

UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL

Sede Regional del Pacífico

Licenciatura en Ingeniería en Producción Industrial

Modalidad Proyecto de Graduación

Propuesta de mejora operacional que permita el incremento en la uniformidad en el peso y la reducción de pérdidas por mermas en la manufactura de alambre del Departamento de Trefilado de la empresa BIA Alambres/Bekaert Costa Rica, durante el periodo 2018-2019.

Sustentantes:

Bermúdez Carvajal Jordan Andrés, cédula 604310662

López Jiménez Randall Mauricio, cédula 503350091

Rodríguez Aguirre Josimar, cédula 604300228

Puntarenas, 2019

ACTA DE APROBACIÓN

En la ciudad de Puntarenas, a los 25 días de abril de 2019, al ser las 17:00 horas, estando presente en el Campus Juan Rafael Mora Porras, Sede Regional del Pacífico de la Universidad Técnica Nacional, las siguientes personas:

Kathia Somarribas Quirós	Profesor Tutor
Jorge Cambronero Delgado	Profesor Lector
Javier Peralta Matarrita,	Representante del Sector Productivo
Eduardo Brenes Guzmán,	Presidente del Tribunal Examinador

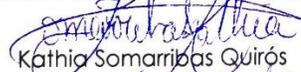
En su condición de miembros del Tribunal Evaluador, para valorar el proyecto de graduación y optar por el grado de **Licenciatura en Ingeniería en Producción Industrial**, del estudiante **Jordán Andrés Bermúdez Carvajal**, cédula de identidad **604310662**.

Reunido el Tribunal Evaluador los aspirantes proceden a presentar su tema: **"Propuesta de mejora operacional que permita el incremento en la uniformidad en el peso y la reducción de pérdidas por mermas en la manufactura de alambre del Departamento de Trefilado de la empresa BIA Alambres/Bekaert Costa Rica, durante el periodo 2018-2019"**.

Concluida la presentación del proyecto, el Tribunal Evaluador considera que, de conformidad con la normativa en la materia, el estudiante obtiene una calificación de 10, cumpliendo con las exigencias requeridas para la aprobación y les es conferido el grado de:

Licenciado en Ingeniería en Producción Industrial.

Asimismo, acreedora de mención honorífica No () Sí (X)

 Kathia Somarribas Quirós Profesor Tutor	 Jorge Cambronero Delgado Profesor Lector
 Javier Peralta Matarrita Representante del Sector Productivo	 Eduardo Brenes Guzmán Presidente del Tribunal Examinador

Estudiante:

Jordán Andrés Bermúdez Carvajal, Jordan BC

ACTA DE APROBACIÓN

En la ciudad de Puntarenas, a los 25 días de abril de 2019, al ser las 17:00 horas, estando presente en el Campus Juan Rafael Mora Porras, Sede Regional del Pacífico de la Universidad Técnica Nacional, las siguientes personas:

Kathia Somarribas Quirós	Profesor Tutor
Jorge Cambronero Delgado	Profesor Lector
Javier Peralta Matarrita,	Representante del Sector Productivo
Eduardo Brenes Guzmán,	Presidente del Tribunal Examinador

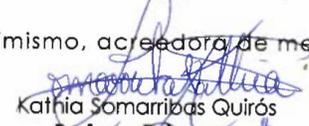
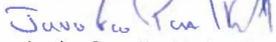
En su condición de miembros del Tribunal Evaluador, para valorar el proyecto de graduación y optar por el grado de **Licenciatura en Ingeniería en Producción Industrial**, del estudiante **Randall Mauricio López Jiménez**, cédula de Identidad 503350091.

Reunido el Tribunal Evaluador los aspirantes proceden a presentar su tema: **"Propuesta de mejora operacional que permita el incremento en la uniformidad en el peso y la reducción de pérdidas por mermas en la manufactura de alambre del Departamento de Trefilado de la empresa BIA Alambres/Bekaert Costa Rica, durante el periodo 2018-2019"**.

Concluida la presentación del proyecto, el Tribunal Evaluador considera que, de conformidad con la normativa en la materia, el estudiante obtiene una calificación de 10, cumpliendo con las exigencias requeridas para la aprobación y les es conferido el grado de:

Licenciado en Ingeniería en Producción Industrial.

Asimismo, acreedora de mención honorífica No () Sí (X)


Kathia Somarribas Quirós
Profesor Tutor

Javier Peralta Matarrita
Representante del Sector Productivo


Jorge Cambronero Delgado
Profesor Lector

Eduardo Brenes Guzmán
Presidente del Tribunal Examinador

Estudiante:

Randall Mauricio López Jiménez, 

ACTA DE APROBACIÓN

En la ciudad de Puntarenas, a los 25 días de abril de 2019, al ser las 17:00 horas, estando presente en el Campus Juan Rafael Mora Porras, Sede Regional del Pacífico de la Universidad Técnica Nacional, las siguientes personas:

Kathia Somarribas Quirós	Profesor Tutor
Jorge Cambronero Delgado	Profesor Lector
Javier Peralta Matarrita,	Representante del Sector Productivo
Eduardo Brenes Guzmán,	Presidente del Tribunal Examinador

En su condición de miembros del Tribunal Evaluador, para valorar el proyecto de graduación y optar por el grado de **Licenciatura en Ingeniería en Producción Industrial**, del estudiante **Josimar Rodríguez Aguirre**, cédula de identidad **604300228**.

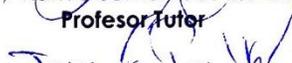
Reunido el Tribunal Evaluador los aspirantes proceden a presentar su tema: **“Propuesta de mejora operacional que permita el incremento en la uniformidad en el peso y la reducción de pérdidas por mermas en la manufactura de alambre del Departamento de Trefilado de la empresa BIA Alambres/Bekaert Costa Rica, durante el periodo 2018-2019”**.

Concluida la presentación del proyecto, el Tribunal Evaluador considera que, de conformidad con la normativa en la materia, el estudiante obtiene una calificación de 10, cumpliendo con las exigencias requeridas para la aprobación y les es conferido el grado de:

Licenciado en Ingeniería en Producción Industrial.

Asimismo, acreedor de mención honorífica No () Sí (X)


Kathia Somarribas Quirós
Profesor Tutor


Javier Peralta Matarrita
Representante del Sector Productivo


Jorge Cambronero Delgado
Profesor Lector


Eduardo Brenes Guzmán
Presidente del Tribunal Examinador

Estudiante:

Josimar Rodríguez Aguirre,  _____

Puntarenas, 8 de marzo de 2019

Sres.
Universidad Técnica Nacional
Ciudad

Estimados señores:

Leí y corregí el informe denominado **“Propuesta de mejora operacional que permita el incremento en la uniformidad en el peso y la reducción de pérdidas por mermas en la manufactura de alambre del Departamento de Trefilado de la empresa BIA Alambres/Bekaert Costa Rica, durante el periodo 2018 - 2019.”** Elaborado por los estudiantes: Bermúdez Carvajal Jordán Andrés, cédula número 6-04310662, López Jiménez Randall Mauricio, cédula número 503350091 y Rodríguez Aguirre Josimar, cédula número 604300228 para optar por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Producción Industrial.

Corregí el trabajo en aspectos, tales como: construcción de párrafos, vicios del lenguaje que se trasladan a lo escrito, ortografía, puntuación y otros relacionados con el campo filológico, y desde ese punto de vista considero que está listo para ser presentado como Trabajo Final de Graduación; por cuanto cumple con los requisitos establecidos por la Institución.

Se suscribe de ustedes cordialmente,



Licda. Nayla Salazar Vargas
Carné N° 8332

DEDICATORIA

A Dios, porque todas las cosas proceden de él, existen por él y para él, puesto que no depende del que quiere, ni del que corre, sino de Dios que tiene misericordia. A mi familia por ser una fuente inagotable de amor, paciencia y comprensión durante este proceso, por creer en mí y apoyarme en cada situación, cada uno de estos logros son para ellos.

Bermúdez Carvajal Jordan Andrés, 2019.

Este proyecto lo dedico principalmente a mi familia por su apoyo, comprensión y paciencia en este proceso. Agradezco a Dios por darme la oportunidad de llevar a cabo mis aspiraciones académicas. También a todos esos amigos que en el camino universitario me brindaron su mano de una u otra manera. Finalmente, a mis profesores y compañeros de proyecto de graduación.

López Jiménez Randall Mauricio, 2019.

Primeramente, a Dios, que como padre me cuida, me suple y sostiene. Como padre que sabe lo que a su hijo le conviene. Motor de mi vida y razón de vivir. Y por supuesto este triunfo no es sólo mío si no de mi familia, mi pilar y motivo a vivir, gracias por ese amor incondicional y apoyo. Por eso y mucho más esto va dedicado a ellos.

Rodríguez Aguirre Josimar, 2019.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos primero a Dios, a nuestras familias quienes a lo largo de toda nuestra vida nos han apoyado y motivado en nuestra formación académica y profesional, creyeron en nosotros en todo momento, siempre nos apoyaron y fueron un pilar importante en nuestros estudios.

A nuestros profesores a quienes les debemos gran parte de nuestros conocimientos, mediante sus enseñanzas y cada una de sus prácticas pedagógicas nos han brindado un aprendizaje valioso. Gracias por su paciencia y enseñanza.

Nuestro profundo agradecimiento a la empresa BIA Alambres/Bekaert Costa Rica por abrirnos sus puertas y permitirnos llevar a cabo este proyecto en sus instalaciones.

