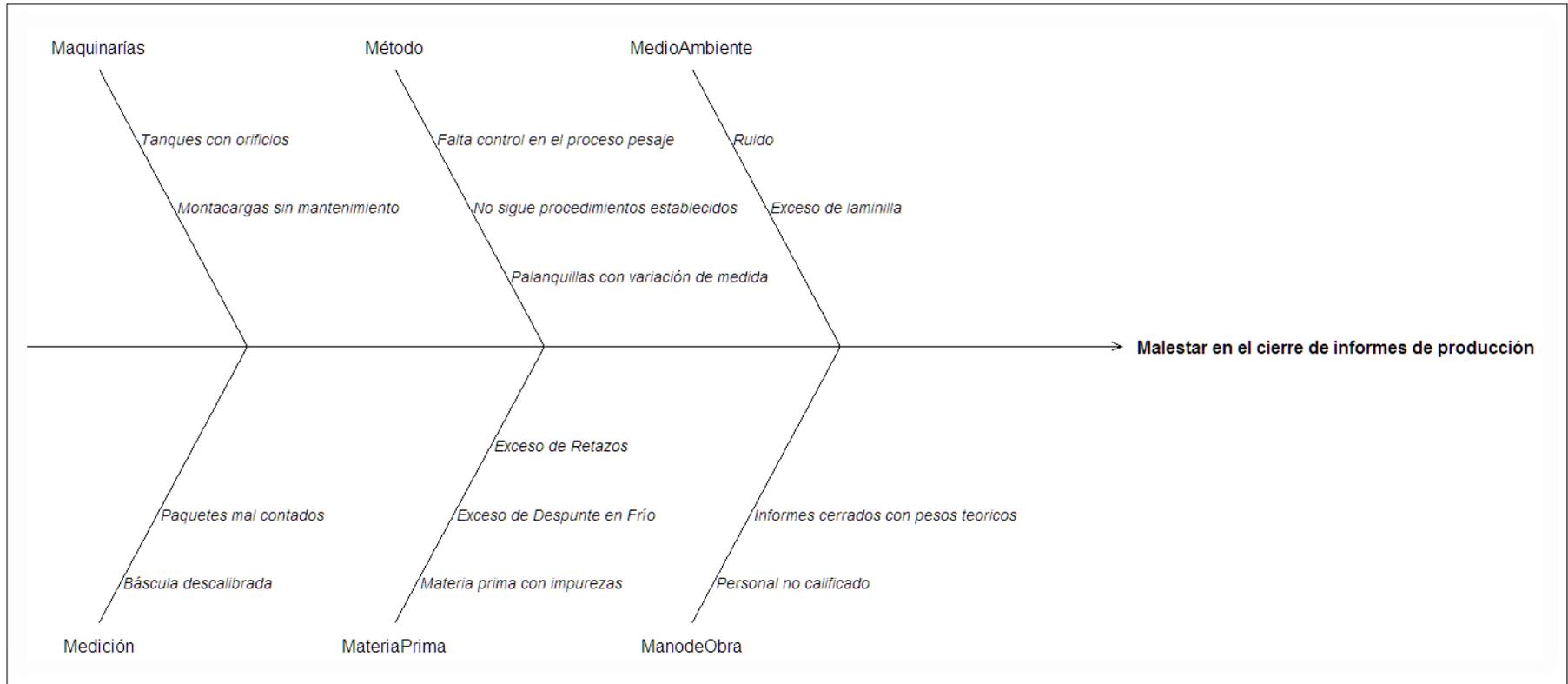
CAPÍTULO 4

PROPUESTA DE MEJORA

4.1 Diagrama Causa - Efecto

Para la elaboración del Diagrama causa - efecto o Diagrama de Ishikawa, se consideró los resultados obtenidos en el modelo de Regresión logística, donde las variables grupo, diámetro y peso de palanquillas, influyen a que el rendimiento metálico no esté conforme, además las cartas de control, presentan en la mayoría de los subproductos variabilidad en el proceso de producción, debido a estos factores, se decidió realizar un análisis con mayor profundidad, para ello, se consultó al personal técnico, que labora en la báscula de pesaje de producto terminado, encargadas de realizar los respectivos cierres de informes al finalizar cada turno, dándonos a conocer las causas probables, que generan malestar en el cierre de informes de producción, lo que permitió elaborar el siguiente diagrama:

Figura 7 Diagrama Causa - Efecto



Fuente: Báscula de Pesaje de Producto Terminado.
Elaboración: César Rodríguez

4.2 Análisis del Diagrama Causa - Efecto

Para el análisis del Diagrama Causa – Efecto, se analizó una a una las causas encontradas, además se estableció criterios a través de los cuales se evaluó cada una de las causas, dando como resultado características relevantes que llevan a preguntar:

¿Es un factor que lleva al problema?	=	¿Es factor?
Esto ¿ocasiona directamente el problema?	=	¿Causa Directa?
Si esto es eliminado ¿se corregirá el problema?	=	¿Solución Directa?
¿Se puede plantear una solución factible?	=	¿Solución Factible?
¿Se puede medir si la solución funcionó?	=	¿Es medible?
¿La solución es de bajo costo?	=	¿Bajo Costo?

También se estableció una escala de calificación en la que 1 representa a menos beneficio, 2 representa a un beneficio medio y 3 representa a mayor beneficio, es decir, se dio un peso a cada criterio, que se le asignará dependiendo de la gravedad del problema, que se ha observado en el proceso de producción.

Finalmente, se realizó una tabla en la que se detallan resumidamente las causas, criterios establecidos, escalas y posibles soluciones con el objetivo de elaborar una propuesta de mejora en el proceso productivo, en la siguiente Tabla se muestra el análisis realizado.

Tabla 13 Análisis del Diagrama Causa - Efecto

CAUSAS	SOLUCIONES	CRITERIOS						TOTALES
	Solución	Factor	Causa D	Solución D	Solución F.	Medible	Bajo Costo	
Maquinaria								
Tanques con orificios	Soldar placas en orificios	2	2	3	3	1	1	12
Montacargas sin mantenimiento	Plan de mantenimiento	3	1	1	2	1	2	10
Método								
Falta de control en el proceso de pesaje	Seguimiento al control	2	2	3	3	1	2	13
No sigue procedimientos	Seguimiento de procedimientos	1	1	1	1	2	2	8
Palanquillas con variación de medida.	Estandarizar cortes de palanq.	3	3	2	2	2	2	14
Medio Ambiente								
Ruido	Plan de concientización	3	1	1	2	1	2	10
Exceso de partículas de laminilla	Plan de concientización	2	1	1	1	1	3	9
Medición								
Báscula descalibrada	Plan de calibración	3	2	2	2	2	2	13
Materia Prima								
Exceso de retazo	Plan de recuperación (corte comercial)	3	3	3	3	2	3	17
Exceso de despunte en frío	Plan de recuperación (corte comercial)	2	3	3	3	2	3	16
Materia prima con impurezas	Plan de evacuación y recuperación	1	2	1	1	1	3	9
Mano de Obra								
Informes cerrados con pesos teóricos	Plan de capacitación y concientización	3	3	2	2	3	2	15
Personal no calificado	Plan de capacitación / Evaluación de desempeño	3	3	3	2	3	2	16

*Fuente: Báscula de Pesaje de Producto Terminado
Elaboración: César Rodríguez*

Una vez analizado el diagrama Causa - Efecto, con la ayuda de una tabla donde se estableció criterios en las que evaluamos las causas, se comprobó que las causas con mayor peso que influyen en que los informes tengan un bajo porcentaje de rendimiento metálico son: el exceso de retazo (17 puntos), seguido por el exceso de despunte en frío y personal no calificado, ambas con (16 puntos), además los informes cerrados con pesos teóricos reflejan una puntuación total de 15 puntos, también la variación de longitud en las palanquillas (14 puntos) y la falta de control en el proceso de pesaje (13 puntos) disminuyen el rendimiento metálico.

4.3 Propuesta de Mejora

En el presente diagrama de Ishikawa se evidenció las diferentes causas que originan malestar en el cierre de informes de turno, también se evidenció las posibles soluciones.

La propuesta de mejora representa la principal aspiración dentro del estudio realizado en este trabajo, sin embargo, como ya se ha visto tiene etapas precedentes donde existe la necesidad de solicitar la participación de los miembros principales de las áreas involucradas en el proceso de producción.

En toda organización la ejecución de una mejora continua supone un cambio en los comportamientos de las personas que la integran, el presente plan de mejora impulsa a los participantes a realizar las modificaciones con entusiasmo.

A continuación señalamos algunos aspectos importantes que ayudarán en la presente propuesta de mejora.

Responsables:

Son aquellas personas que están involucradas directamente en el proceso de producción, es decir son los responsables de las áreas que intervienen en las diferentes actividades propuestas del proceso de producción de la siderúrgica, a continuación se lista los responsables empleando las siguientes especificaciones.