También, agradecemos a nuestra profesora tutora, Ing. Kathia Somarribas Quirós, a nuestros profesores lectores, Ing. Jorge Cambroner Delgado e Ing. Uriel Lobo Sancho, a nuestro director de carrera Ing. Eduardo Brenes Guzmán. Y un especial agradecimiento a Javier Peralta Matarrita, ingeniero electromecánico, por todo su apoyo y guía durante este proceso. A todos, muchas gracias.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Generalidades de la empresa.....	4
1.1.1 Historia de la empresa.....	4
1.1.2 Ubicación de la empresa.	6
1.1.3 Marco filosófico.....	6
1.1.4 Descripción de la estructura organizativa.	8
1.1.5 Proceso productivo.....	9
1.1.6 Productos y servicios que se ofrecen.	11
1.2 Tema.....	13
1.3 Delimitación del tema.....	13
1.3.1 Alcances.....	14
1.3.2 Limitaciones.....	15
1.4 Justificación.....	16
1.5 Planteamiento del problema.....	18
1.6 Objetivos.....	20
1.6.1 Objetivo general.....	20
1.6.2 Objetivos específicos.....	20
1.7 Estado de la cuestión (estado del arte).....	21
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	27
2.1 Industria del acero.....	28
2.2 Proceso de trefilado.....	30
2.3 Políticas energéticas del Instituto Costarricense de Electricidad.....	36
2.4 Automatización.....	37
2.5 Proceso de recocido.....	40
2.6 Diagnóstico del problema.....	42
2.7 Formatos <i>Work Look Models</i>	43
2.7.1 Eficiencia esperada de la máquina.....	45
2.7.2 Volumen esperado de la producción.....	45

2.7.3 Ocupación total del operador.....	46
2.7.4 Horas hombre/tonelada.	46
2.7.5 Horas máquina/tonelada.	47
2.8 Análisis de varianza de las mediciones	47
2.9 Análisis de los gastos	48
2.10 Análisis económico de inversión.....	49
2.11 Diagrama SIPOC	50
2.12 Diagrama de flujos de procesos	51
2.13 Siete grandes desperdicios.....	51
2.13.1 Sobreproducción.	52
2.13.2 Esperas.	52
2.13.3 Transporte	53
2.13.4 Movimientos innecesarios	53
2.13.5 Reprocesos	53
2.13.6 Defectos	54
2.13.7 Inventario.....	54
2.14 Los cinco por qué.....	55
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	56
3.1 Enfoque metodológico	57
3.2 Tipo de Investigación	58
3.3 Población y muestra de la investigación	59
3. Definición de variables.....	60
3.5 Técnicas e Instrumentos para la recolección de datos y el análisis de la información.	61
3.5.1 Observación de la situación actual	61
3.5.2 Estandarización de la medición	62
3.5.3 Proceso de medición de las variables y tabulación	63
3.5.4 Costos de las mediciones.....	65
3.5.5 Análisis de datos	65
CAPÍTULO IV: DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	67
4.1 Proceso en departamento de Trefilado.....	68

4.2	Procesos manuales para rollos de 45 kg	73
4.3	Evidencia de oportunidades de mejora	75
4.3.1	Subutilización de la capacidad instalada.	77
4.3.2	Rotura: avería con tiempo improductivo.	78
4.3.3	Indicadores del departamento.	80
4.3.4	Tiempo de amarre y peso en los rollos de 45 kg	84
4.3.5	Factor humano en el departamento.....	90
4.4	Las siete grandes pérdidas de <i>Lean Manufacturing</i>	92
4.4.1	Sobreproducción.	92
4.4.2	Esperas.	92
4.4.3	Transporte.	92
4.4.4	Movimientos innecesarios.	93
4.4.5	Reprocesos.	95
4.4.6	Defectos.	95
4.4.7	Inventario.....	96
CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN		97
5.1	Técnicas de cinco por qué	98
5.2	Análisis estadístico	101
5.2.1	Resumen estadístico para tiempo de amarrado	101
5.2.2	Resumen estadístico para peso de producto final.....	103
5.2.3	Gráficas de caja.....	104
5.2.4	Gráficas de valores individuales	105
5.3	Diseño de experimentos (DOE)	108
5.3.1	Verificación de supuestos.....	109
5.3.2	Análisis de varianza (ANOVA).....	109
5.3.2.1	ANOVA de tiempo de amarrado.	109
5.3.2.2	ANOVA de peso del producto final	110
5.3.3	Gráficos principales	111
CAPÍTULO VI: PROPUESTAS.....		118
6.1	Análisis operativos y económicos	119
6.1.1	Propuesta 1.	122

6.1.2 Propuesta 2.	126
6.1.3 Propuesta 3.	130
6.2 Comparación de propuestas	133
6.3 Matriz de comparaciones	134
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	137
7.1 Conclusiones	138
7.2 Recomendaciones	141
BIBLIOGRAFÍA	143
APÉNDICES	151
Apéndice1. Cuadro de mediciones aleatorias.....	151
Apéndice 2. Matriz de variables	155
Apéndice 3. Datos de los operarios sometidos a mediciones.....	158
Apéndice 4. Diagrama SIPOC	159
Apéndice 5. Diagrama de flujo de procesos de trefilado.....	161
Apéndice 6. Cursograma analítico del proceso	163
Apéndice 7. Pesos y tiempos medidos	164
Apéndice 8. Costo de operario	168
Apéndice 9. Plano de BIA Alambres/Bekaert Costa Rica	170
Apéndice 10. Croquis de BIA Alambres/ Bekaert Costa Rica	171
Apéndice 11. Prueba de supuestos Tiempo amarrado de rollos en minutos.172	
Apéndice 12. Prueba de Supuestos para peso del producto final	175
Apéndice 13. ANOVA de tiempo de amarrado	178
Apéndice 14. ANOVA de peso de producto final	180
Apéndice 15. Cálculo de costo eléctrico propuesta Saizar	182
Apéndice 16. Cálculo de costo eléctrico propuesta Servicios Técnicos del Pacífico.....	184
Apéndice 17. Cálculo de costo eléctrico propuesta Ficmams.....	186
ANEXOS.....	188
Anexo 1. Mantenimiento anual Servicios Técnicos del Pacífico	188
Anexo 2. Propuesta Saizar	190
Anexo 2. Propuesta Servicios Técnicos del Pacífico	225

Anexo 3. Propuesta Ficmams..... 229

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Organigrama de la empresa BIA Alambres Costa Rica	9
Figura 2. Representación del proceso productivo	11
Figura 3. Productos Bekaert.....	12
Figura 4. Deformación del material mediante el trefilado	32
Figura 5. Microestructura de los aceros	33
Figura 6. Representación general del trefilado.....	34
Figura 7. Principio de conservación de masa	35
Figura 8. Representación de la función de una hilera o dado	36
Figura 9. Modelo estructural de un modelo automatizado	40
Figura 10. Ejemplo de un Diagrama de Ishikawa.....	43
Figura 11. Formato del diagrama SIPOC.....	50
Figura 12. Interior de la máquina, acomodo de hileras	69
Figura 13. Representación del proceso de trefilado.....	71
Figura 14. Operario haciendo el proceso manual	72
Figura 15. Amarras que se dan en el rollo	73
Figura 16. Rollos en el <i>spyder</i>	74
Figura 17. Producto final, alambre 1,36 mm recocado Bekaert	75
Figura 18. Diagrama de Ishikawa.....	75
Figura 19. Ejemplo de suciedad en el uniforme	77
Figura 20. Ocupación total del operario	82
Figura 21. Ocupaciones del hombre y la máquina	83
Figura 22. Gráfica de valores individuales	85
Figura 23. Gráfica de intervalos	87
Figura 24. Máquina de trefilado.....	95
Figura 25. Cinco porqués exceso de producto.....	98
Figura 26. Cinco porqués deficiencia de uniformidad	100
Figura 27. Resumen estadístico del tiempo de amarrado.....	102
Figura 28. Resumen estadístico del peso de producto final.....	103

Figura 29. Gráfica de cajas	105
Figura 30. Gráfica de valores individuales por operario	106
Figura 31. Gráfica de valores individuales por turno	107
Figura 32. Gráfica de efectos principales para tiempo de amarrado.....	111
Figura 33. Gráfica de interacción para tiempo de amarrado por rollo	112
Figura 34. Gráfica de efectos principales para peso del producto	113
Figura 35. Gráfica de interacción para peso del producto.....	114
Figura 36. Síntesis del análisis.....	116
Figura 37. Gráfica de probabilidad de residuos de tiempo de amarrado.....	172
Figura 38. Prueba de igualdad de varianzas: Tiempo de amarrado por rollo.....	173
Figura 39. Gráfica de probabilidad de residuos de peso de producto	175
Figura 40. Prueba de igualdad de varianzas: peso del producto final.....	176

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ocupación de los operadores	84
Tabla 2. Resumen de las mediciones dadas	86
Tabla 3. Pérdidas económicas por desperdicio.....	89
Tabla 4. Nueva distribución de la ocupación total	122
Tabla 5. Inversión Saizar	124
Tabla 6. Ahorros generados Saizar.....	124
Tabla 7. Flujo Neto de Efectivo Saizar	125
Tabla 8. Inversión Servicios Técnicos del Pacífico	127
Tabla 9. Ahorros generados Servicios Técnicos del Pacífico	127
Tabla 10. Flujo Neto de Efectivo Servicios Técnicos del Pacífico	129
Tabla 11. Inversión Ficmams	131
Tabla 12. Ahorros generados Ficmams	131
Tabla 13. Flujo Neto de Efectivo Ficmams.....	132
Tabla 14. Comparación de las propuestas.....	134
Tabla 15. Matriz de comparaciones	135

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Reducción de las hileras	70
Cuadro 2. Capacidad de producción de las máquinas	78
Cuadro 3. Roturas por máquina	79
Cuadro 4. Resumen de los <i>Work look models</i>	81

RESUMEN

Este proyecto es desarrollado en la empresa BIA Alambres/Bekaert Costa Rica, negocio ubicado en La Ceiba, Orotina, Alajuela; dedicado a la industria del acero, así, se describen las generalidades de la empresa y se genera un enfoque en el principal proceso productivo, el departamento de Trefilado (aproximadamente el 80% de los procesos dependen del trefilado).

En dicho proceso mediante la observación, medición de tiempos y pesos se logra identificar la existencia de desperdicios y variabilidad en los procesos productivos de rollos de alambre trefilado de 45 kg, debido a que existe diferencia entre el peso que entra y que sale en el proceso en mención. Así, se realiza la búsqueda de oportunidades de mejora en el departamento, lo que da como resultado un desperdicio significativo promedio de 1.828 kg por rollo de alambre, que representa una pérdida económica anual que supera los \$109 000.

Una vez que se detecta que existe desperdicio y variabilidad, se mide la afectación del turno y operario en relación con los factores de tiempo y peso con el fin de concluir estadísticamente la causa, al detectar la oportunidad de disminuir la injerencia humana en los procedimientos, para esto se cotizan tres proveedores que provean una automatización del proceso y se realizan comparaciones entre ellos para elegir la propuesta por recomendar para BIA Alambres/Bekaert Costa Rica.

Capítulo I.

Introducción

A lo largo de los años, la tecnología ha ido modificándose aceleradamente, siempre enfocada en la mejora continua de las organizaciones y los cambios ocurridos en los mercados. Cada día, los procesos productivos buscan ser el punto eficiente en la organización a través de estrategias competitivas. Dichos procesos han pasado a ser un factor vital entre las empresas, al generar confianza, satisfacción y en muchos casos, lograr destacar entre la competencia.

BIA Alambres/Bekaert Costa Rica (BIA significa Bekaert Ideal – ArcelorMittal), es ampliamente conocida por el compromiso en sus procesos y comercialización, además, un enfoque en la calidad de sus servicios; logra así, satisfacer y cumplir con las exigencias de sus clientes. Asimismo, como empresa ha entendido que su permanencia no solo depende de ello; si no de cómo obtener un mayor aprovechamiento de sus recursos productivos.

Así, BIA Alambres/Bekaert Costa Rica, es una empresa ubicada en Orotina de Alajuela. Dedicada a la fabricación de productos de acero. Tanto terminado como para materias primas de otros procesos, los cuales se hacen en diversas presentaciones según la necesidad. Es, una empresa de carácter manufacturero líder mundial en la fabricación de alambres u otros productos a base de acero, con producciones de hasta 2700 toneladas mensuales en su planta en Costa Rica, en el 2018.

De esta manera, una posible variabilidad en el peso de productos, y mayor tiempo de preparación del producto final, han dado una alerta importante. Y ante ello, se buscan oportunidades de mejoras para el área de Trefilado de la empresa BIA Alambres/Bekaert Costa Rica que permita cumplir sus obligaciones empresariales, con eficiencia y compromiso en sus procesos productivos.

Ante esto, se elaboran diferentes tipos de análisis y evaluaciones alternativas, las cuales consisten en la necesidad de la empresa de enfocarse en la filosofía de mejora continua de sus procesos, en este caso, en la disminución de tiempos improductivos, desaprovechamiento de recursos y deficiencias en la uniformidad de los pesos de productos terminados.

Por lo tanto, en la propuesta de mejoramiento, se conocen las cargas de trabajo del empleado, esto para la toma de decisiones que permitan la obtención de importantes beneficios, al prevalecer el interés de un crecimiento productivo siempre de la mano con la uniformidad y la optimización de los recursos.

De esta manera, se genera una propuesta de métodos ingenieriles que garanticen lograr una mayor eficiencia en la empresa, mediante diferentes análisis como mediciones de tiempos que sean de apoyo para las diversas evaluaciones y resoluciones. Que, a su vez, generen ayuda para la determinación de mejoras que garanticen mayor eficiencia en los procesos productivos de BIA Alambres/Bekaert Costa Rica.

Así, el ahorro de tiempos improductivos es un tema que toda empresa pretende disminuir, al buscar generar una mayor utilidad empresarial, mediante el aprovechamiento óptimo de los recursos disponibles por la empresa, y por consiguiente la búsqueda de ventajas competitivas.

De esta manera, en este escrito se analizan variables desde un punto de vista de uniformidad y desperdicios, los principales puntos de mejora del departamento de Trefilado, lo que permite así la generación de una solución integral que aprueba la consecución de una mejor uniformidad desde el punto de vista de la reducción de desperdicios.

1.1 Generalidades de la empresa

1.1.1 Historia de la empresa.

Según Historia (2019) desde la página oficial de Bekaert:

La historia de Bekaert comenzó en 1880, en Zwevegem, un pequeño pueblo rural de Bélgica, donde los campesinos se enfrentaban al eterno problema de que su ganado tuviera la mala costumbre de pasearse fuera de los límites de sus campos, lo que dañaba así la propiedad de sus vecinos.

Leo Leander Bekaert convirtió esta necesidad en una oportunidad de negocio: abrió una pequeña empresa de alambre de púas, al agregar clavos al

alambre retorcido. Bekaert no inventó el alambre de púas, pero pronto comenzó a diseñar sus propias púas: “coronas” en forma de estrella con seis puntas afiladas que se pueden entrelazar en el alambre.

En 1881, patentó este invento y, muy poco tiempo después, contrató a casi todo el pueblo para trabajar desde sus casas fabricando las “coronas” para poder continuar produciendo a toda velocidad. En 1894, Bekaert comenzó a aplicar una capa protectora de zinc a sus productos para ofrecer mejor calidad y evitar la corrosión.

En los años veinte, la expansión global le dio una nueva dimensión a Bekaert. A principios de la década, Bekaert invirtió en una trefilería en Bourbourg (Francia). La producción comenzó en 1924, al fabricar productos de alambre para el mercado francés y los territorios franceses de ultramar.

Esta fue la primera planta de producción de Bekaert fuera de Bélgica. A lo largo de los años, Bekaert siempre mantuvo el principio de producir cerca del mercado. En 1928, Bekaert comenzó a exportar a los Estados Unidos.

En 2005, Bekaert celebró sus 125 años y lanzó una nueva identidad corporativa y el eslogan “*better together*”. El eslogan destaca la cultura empresarial cada vez más orientada al cliente y transmite la evolución hacia comunicaciones más abiertas, mejor cooperación, mayor participación de acciones

y un gran interés por la autoridad corporativa.

A inicio de 2014, Bekaert compró la mayoría del total de las acciones a la empresa Arcelor Mittal, y se construyó una nueva planta en la zona franca Condal ubicada en Orotina de Alajuela. Además, se implantaron nuevas metodologías gerenciales y nuevo personal en algunas de sus áreas.

Actualmente, la transnacional Bekaert se encuentra en una etapa de implantación, debido a sus pocos años de estar en Costa Rica. Con ayuda de otras plantas ubicadas en el extranjero, Bekaert trata de salir adelante y enrumbarse hacia la consolidación.

1.1.2 Ubicación de la empresa.

La Ceiba, Orotina, Alajuela, Costa Rica. Se ubica a 1 kilómetro sur de la autopista José María Castro Madriz (ruta 27) y a 500 metros este del Río Jesús María.

1.1.3 Marco filosófico.

Según el marco filosófico de BIA Alambres/Bekaert (2014), establece como misión, visión, valores de la empresa y objetivos organizacionales:

La misión de la empresa, según BIA Alambres/Bekaert (2014): “Somos una

empresa que, de forma consistente con su código de conducta, satisface necesidades en el negocio de alambres, de productos contenidos en soluciones con alambres, y en negocios derivados y afines”.

Asimismo, la visión según BIA Alambres/Bekaert (2014): “Somos una empresa que despliega una constante curiosidad por anticipar e implantar negocios, así como formas de trabajar que permitan maximizar la contribución económica de todas sus actividades”.

Asimismo, los valores de la empresa, BIA Alambres/Bekaert (2014), enuncia:

- Resiliencia: Direccionamiento positivo, sobreponerse a contratiempos.
- Integridad: Ética, honestidad y justicia.
- Confianza: Confianza y respeto mutuo.

También, BIA Alambres/Bekaert (2014), detalla como objetivos de la organización:

- Incrementar los ingresos generados por las ventas de los productos de gran calidad en todo el mundo.
- Satisfacer a nuestros clientes por medio del aseguramiento de la calidad en nuestros productos.
- Disminuir los costos operativos, con el fin de aumentar las utilidades.

- Reducir el impacto ambiental que se pueda dar por las operaciones de la empresa, esto con el fin de lograr un desarrollo sostenible de la industria del acero.

1.1.4 Descripción de la estructura organizativa.

En el 2018, el personal de BIA Alambres/Bekaert Costa Rica es de aproximadamente 60 personas, la estructura está conformada por el Gerente General, quien tiene a cargo un gerente de operaciones, posteriormente, hacia éste reportan cinco gerentes: producción, mantenimiento, recursos humanos, logística, y calidad y medio ambiente.

Dentro del área de producción, al gerente, reportan dos supervisores y un ingeniero de proceso, quienes tienen a cargo, facilitadores de proceso, los cuales se encargan de proveer a los operarios las herramientas necesarias para realizar el trabajo de producción.