- ☺ Autoridades de la empresa (Gerencias)
- ☺☺ Autoridades del departamento (Calidad, Producción, etc)
- ☺☺☺ Operador de equipo pesado (Montacarguista)
- ☺☺☺☺ Laminadores (Tren laminador, mesa de enfriamiento, acería)

Temporalización

El presente plan de mejora se lo propone alcanzar en un tiempo de 6 meses. Sin embargo, las actividades se ejecutarán en tres niveles: el corto plazo tendrá una duración máxima de dos meses, el mediano plazo tendrá una duración de cuatro meses y largo plazo un tiempo máximo de seis meses.

- Corto plazo
- Mediano Plazo
- Largo Plazo

Cabe recalcar que en las especificaciones existen actividades que pueden ser compartidas, en este caso se incluirán según sus especificaciones.

Tabla 14 Propuesta de Mejora

MAQUINARIAS				
Problemas	Propuesta de Mejora	Responsable	Temporalización	Observaciones
➤ Tanques con orificios.	➤ Gestionar la soldada de placas en tanques con orificios pronunciados.	☺☺	<input type="checkbox"/>	
➤ Montacargas sin mantenimiento.	➤ Elaborar plan de mantenimiento de los montacargas.	☺ / ☺☺	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
MÉTODO				
	Propuesta de Mejora	Responsable	Temporalización	Observaciones
➤ Falta de control en el proceso de pesaje.	➤ Verificar constantemente el proceso de pesaje de los subproductos.	☺☺	<input type="checkbox"/>	
➤ No sigue procedimientos.	➤ Realizar en forma permanente procesos de evaluación y seguimiento del desempeño laboral.	☺☺ / ☺☺☺	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
➤ Palanquillas con variación de medida	➤ Gestionar la estandarización de la longitud de la palanquilla utilizada en el proceso.	☺ / ☺☺	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
MEDIO AMBIENTE				
	Propuesta de Mejora	Responsable	Temporalización	Observaciones
➤ Ruido ➤ Exceso de partículas de laminilla.	➤ Elaborar y ejecutar un plan de concientización para los colaboradores de las áreas involucradas en el proceso de producción, basados en la utilización de equipos de protección personal.	☺	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	

MEDICIÓN				
Propuesta de Mejora		Responsable	Temporalización	Observaciones
➤ Báscula descalibrada.	➤ Planificar, gestionar y ejecutar la calibración constante de la báscula de pesaje.	☺ / ☺☺	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
MATERIA PRIMA				
Propuesta de Mejora		Responsable	Temporalización	Observaciones
➤ Exceso de retazos.	➤ Incentivar al laminador la necesidad de recuperar cortes de medidas comerciales que pueden generar posibles mermas.	☺☺ / ☺☺☺	<input type="checkbox"/>	
➤ Exceso de despunte en frío.				
➤ Materia prima con impurezas.	➤ Fortalecer el control de la elaboración de la materia prima en su proceso de fundido.	☺☺ / ☺☺☺☺	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
MANO DE OBRA				
Propuesta de Mejora		Responsable	Temporalización	Observaciones
➤ Pesos teóricos.	➤ Planificar y ejecutar un plan de capacitación para los colaboradores involucrados en el proceso	☺☺ / ☺☺☺	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
➤ Personal no calificado	➤ Realizar en forma permanente procesos de evaluación y seguimiento del desempeño laboral	☺☺ / ☺☺☺	<input type="checkbox"/>	

*Fuente: Báscula de Pesaje de Producto Terminado
Elaboración: César Rodríguez*

En el plan de mejora, se evidencia, que existen evaluaciones para los colaboradores involucrados en el proceso de producción, los resultados obtenidos servirá para saber los temas a planificar para las diferentes socializaciones y capacitaciones.

Las evaluaciones del plan de mejora se las desarrollará según lo planificado, es decir, se plantea inicialmente una evaluación parcial para cada una de las especificaciones, señaladas en la temporalización de las actividades: Corto Plazo en el caso de dos meses, Mediano Plazo en cuatro meses y Largo Plazo en un tiempo de seis meses.