Asimismo, está bajo condiciones de tercerización de personal, es decir, ajenos a la empresa, pero en un proyecto de mejora específico. De esta manera, la estructura organizacional es como se observa en el siguiente organigrama:

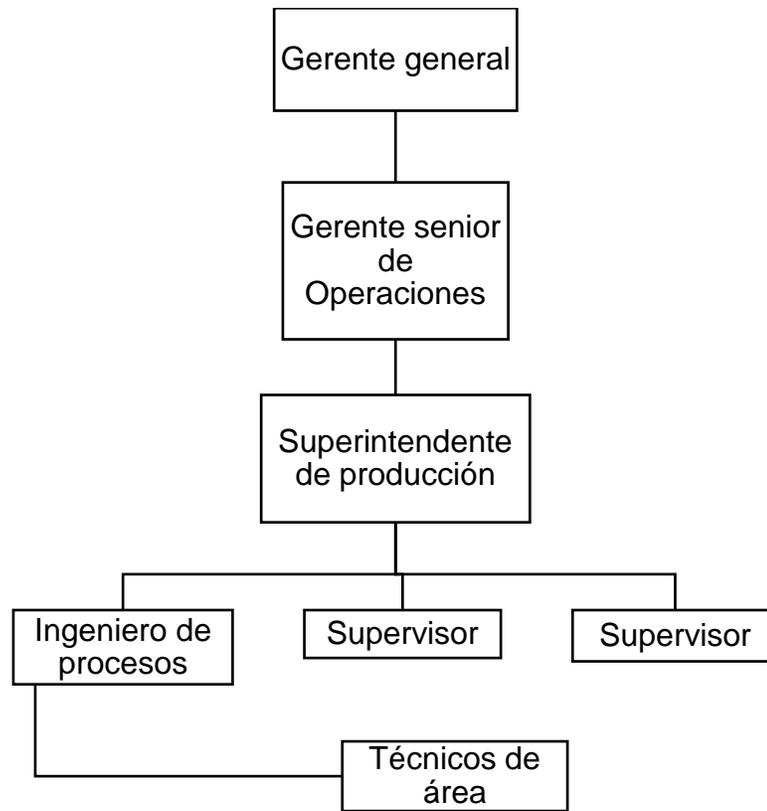


Figura 1. Organigrama operativo de la empresa BIA Alambres Costa Rica

1.1.5 Proceso productivo.

BIA Alambres/Bekaert Costa Rica, es una de las plantas dedicadas a la fabricación de productos de acero como materia prima fundamental, en esta empresa, este material es importado de países con empresas hermanas a Bekaert que ofrecen el alambroón a esta planta para la realización de los diferentes artículos capaces de producir en la empresa de este país.

La materia prima es negociada por los diferentes departamentos de cada país involucrados en el negocio de la compra y venta del material, estos mismos

se encargan del plan para la compra, importación, descarga y transporte hasta la empresa donde es utilizada por el departamento que da inicio al proceso de producción llamado trefilado.

En este departamento es donde se estira el alambre por medio de una serie de hileras con diferentes medidas, por el cual el alambrón tiene que pasar hasta alcanzar el nivel de diámetro deseado para los diferentes tipos de productos que se requieran.

Después de haber adquirido la medida necesaria para el producto final que se desea, este alambre ya por haber sido trefilado se dirige al proceso de galvanizado, en el cual se colocan los rollos de alambre en el lugar inicial de la línea que arrastra este mismo hacia una pila de zinc a una alta temperatura (aproximadamente 450°C). Esto con el fin de que el alambre al finalizar este proceso contenga una capa de zinc con el propósito que no se oxide a la hora de convertir estos rollos en los diferentes productos que prosiguen la cadena productiva.

Seguidamente el alambre ya galvanizado se dirige hacia el área de alambres de púas, al colocar los rollos en la parte de atrás de la maquinaria se sitúan en las guías de alambre que al poner a ejercer la máquina va trenzando los diferentes alambres y otro rollo es el material del cual la máquina corta y elabora la púa cada diferentes distancias según la marca, para dar paso al producto final,

listo para el depósito en bodega de producto terminado, con el fin de ser vendido a los clientes que deseen los diferentes tipos de alambres de púas, según sus necesidades o bien las características que mayor atención capten en el comprador.

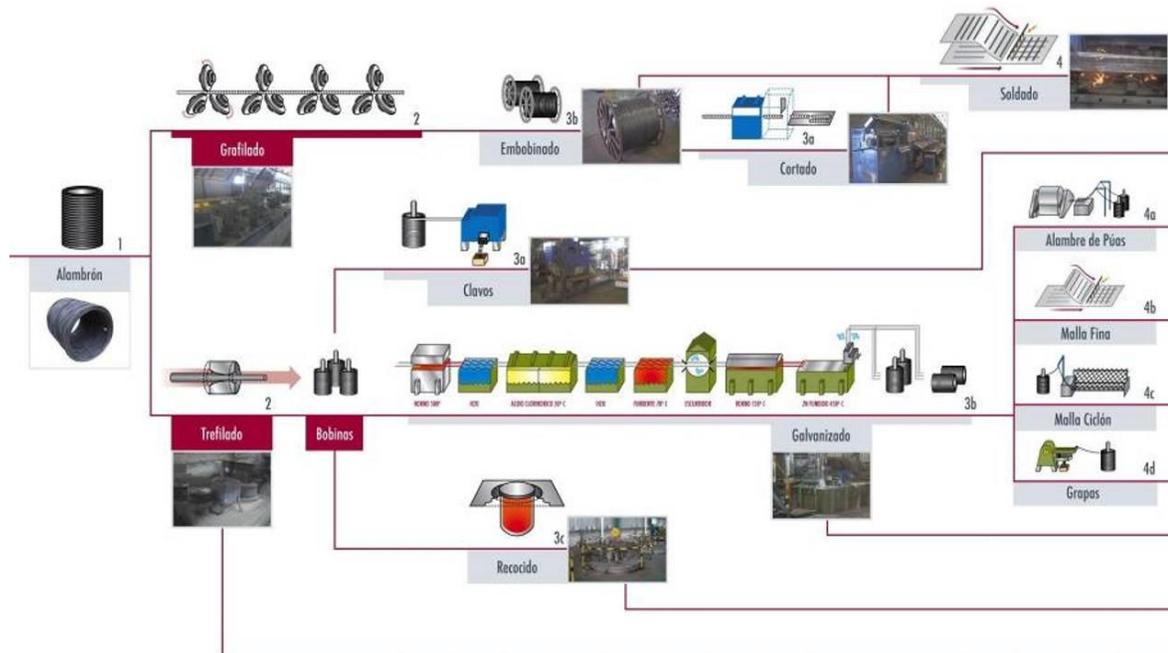


Figura 2. Representación del proceso productivo

Fuente: BIA Alambres/ Bekaert Costa Rica

1.1.6 Productos y servicios que se ofrecen.

La empresa BIA Alambres/Bekaert Costa Rica se ha ido consolidando conforme pasa el tiempo como una fuerte productora en artículos de acero, siempre ofreciendo calidad y variedad de productos a su disposición.

En el área de púas se realizan diferentes tipos de alambres que poseen un fuerte mercado en sectores agrícolas de todo el país, en este departamento de la

empresa se realizan diferentes tipos de alambre de púas galvanizados entre ellos están:

1. Motto 335 Cal 16 4p/p
2. Caimán 200 Cal 16 4p/p
3. Caimán 400 Cal 16 4p/p
4. Cabra 110 Cal 14 4p/p

Para el sector de trefilado se producen alambres con sus respectivos diámetros según corresponda, de esta manera, se producen quintales de alambre trefilado de 45 kg recocado. Asimismo, alambre galvanizado en diferentes pesos. Todos estos con diferentes destinos según el comprador tales como: Terramix, Venta Interna, Prenac, Productos de concreto, ADN y Macafferri, así como exportación a Panamá, Nicaragua, Guatemala, Ecuador, entre otros.



Figura 3. Productos Bekaert

Fuente: BIA Alambres/Bekaert

1.2 Tema

Propuesta de mejora operacional que permita el incremento en la uniformidad en el peso y la reducción de pérdidas por mermas en el Departamento de Trefilado de la empresa BIA Alambres/Bekaert Costa Rica, durante el periodo 2018-2019.

1.3 Delimitación del tema

El proyecto se desarrolla en el área de Trefilado de la empresa BIA Alambres/Bekaert Costa Rica, durante el segundo semestre del 2018 y el primer cuatrimestre del 2019. Dicho proyecto se basa en el análisis de diversas variables involucradas, tales como estudio de tiempos, cuantificación de la variabilidad del peso del producto final, aumento de la uniformidad.

Esto, para una posterior propuesta de mejora a través de los análisis que se realizan en el proceso, con el fin que sea de ayuda para garantizar la uniformidad y reducción de desperdicios en los procesos productivos y en el producto que llega al cliente.

Académicamente el proyecto se encuentra en el ámbito de la Ingeniería en Producción Industrial, en donde se aplican conocimientos y herramientas en las diferentes ramas tales como: producción, operaciones, estudios de tiempos,

estadística, costos e inversión. Conocimientos que son de gran ayuda para el desarrollo de la propuesta de mejora en BIA Alambres/Bekaert Costa Rica.

1.3.1 Alcances.

- El proyecto se realiza en el departamento de Trefilado de la empresa BIA Alambres/Bekaert Costa Rica.
- Contempla la elaboración de análisis económicos para conocer la factibilidad de la propuesta, en el departamento de Trefilado.
- Evalúa aspectos relacionados con la filosofía *Lean Manufacturing* para la reducción de desperdicio y aumento de uniformidad.
- El proyecto considera el proceso de producción, cargas de trabajo y máquinas de trefilado, no contempla lo relacionado con la oferta, la demanda, la comercialización del producto, las acciones correctivas para las máquinas detenidas y lo relacionado con la capacidad de producción.
- El proyecto considera la seguridad del personal de BIA Alambres/Bekaert Costa Rica, sin embargo, no abarca un estudio o análisis de salud ocupacional.
- Se analizan las variables de peso de producto final de rollos de 45 kg y tiempo de amarrado de los rollos, mediante la posible influencia de factores como el operario y el turno de trabajo.
- El proyecto considera tres propuestas de mejora, la empresa tiene la libertad de elegir aquella que mejor se adapte a su criterio.

- El criterio de selección de proyectos de BIA Alambres/Bekaert Costa Rica es el periodo de recuperación, ante esto, el análisis económico de este proyecto solamente se basa en cálculos respectivos para el periodo de recuperación.
- El presente estudio se basa en el proceso de trefilado que inicia con una materia prima con un diámetro de 5.50 mm, hasta finalizar a un diámetro de 1.36 mm.
- Este proyecto no contempla un análisis profundo de cuestiones mecánicas, eléctricas, neumáticas e hidráulicas.

1.3.2 Limitaciones

- Se realiza toma de tiempo en los turnos uno y dos, en el turno tres no se realizan toma de tiempo por motivo de trabajo y estudios por parte de los ingenieros encargados de la propuesta de mejora.
- Información limitada por parte de la empresa, ya que son datos confidenciales, tampoco se cuenta con Tasa de Rendimiento Mínima Aceptable (TREMA), por lo tanto, no se calcula el valor actual neto y la tasa interna de retorno de la inversión.
- Información limitada por parte de las empresas que se contactan para los procesos de cotizaciones.
- No ser parte del equipo de trabajo de BIA Alambres/Bekaert Costa Rica para dar seguimiento a las oportunidades de mejora.

- No existe acceso al desglose de costos de la empresa, sólo se obtienen valores finales.
- Los Work Look Models son confidenciales, solamente se permite el uso de capturas de pantalla de aquellos existentes.

1.4 Justificación

Así, con este trabajo, para el proceso de trefilado se realiza una propuesta de mejora en las metodologías productivas, específicamente desde el ámbito ingenieril, que garantice la exactitud en los pesos, se logra así, la eliminación de la posible merma en alambre trefilado de 45 kg, y que a su vez sea de ayuda para la reducción de desperdicios que presentan el departamento.

De esta manera, análisis internos por parte de BIA Alambres/Bekaert Costa Rica, ha demostrado una serie de problemas en el departamento de Trefilado, área de total compromiso en sus operaciones, por lo cual la eficiencia y exactitud de sus especificaciones son factores claves para la organización.

Por esa razón, la propuesta de mejora que se realiza a dicho departamento es fundamental para la eliminación de los diferentes inconvenientes antes mencionados, que en gran medida afectan considerablemente a la empresa en aspectos económicos y eficiencia del proceso.

Por lo tanto, una mejora en el proceso de producción se traduce en la reducción de desperdicios y aumento de la uniformidad, gracias a las oportunidades de mejora que se pueden encontrar en el proceso de trefilado, que sean de ayuda para lograr de esa manera la eliminación de las contrariedades que presenta dicho departamento.

El motivo que lleva a analizar diferentes alternativas consiste en la necesidad empresarial de la mejora continua de sus procesos, en este caso, enfocado en la uniformidad de los pesos y exceso de producto fuera de especificación a causa de un deficiente control de pesaje.

Por lo tanto, se requieren cambios para lograr una mejor exactitud en los pesos de productos terminados, los procesos deben ser estrictamente controlados, en conformidad con la necesidad y satisfacción del cliente interno y externo; esta es la función principal de este proceso, en cuanto a características y peso del producto final.

Por otra parte, recientes inconformidades se presentan en el área de Trefilado, tales como: merma, exceso de peso en cada unidad de producto terminado y deficiencias en los tiempos productivos de las cargas por operario, son razones por las cuales la propuesta de mejora será factible para atacar estas contrariedades que presenta el departamento.

De esta manera la necesidad de encontrar puntos endebles que afecten considerablemente la organización en aspectos tales como eficiencia y económicos es el motivo por el cual se proponen diversas mejoras que garanticen un beneficio, en una organización consolidada a través de los años.

1.5 Planteamiento del problema

El presente proyecto se lleva a cabo en el departamento de Trefilado, específicamente en el proceso de manufactura y producción de BIA Alambres/Bekaert, lo que permite establecer un amplio estudio e información que determine variables no conformes que se presenten y se puedan atacar con métodos ingenieriles que tengan caracteres firmes y precisos.

Así, a través de análisis y cálculos que se realizan en diferentes controles internos de BIA Alambres/Bekaert, se evidencia como problema principal, que las toneladas de producto terminado no coinciden con las toneladas de materia prima inicial, esto debido a que existe un posible desperdicio en el proceso de trefilado.

De esta manera, se evidencia que por cada 4995 kilogramos de materia prima que entra en el proceso de trefilado, según el estándar de producción que posee el proceso, teóricamente por día deberán salir 111 rollos de alambre trefilado de 45 kg, pero realmente están saliendo 107 por turno en producto terminado.

Por ende, de 4995 kilogramos que entren al proceso, solamente se contabilizan 4815 kilogramos de material a la salida, lo que representa que el 3.60% del material entrante se está perdiendo, esto representa aproximadamente 540 kilogramos de material diarios, que en términos económicos representa una pérdida de aproximadamente \$291.6 diarios, más de \$100 000 por año.

De esta manera, existe una responsabilidad latente por parte de la empresa encontrar las causas de esta problemática y obtener una eficiencia en sus procesos, por lo cual se deben eliminar los problemas en el proceso, esto para la consecución de agilización de las operaciones.

Debido a que esto genera un impacto para BIA Alambres/Bekaert Costa Rica en relación con productividad y los asuntos económicos, ya que no se ha realizado un análisis completo para conocer las causas y factores que están generando un posible desperdicio de materia prima en el proceso de trefilado, por lo tanto, no se han propuesto soluciones ni se ha controlado el proceso actual.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general.

Proponer una mejora operacional en el Departamento de Trefilado en la empresa BIA Alambres/Bekaert Costa Rica, mediante un análisis de sus operaciones para que se logre el incremento en la uniformidad y la reducción de los desperdicios del proceso, durante el periodo 2018-2019.

1.6.2 Objetivos específicos.

1. Analizar el proceso productivo del Área de Trefilado mediante la identificación y medición de causas que influyen en la uniformidad y generan desperdicios para la obtención de un diagnóstico adecuado.

2. Evaluar las oportunidades de mejora encontradas, mediante análisis estadísticos y otras herramientas, para que se obtenga el incremento en la uniformidad y la reducción del desperdicio.

3. Plantear propuestas de sistemas operativos a partir de un análisis de viabilidad económica que permitan la reducción de merma de alambre producido, y aumente la rentabilidad.

1.7 Estado de la cuestión (estado del arte)

En este apartado se realiza un análisis y recolección de los aportes más relevantes realizados en las investigaciones y proyectos sobre propuestas de automatización, controles e indicadores de uniformidad, evaluaciones de productividad y demás herramientas ligadas con la filosofía *Lean Manufacturing*, dadas en diferentes empresas de producción y su impacto desde un punto de vista desperdicios y de uniformidad.

La automatización tiene grandes impactos en las industrias, generalmente, sin ser modificaciones considerables, el impacto positivo que se genera es significativo, Romero, D. (2009), señala:

Según el análisis técnico y financiero de las propuestas relacionadas con el proceso de embalaje: Sistema neumático, isla robotizada y robot IRB360, es posible afirmar que con estas es posible dar solución a los problemas identificados en cada proceso ya que se incrementa la productividad en un 48%, 84%,68% y 57%,06% respectivamente. Adicionalmente, se eliminan las novedades y se obtiene una tasa de retorno significativa. (p. 100).

También, es importante mencionar que el aumento de la producción que frecuentemente genera un sistema de automatización es significativo, esto lo

detalla Tadeo J. & Bustamante J. (2007), enuncia que: “se reducirán en gran medida los tiempos de procesado del café, pues en lugar de procesar 150 kg en 7 días se podrán procesar hasta 20 toneladas en un lapso de 15 horas”. (p. 121).

Es importante ya que la eficiencia que ofrece una automatización es racionalmente proporcional en consideración con los procesos manuales. Los tiempos son reducidos, se da un aumento de toneladas en producciones además de tener como complemento la calidad en cada detalle de los procesos. Todo esto suma en valor añadido en los productos terminados.

Asimismo, la automatización como herramienta de mejora también ha sido utilizada para labores auxiliares dentro de los procesos, por ejemplo, aquellos primordiales como el control de la calidad y la optimización de tiempos y costos, esto lo concluye Vallejo, B., & Vallejo, S. (2006):

La implementación de sistemas de control y adquisición de datos va a permitir la estandarización de procesos en la empresa, cumplir exigencias de calidad, al optimizar tiempos y costos. Adicionalmente, se tienen ventajas como la generación de reportes, registro de datos, manejos de formulaciones, control de inventarios, reducción de duplicidad de información, constituyéndose en la oportunidad de replantear los procesos de la organización y obtiene como beneficio la agilidad en la toma de decisiones en todos los niveles. (p. 15)

Entre otros aspectos, es importante acotar que los tiempos y movimientos también se pueden ver afectados positivamente por una automatización en un proceso de producción, eso lo destaca Ortiz, T. (2018), en sus conclusiones de trabajo de graduación:

Se logran disminuir los paros improductivos debido a que para la colocación de accesorios de alta rotación ya no es necesaria la búsqueda o el traslado a bodega, el tiempo que un operador demora en realizar esta actividad se reduce de minutos a segundos, se logra con esto una ventaja importante para el tiempo de fabricación. (p. 140).

De esta manera, existen precedentes que la aplicación de una automatización es un complemento de reducción de tiempos ociosos, esto debido a que los paros improductivos se podrán mejorar mediante calibraciones o aumento en la eficiencia del equipo que esté operando, esto para lograr cumplir con la productividad deseada en cada jornada laboral. Además de establecerle un mantenimiento preventivo para disminuir el margen de fallo en el quipo.

De igual manera, al automatizar un proceso, el impacto económico es significativo, y generalmente es rentable, a tal punto de obtener los beneficios y recuperación en un periodo corto. Esto, lo describe Romero, D. (2009):

Con la implementación de la propuesta en el área de embalaje se garantiza la eliminación de las novedades que se presentan en el proceso actual lo que implica que La Empresa Panificadora ahorre una cifra promedio de \$17'953.696 anuales correspondientes a dichas inconformidades. (p. 100).

Es importante siempre velar por factores críticos en los procesos productivos como uniformidad, eficiencia y productividad que pueden llevar como influencia al constituyente más importante: el impacto monetario. El automatizar un proceso no solo es de gran ayuda para aumentar la producción, mejorar la eficiencia y calidad. Si no, que intrínsecamente habrá en grandes rasgos una disminución en inconvenientes tales como tiempos improductivos, desperdicio de materia prima, demoras en los procesos, entre otros; que pueden ser problemas de cuidado para la organización ya que pueden ser críticos en un futuro.