También se desarrollará, al finalizar el primer semestre, una evaluación general de todo el plan de mejora, cabe indicar que para llevar a cabo el presente plan de mejora, inicialmente se creará comisiones que den seguimiento al cumplimiento de las diferentes actividades propuestas.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En esta sección se resaltan los principales hallazgos de la investigación, para la toma de decisiones:

1. En el análisis descriptivo de los datos, se observa que el promedio del rendimiento metálico es 94.88, lo que indica de manera muy general que el proceso no está conforme. Además refleja un rendimiento metálico mínimo de 7.68% y un máximo de 98.01%, también se detalla que el 50% central de los datos está ubicada entre 93.05% y 96.75%
2. La distribución de frecuencia de las variables cualitativas, detallan que el turno de la madrugada (35.31%), registra mayor porcentaje de informes en el sistema de pesaje, a su vez, el grupo con mayor representación de informes cerrados, es el grupo B con 33.97%. También las variables cuantitativas señalan, que el 45 % de los diámetros laminado con mayor frecuencia son menores a 12 mm, y el 85.18% de las palanquillas utilizadas en el proceso de producción tienen una longitud mayor a 4.00 m, por otro lado el 80.05% de las palanquillas tienen un peso mayor o igual a 548.18 Kg.
3. El modelo seleccionado muestra que las variables turno, diámetro, cantidad de paquetes son significativas en la investigación realizada, y por lo tanto, influyen en el rendimiento metálico, además la variable turno, indica que laborar en la jornada de la noche (16h00-23h59), aumenta la probabilidad, de que el porcentaje del rendimiento metálico este conforme, por otro lado, al producir varillas que estén entre “12 – 16” mm de diámetro, también se incrementará el rendimiento metálico.

4. Los odds ratios del modelo seleccionado muestran que trabajar en el turno de la noche aumentaría 123.7% la propensión para que el rendimiento metálico este conforme, también fabricar varillas cuyos diámetros estén entre 12 y 16 mm ayudará a que la propensión se incremente en 152.9% logrando que el rendimiento metálico sea mayor o igual al 95%, y, producir más de 90 paquetes de varillas también aumentaría en 257.4% la propensión, aportando así, a que el rendimiento metálico este conforme.
5. En las cartas de control se examinó el comportamiento de los subproductos que están relacionados directamente con el rendimiento metálico, en las que se observó que las variables despunte en caliente, despunte en frío, retazo y laminilla, poseen su proceso fuera de control, debido a la variabilidad que existe en sus parámetros establecidos, esto ocasiona pesos muy elevados de mermas, que disminuyen el porcentaje de rendimiento metálico.
6. En el análisis del diagrama causa – efecto, se obtuvieron puntuaciones elevadas que ayudaron a identificar, que el exceso de retazos, despunte en frío, personal no calificado, informes cerrados con pesos teóricos, palanquillas con variación de medida y báscula descalibrada, son causas que originan el malestar en el cierre de informes de producción, provocando disminución en el porcentaje de rendimiento metálico al momento de cerrar un informe de producción.

5.2 Recomendaciones

1. Se propone al gerente de producción, planificar con mayor frecuencia, la fabricación de diámetros que ayuden a incrementar el rendimiento metálico, y, se sugiere trabajar en el turno de la noche.
2. El jefe de producción debe realizar las gestiones necesarias para capacitar al personal de una manera constante en la mejora de los procesos y logro de los objetivos planteados.
3. Se recomienda a la jefatura de calidad, mantener un mayor control documental de las actividades que son efectuadas dentro de la báscula, con la finalidad de tener un soporte del trabajo realizado.

4. La jefatura de producción, debe gestionar la realización de charlas de motivación a los operadores de maquinarias pesadas con el objetivo de crear en ellos honestidad al pesar los subproductos.
5. Es necesario que la jefatura de calidad, realice inspecciones periódicas de la veracidad con la cual se pesa los subproductos.
6. La gerencia de producción, debe incentivar a los colaboradores de las áreas involucradas en el proceso, sobre la recuperación de cortes de medidas comerciales, con el propósito de disminuir los pesos de los subproductos y aumentar la productividad.
7. Se sugiere a la gerencia de operaciones y producción, estandarizar y llevar un control constante en la longitud de la palanquilla y que sean usadas según el diámetro de varilla a laminar, para disminuir los retazos al momento de realizar cortes a medida comercial.
8. La jefatura de producción, debe verificar constantemente en cada jornada de trabajo, el comportamiento del tren laminador, para minimizar los cobles, que se originan en el proceso.
9. Las jefaturas de calidad y producción, debe mantener informado a los colaboradores, sobre los resultados de las diferentes evaluaciones, en base a su desempeño profesional y apoyar las acciones de mejora que necesiten.

BIBLIOGRAFÍA

1. Venables W, Smit D. (2018). An Introduction to R. Recuperado de <https://cran.r-project.org/doc/manuals/r-release/R-intro.pdf>
2. Martinez Lima Iván (Desarrollo Profesional). (2018). *Diagrama de Ishikawa Parte 2 – Análisis de la causa raíz*. [Archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=w1XX49ObXxU>
3. Aviléz Arreaga (2017). “Aplicación de modelos logísticos y geoestadísticos en organismos macroinvertebrados en la cuenca del río Guayas”, (Tesis de pregrado). ESPOL, Guayaquil, Ecuador.
4. Del Pozo Gallego. (2016) Aplicación de técnicas de Machine Learning con regularización al diagnóstico de fallos en motores de inducción. (Tesis de grado) Universidad de Valladolid, Valladolid, España.
5. Hernández Flores E. (2016) Modelado del proceso de soldadura por fricción agitación considerando múltiples defectos categóricos. (Tesis de maestría) Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, Saltillo, México.
6. Parra Rodríguez (2016) Curso de estadística con R. ICANE, Recuperado de http://www.icane.es/c/document_library/get_file?uuid=c2e9fff1-72d5-42ad-b391-bacb3ebe9dbe&groupId=10138.pdf
7. Pastuizaca Fernández (2016). “Diseño y mejora de gráficos de control multivariantes para atributos. Un enfoque basado en la teoría difusa” (Tesis doctoral) Universidad de Valencia, Valencia, España
8. Villavicencio Cabrera C. (2014.) “Diseño y optimización del sistema de producción: proceso de fabricación de la varilla de acero de la empresa ANDEC S.A.”(Tesis de pregrado) Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
9. Rendón Hernán (2013). “Control estadístico de la calidad”. Medellín, Colombia, Universidad Nacional de Colombia.

10. Cañadas Reche José L. (2013) "Regresión Logística. Tratamiento computacional con R" (Tesis de maestría) Universidad de Granada, Granada, España.
11. Loaiza R. (2013) "Gráficos de control no paramétricos basados en R-estadísticos con aplicación al caso multivariante" (Tesis de pregrado) Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, España
12. Rodolfo Rondón y Félix Martínez (2012) Diseño de un modelo matemático para determinar la factibilidad de la eliminación del corte de cola en bandas laminadas en el tren continuo en caliente de la empresa SIDOR. UNEXPO, X Jornadas de Investigación, 155-160. Recuperado de <http://www.poz.unexpo.edu.ve/postgrado/uct/descargas/XJornada/Industrial/II02.%20DISE%C3%91O%20DE%20UN%20MODELO%20LOGICO%20METAMATICO%20PARA%20LA%20OPTIMIZACION.pdf>.
13. Walpole, Myers, Ye (2012). "Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias". México, México, Pearson.
14. Caballero Díaz (2011). "Selección de modelos mediante criterios de información en análisis factorial. Aspectos teóricos y computacionales" (Tesis doctoral). Universidad de Granada, Granada, España.
15. Cayuela Luís. (2010) "Modelos Lineales Generalizados" Universidad de Granada, Granada, España.
16. Zurita H. G. (2010). "Probabilidad y Estadística, Fundamentos y Aplicaciones". Guayaquil, Ecuador, ESPOL
17. Kleinbaum y Klein (2010). "Logistic regression a self - learning text" New York, Estados Unidos, Springer
18. Gutiérrez y Román (2009). "Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma". México, México: Interamericana Editores.
19. Martínez y Buestan (2009) Desarrollo de un sistema de control de variables y atributos para un proceso de impresión en una industria gráfica. Recuperado de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/4769/1/7352.pdf>

20. Montgomery D. (2009) Introduction Statistical Quality Control. Estados Unidos, Arizona State, John Wiley & Sons, Inc.
21. García, Montero, Ruíz, Vásquez y Álvarez. (2008). Aplicación de la regresión multinomial en la detección de factores económicos que influyen la productividad de los sectores industriales. Revista INGENIERÍA UC. Vol. 15, N° 3, 19 – 24.
22. Jin, Li, Shi (2007). Quality prediction and control in rolling processes using logistic regression, Revista Transactions of NAMRI/SME, Vol. 35, 113 - 120
23. Kutner, Nachtsheim, Neter, Li (2005) Applied Linear Statistical Models. Nueva York, Estados Unidos, Mc Graw-Hill
24. Akaike, Hirotugu (1974). A new look at the statistical model identification. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Hirotugu_Akaike

ANEXO 1 Diagrama de recorrido del proceso de producción