Además, es importante destacar que actualmente existe una brecha considerable desde el punto de vista del nivel de sistematización en diferentes organizaciones, y sólo algunas optan por procesos con mayores grados de automatización, así lo relata Ovalle, A. M, et al (2013);

El 10% de las organizaciones tiene alguna aplicación de robótica; las demás (90%) no la tienen implementada. Por otra parte, el análisis de madurez y obsolescencia tecnológica se realizó al tener en cuenta

la edad de los equipos de automatización con los siguientes resultados: 0-5 años: 20%; 6-10 años: 42%; 11-20 años: 25%; > 20 años: 13%. (p. 180)

Consecuentemente, dentro del proceso de mejora continua de cada organización, la automatización de los procesos es un pilar, esto lo detalla Vallejo, B., & Vallejo, S. (2006): “La automatización debe ser vista como una oportunidad para el mejoramiento de los procesos productivos, en tanto que su correcta aplicación contribuye a la optimización de la totalidad de los recursos que intervienen en un proceso de transformación de materiales [...]”. (p. 15).

Asimismo, existe una serie de circunstancias que generan brechas en el nivel de automatización, en la que destacan la resistencia al cambio y la alta inversión inicial, de esta manera Ovalle, A. M, et al (2013), concluyen en cifras sobre las brechas de automatización en los procesos:

[...] De acuerdo con el grado de intervención humana, se tienen niveles medios de automatización (40%); sólo el 10% se encuentra entre las categorías media-alta a clase mundial; en el 50% restante, se presenta una mayor brecha tecnológica, por lo bajos niveles de automatización encontrados, dado el carácter manual de las operaciones de la cadena de valor. (p.180).

La importancia de automatizar procesos recae en que actualmente, los procesos productivos son realizados de forma manual, de manera que no es confiable el aseguramiento de diversas variables que influyan en el resultado, debido a que no existe uniformidad en los procesos, ante esto, la automatización asegura todo lo contrario y que con ello cumpla con ser mucho más eficaces a la hora de realizar el trabajo diario, al garantizar así una mayor uniformidad en los procesos y por ende en sus resultados.

El mercado hoy en día tiene mucha competencia, son muchas las empresas que optan por automatizar sus procesos, con el objetivo de ser más eficientes. Logran así ser empresas *top* en cada uno de los ámbitos que estos competen. Desarrollan, de esta forma, una mayor rentabilidad en el mercado.

Capítulo II: Marco teórico

2.1 Industria del acero

La industria del acero ha ido creciendo aceleradamente, su demanda y variedad de aplicaciones hacen que cada día se convierta en un material más frecuente, Maldonado, J. (1996) describe el acero como aleaciones de hierro y carbono, aquellos llamados al simple carbono son los que generalmente tienen aparte del carbono cantidades o porcentajes pequeños de Mn, Si, S, P. Un ejemplo es el acero 1045 que tiene un 0.45% de carbono.

El acero es el más importante, multifuncional y adaptable de los materiales y está presente al jugar un papel esencial en infinidad de sectores de aplicación. El acero es una aleación del hierro con otros elementos no metálicos (carbono, silicio, fósforo, azufre, etc.) y metálicos (manganeso, titanio, cromo, níquel, molibdeno, etc.). El elemento más importante de aleación es el carbono (< 2,0 %) y altera entre límites estrictos su composición y la de los otros elementos de aleación, pueden obtenerse aceros de diferentes características. (pp. 1-2).

Actualmente, para protección del acero como materia prima, se utiliza una cascarilla de defensa ante la oxidación, generalmente llamada calamina, Hernández, M., & Isabel, M. (2004), describen este método de protección utilizado en las industrias de acero:

La cascarilla por su alto contenido en hierro metálico y bajo contenido en metales no férricos y compuestos alcalinos, es un residuo idóneo para su reciclado directamente al horno alto vía planta de sinter [4,6]. Aproximadamente el 90,0 % de la cascarilla se recicla directamente en la propia industria siderúrgica y pequeñas cantidades se utilizan para ferroaleaciones, en plantas cementeras y en la industria petroquímica. (P. 2)

De esta manera, uno de los procesos más utilizados en el procesamiento del acero es el trefilado, que según Elices, M. (2001) el proceso de trefilado con el que se obtienen estos alambres es una de las más antiguas operaciones de conformado de metales. Consiste, esencialmente, en reducir las dimensiones de una barra haciéndola pasar a través de una matriz cónica por estirado en frío.

Por lo tanto, el trefilado es la aplicación de fuerza mecánica que estira el alambre a una tensión establecida con el fin de reducir el diámetro según la necesidad; tal y como lo describe Gálvez, F., et al (2001):

El trefilado se lleva a cabo normalmente a temperatura ambiente y se trata de un proceso multi paso en el que se obliga al material a pasar por varias hileras (el número oscila normalmente entre 7 y 20, dependiendo de la reducción deseada) colocadas en serie. Las reducciones que se alcanzan en el proceso pueden llegar al 90 % de

sección. (P. 185).

2.2 Proceso de trefilado

El trefilado es el conjunto de una serie de procedimientos que permiten ir pasando el alambre a través de diversas dados o hileras, que son elementos de acero resistente a la deformación con una pasada a un diámetro definido, esto genera una disminución del diámetro del alambre conforme pasa por hileras cada vez con un diámetro más pequeño. De esta manera, Rojas, E. L. et al (2008), se refieren:

El proceso de trefilado de un alambre de sección circular consiste en reducir de forma simétrica la sección del mismo al hacerlo pasar, mediante una fuerza de tiro, a través de una hilera o serie de hileras (también denominadas matrices o dados) [...] La particularidad de este proceso es que la reducción de área experimentada por el alambre se encuentra limitada por la relación de velocidades existente entre sus ejes giratorios. Este hecho hace que sólo exista un cierto porcentaje de resbalamiento admisible entre el alambre y los tambores de tiro que pueda compensar el desgaste de los dados. (pp. 188-189).

El proceso de trefilado consiste en el estiramiento a presión causada por la

fuerza mecánica de un elemento, a partir de esto, el alambre pasa a través de hileras o dados con el fin de ir reduciendo su diámetro progresivamente para posteriormente resultar en un diámetro en específico, Castillo, L. B., & Pereda, J. (2013), describen el proceso de trefilado del alambre de acero:

El trefilado es un proceso de deformación por estirado en frío que tiene por objeto reducir la sección del alambón o alambre para obtener un menor diámetro. La principal herramienta del proceso es el dado, el cual contiene una abertura cónica, por la cual se estira el alambón o alambre mediante una fuerza mecánica. En este proceso la masa se conserva, no hay pérdida de material dado que a medida que el diámetro se reduce, se obtiene un aumento de longitud. Por otro lado, en el interior del alambre, la estructura de los granos se estira aumentando su resistencia a la tracción. En este proceso, el insumo utilizado es el lubricante de borax el cual genera una película por deposición (básico) y forma una gran presión y fricción entre el dado y el alambre, lo que genera una capa entre los dos metales para evitar el rozamiento en seco. (P. 31-32).

Lo anterior describe lo que se observa en la siguiente figura:

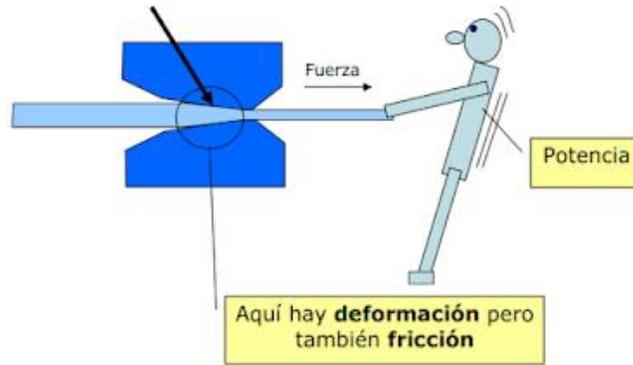


Figura 4. Deformación del material mediante el trefilado

Fuente: Beunens P. (1994). Tecnología del alambre. Bekaert, Bélgica.

Así, el trefilado es el proceso utilizado para la reducción del diámetro de un alambre, según las necesidades de producción que se tengan, de esta manera, el trefilado, según González, B., Matos, J. C., & Toribio, J. (2009), es

El proceso de trefilado produce una serie de cambios en la microestructura de los aceros perlíticos. Con la deformación plástica, las láminas de perlita se orientan progresivamente según la dirección axial, al disminuir además su espaciado interlaminar. Para pequeñas deformaciones la orientación de las láminas es predominante, mientras que en deformaciones más altas lo es la disminución del espaciado interlaminar. (P. 142).

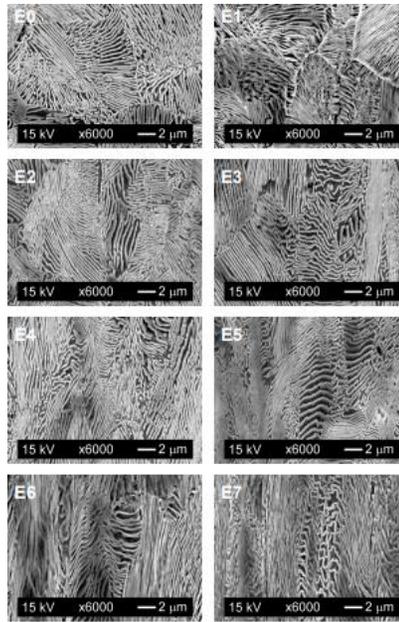


Figura 5. Microestructura de los aceros

Fuente: González, B., Matos, J. C., & Toribio, J. (2009). Relación microestructura-propiedades mecánicas en acero perlítico progresivamente trefilado. In *Anales de Mecánica de la Fractura* (Vol. 26, pp. 142-147).

El trefilado, cada día se convierte en un proceso más importante en cualquier industria, debido a que el uso de diversos diámetros de acero sigue en expansión, lo que llega a tener grandes y diversas áreas donde puede ser utilizado, esto lo acota Gálvez, F., et al (2001):

El alambre de acero trefilado es un material de gran interés industrial. Se emplea masivamente en las obras del hormigón pretensado, en los cables de la minería y de la industria pesquera y en la industria del automóvil, como hilos muy finos para refuerzo de neumáticos. (P.

185).

Dentro de los datos del trefilado, González, B., Matos, J. C., & Toribio, J. (2009), enuncian que el grado de trefilado se puede caracterizar mediante la deformación plástica ϵ , función de las variaciones geométricas producidas durante el proceso de trefilado.

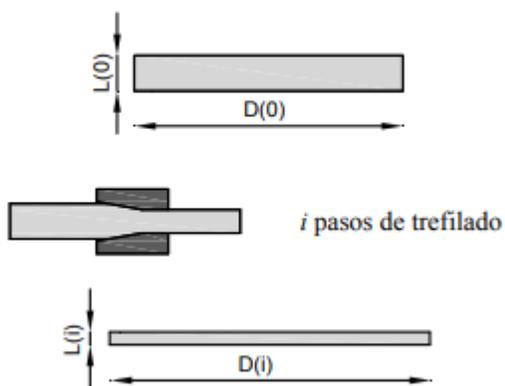


Figura 6. Representación general del trefilado

Fuente: González, B., Matos, J. C., & Toribio, J. (2009). Relación microestructura-propiedades mecánicas en acero perlítico progresivamente trefilado. In *Anales de Mecánica de la Fractura* (Vol. 26, pp. 142-147).

Como se observa en la figura anterior, existe un alambre de acero a un diámetro cualquiera, que mediante una serie de procesos de tensión pasa mediante un determinado número de pasos de trefilado, con el fin de ir disminuyendo su diámetro hasta la medida que se requiera. Es importante mencionar, que la masa que entra y sale del proceso de trefilado es la misma, tal y como se observa en la siguiente figura:

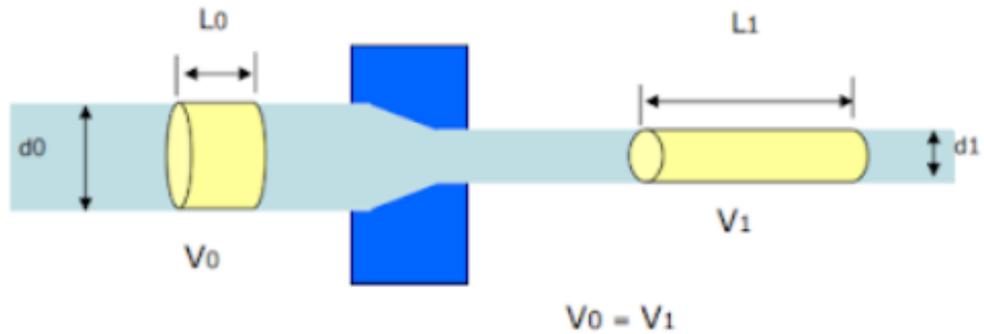


Figura 7. Principio de conservación de masa

Fuente: Beunens P. (1994). Tecnología del alambre. Bekaert, Bélgica.

De esta manera, una hilera, también denominada dado, debe tener una mayor resistencia a la deformación que el alambre por deformar, por lo tanto, debe estar fabricada con materiales cerámicos, esto lo describe Lorenzo, M., Kharin, V., & Toribio, J. (2009):

Por este motivo se suele utilizar materiales cerámicos con módulos de elasticidad y límites elásticos altos (e.g. CW, utilizado en este estudio con $E = 600 \text{ GPa}$). Por otro lado, el acero trefilado debe sufrir deformaciones plásticas que permitan obtener, al final del proceso, el alambre con las dimensiones deseadas. (P. 314).

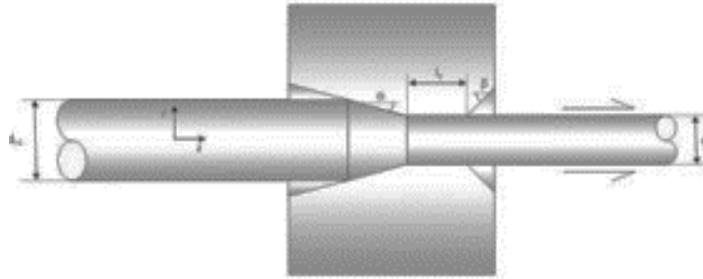


Figura 8. Representación de la función de una hilera o dado

Fuente: Lorenzo, M., Kharin, V., & Toribio, J. (2009). Influencia de la longitud de transición de la hilera de trefilado sobre la fragilización por hidrógeno de aceros de pretensado. In *Anales de Mecánica de la Fractura* (Vol. 26, pp. 312-318).

2.3 Políticas energéticas del Instituto Costarricense de Electricidad

En materia energética, según documentación oficial del Instituto Costarricense de Electricidad (2018), se define que:

Para el suministro de energía y potencia a servicios eléctricos servidos a media o baja tensión clasificados en el sector industrial según la clasificación de actividades económicas (código CIIU) utilizada por el Banco Central de Costa Rica (BCCR):

- **Período punta:** Se define como período punta al comprendido entre las 10:01 y las 12:30 horas y entre las 17:31 y las 20:00 horas.

- Período valle: Se define como período valle al comprendido entre las 6:01 y las 10:00 horas y entre las 12:31 y las 17:30 horas, es decir.
- Período nocturno: Se define como período nocturno al comprendido entre las 20:01 y las 6:00 horas del día siguiente, es decir. (P. 4).

De igual manera, las tarifas del Instituto Costarricense de Electricidad en su documento de tarifas, extiende que para consumos menores o iguales que 3 000 kWh la tarifa es por cada kWh ¢116.17. Mientras, para consumos mayores de 3 000 kWh, el cargo por energía, por cada kWh ¢69.50 y el cargo por potencia, por cada kW ¢11 490.23.

2.4 Automatización

Por otra parte, desde un punto de vista de automatización, Ponsa, P., & Granollers, A. (2010), acotan la definición de este concepto:

La Real Academia de las Ciencias Físicas y Exactas define la automática como el conjunto de métodos y procedimientos para la sustitución del operario en tareas físicas y mentales previamente programadas. De esta definición original se desprende la definición de la automatización como la aplicación de la automática al control

de procesos industriales. (p.2)

Por otra parte, la automatización de un proceso siempre es importante para una empresa, pues, desde el punto de vista productivo se obtienen réditos considerables, de esta manera García, E. (1999), describe la automatización como herramienta estratégica:

La automatización de los procesos industriales constituye uno de los objetivos más importantes de las empresas en la siempre incesante tarea de la búsqueda de la competitividad en un entorno cambiante y agresivo. La automatización de un proceso industrial, (máquina, conjunto o equipo industrial) consiste en la incorporación al mismo, de un conjunto de elementos y dispositivos tecnológicos que aseguren su control y buen comportamiento. Dicho automatismo, en general ha de ser capaz de reaccionar frente a las situaciones previstas de antemano y además frente a imponderables, tener como objetivo situar al proceso y a los recursos humanos que lo asisten en la situación más favorable. (P. 1).

Asimismo, García, E. (1999), acota las partes de un sistema de automatización, en donde destaca:

La estructura de un Sistema Automatizado puede clasificarse en dos partes claramente diferenciadas: por un lado lo que denominaremos *Parte Operativa*, formada por un conjunto de dispositivos, máquinas o subprocesos, diseñados para la realización de determinadas funciones de fabricación; de forma específica pueden tratarse de máquinas herramienta para la realización de operaciones de mecanizado más o menos sofisticadas o bien de subprocesos dedicados a tareas tales como destilación, fundición etc. Por otro lado, tenemos la Parte de Control o Mando, que, independientemente de su implementación tecnológica electrónica, neumática, hidráulica etc., es el dispositivo encargado de realizar la coordinación de las distintas operaciones encaminadas a mantener a la Parte Operativa bajo control. (pp. 10-11)

Así, la automatización es integrar diversos elementos que permitan un funcionamiento óptimo de un sistema, dividido generalmente por la parte operativa y de control donde esta última vigila los movimientos de la parte operativa, tal y como se muestra en la siguiente figura:

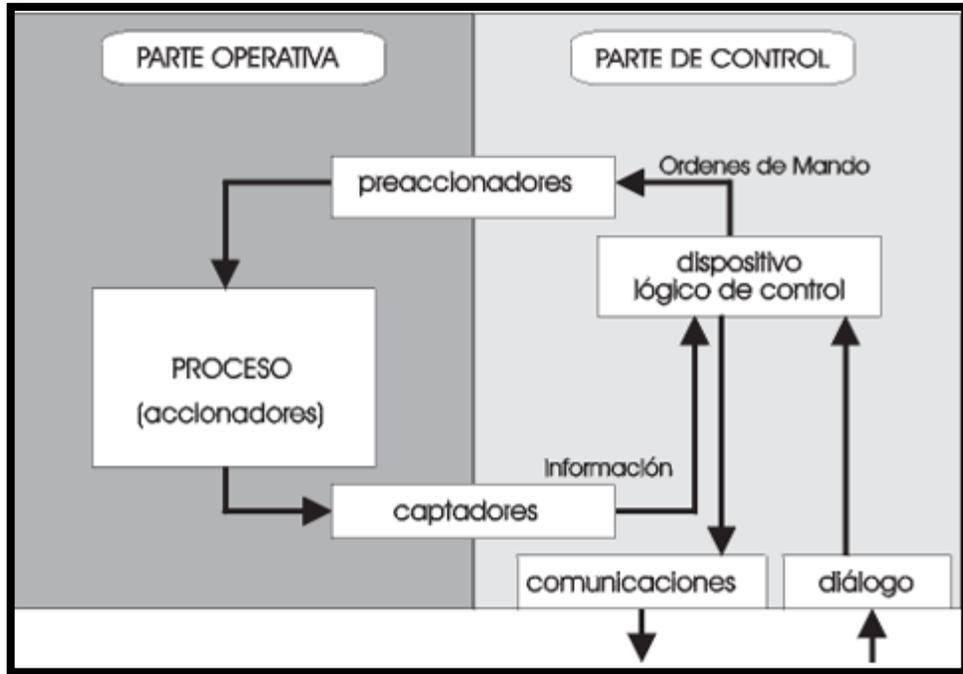


Figura 9. Modelo estructural de un modelo automatizado

Fuente: García, E. (1999). *Automatización de procesos industriales*. Valencia: Universitat Politècnica de València.

De esta manera, se debe generar una sucesión de elementos que otorguen una funcionalidad óptima en la automatización, es decir, desarrollar un sistema integral y holístico que permita la maximización de la uniformidad en los procesos y la minimización de costos.

2.5 Proceso de recocido

Asimismo, generalmente un acero procesado se somete a un proceso térmico con el fin de aumentar su resistencia a la flexión y aumentar su

funcionalidad de acuerdo con las necesidades del cliente, por lo tanto, Díaz, F. (2012), describe un tratamiento térmico como una combinación de operaciones de calentamiento y enfriamiento, en tiempos determinados y aplicadas a un metal o aleación en el estado sólido en una forma tal que producirá propiedades deseadas (p. 94).

De esta manera, el tratamiento térmico que se emplea para este fin se conoce como recocido, el cual se realiza con un calentamiento en un horno para un posterior enfriamiento, al adecuar el material a las características deseadas, así, Díaz, F. (2012), define el recocido como:

La finalidad del recocido en los aceros es la de reducir su dureza, mejorar la maquinabilidad, facilitar el trabajo en frío, producir una microestructura deseada, o para obtener propiedades mecánicas o físicas deseadas. Cuando se aplica a aleaciones ferrosas, el término recocido implica un recocido total o completo del material. Se define como el recocido de una aleación ferrosa, austenitizada y luego enfriada lentamente dentro del horno (cerrado y apagado) a través del rango total de transformación. (p. 95).

2.6 Diagnóstico del problema

De esta forma, para obtener el diagnóstico de una problemática industrial, el diagrama de Ishikawa se convierte en una poderosa herramienta que permite la formulación de causas y efectos como punto de partida. Ante esto, este diagrama es una representación gráfica simple en la que se puede observar de manera relacional una especie de espina de pescado, el cual la línea en el plano horizontal representa el problema a analizar, que se escribe a su derecha.

Por lo tanto, el Diagrama de Ishikawa, el cual Sarmiento, J. (2001). lo describe como: [...] El diagrama de Ishikawa permite hacer un análisis rápido y estructurado de los proyectos que solucionan el problema. (p. 7).

De esa manera mediante un diagrama de Ishikawa, se pretende identificar las causas y presuntos problemas que se dan en el departamento de trefilado en BIA Alambres/Bekaert. Con el objetivo de atacar los puntos deficientes y con ello generar un impacto positivo en la mejora de esos puntos mediante la automatización que se implementa en el departamento. Según Rodríguez, R. T. et al. (1999).

[...] 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. (P.16).

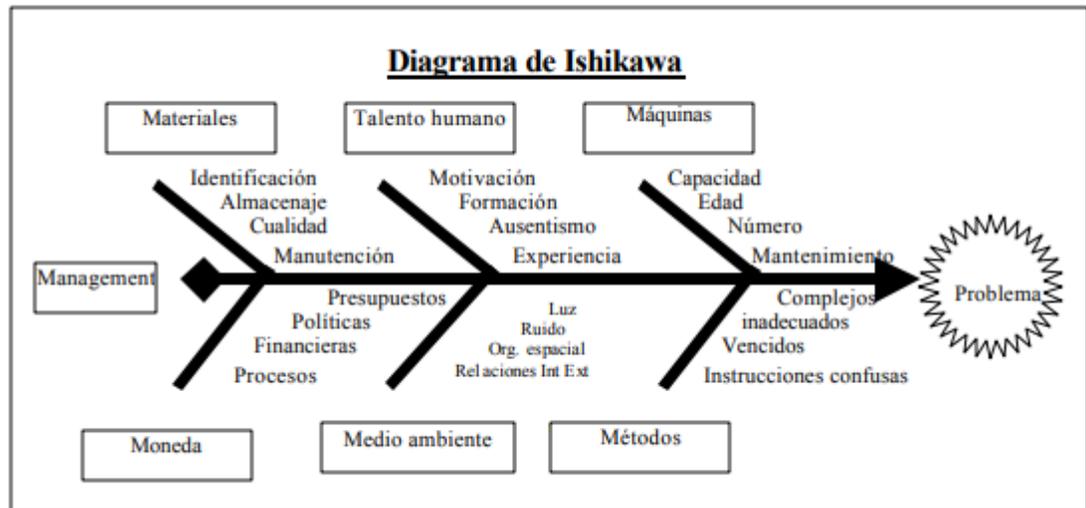


Figura 10. Ejemplo de un Diagrama de Ishikawa.

Fuente: Sarmiento, J. (2001)

2.7 Formatos *Work Look Models*

Así, BIA Alambres/Bekaert Costa Rica presenta una serie de formatos predeterminados, llamados *Work Look Models (WLM)*, que se basan en probabilidades de que un evento suceda, con esto, se realiza una serie de mediciones de tiempos, y través de una serie de cálculos se determinan importantes indicadores.

Los *Work Look Models* son formatos en Microsoft Excel, confidenciales de la empresa, utilizados para la medición de la eficiencia por máquina, por

consiguiente, es considerable para el planteamiento de la mejora en automatización (usado como simulación).

Estos datos son de importancia para la empresa por lo que se debe mantener cuidado con el uso de la información. Esto por el motivo de que muestran a ciencia cierta la eficiencia en cada equipo y demás variables que se analizan como tiempo en las operaciones que los operarios ejecutan.

Por esa y demás razones se obtiene y se utilizan de la mejor manera estos datos que la empresa proporcionó, y no cabe duda de que son de gran importancia para determinar la situación actual y el futuro impacto que generan las mejoras planteadas en una de las máquinas, asimismo, se recalca que dichos formatos fueron actualizados durante los meses de septiembre y octubre del 2018, es decir, es una información reciente.

Las modificaciones se hacen con base en un promedio de 32 muestras, que se realizan con tiempo con la unidad en minutos en cada máquina, el WLM lo que hace es calcular los indicadores para obtener resultados de cómo marcha el proceso. Los indicadores son los siguientes:

1. Eficiencia esperada de la máquina
2. Volumen esperado de la producción
3. Ocupación total del operador

4. Horas hombre/tonelada
5. Horas máquina/tonelada.

En Bekaert, para medir la eficiencia de las máquinas como los operadores utilizan su propio modelo de medición, este se llama Work Looks Model (WLM), la cual es una hoja de Excel creada para el uso de mejora para la empresa. Esta hoja tiene como característica para el operador que lo único que se modifica es lo que se encuentra en las cuadrículas de tiempos para su actualización. De esta manera, se detalla cada uno de los indicadores proporcionados por esta herramienta:

2.7.1 Eficiencia esperada de la máquina.

El nivel de eficiencia de la máquina muestra la relación entre la capacidad real que posee las máquinas y la efectiva lograda. Cuanto más cercano a 100% sea el índice, más eficiente resultará la empresa. Y este cálculo se hace mediante la siguiente fórmula:

$$100 * \frac{\textit{Tiempo de máquina para producir 1 unidad}}{0.72 * 1 + \textit{tiempo para producir 1 unidad}}$$

2.7.2 Volumen esperado de la producción.

La capacidad es definida como el volumen de producción recibido, almacenado o producido sobre una unidad de tiempo. Este cálculo se da en

unidades o kg dependiendo su pedido.

Para obtener el cálculo del volumen esperado se utiliza la siguiente fórmula:

$$\frac{\textit{Tiempo disponible del operador}}{\left(\frac{\textit{Tiempo máquina para producir una unidad}}{\textit{Eficiencia esperada de la máquina}}\right)}$$

2.7.3 Ocupación total del operador.

Es el tiempo que el operario está trabajando en la ejecución de la tarea encomendada. Se utiliza para medir la eficacia operativa de cada operario. Es importante destacar, que esta ocupación ya considera las tolerancias y tiempos de almuerzo, descanso y necesidades del operario, por lo tanto, 100% es la ocupación óptima. Su fórmula es la siguiente:

$$\frac{100}{\left(\frac{\textit{Tiempo total de la máquina}}{\textit{Volumen esperado de la producción} * \textit{Tiempo del operador para producir 1 unidad}}\right)}$$

2.7.4 Horas hombre/tonelada.

Medida de la eficiencia de mano de obra. Es el coeficiente de las horas totales trabajadas por empleados siderúrgicos en relación con las toneladas despachadas durante un cierto periodo. Los cambios en el nivel de inventario y el trabajo externo que se contrata afectarán la medición informada.

Para calcular las horas hombres se realiza la siguiente fórmula:

$$\frac{\left(\frac{\text{Tiempo total de la máquina}}{60}\right) * \left(\frac{\text{Ocupación total del operador}}{100}\right)}{\text{Volumen de producción esperado en kg}} * 1000$$

2.7.5 Horas máquina/tonelada.

Las horas máquina trabajada es una medida usada para calcular los gastos generales de una compañía. Encontrar las horas máquina trabajadas involucra registrar con qué frecuencia fue utilizada cada máquina en la producción durante un período específico.

$$\frac{\left(\frac{\text{Tiempo del operador}}{60}\right)}{\frac{\text{Volumen de producción esperado en kg}}{1000}}$$

2.8 Análisis de varianza de las mediciones

El análisis de la varianza es un método de análisis para comparar dos medias, según Olea, F. (2012):

El análisis de la varianza permite contrastar la hipótesis nula de que las medias de K poblaciones ($K > 2$) son iguales, frente a la hipótesis alternativa de que por lo menos una de las poblaciones difiere de las demás en cuanto a su valor esperado. Este contraste es fundamental

en el análisis de resultados experimentales, en los que interesa comparar los resultados de K 'tratamientos' o 'factores' con respecto a la variable dependiente o de interés. (P. 25)

De esta manera, la hipótesis nula establece que todas las medias de la población (medias de los niveles de los factores) son iguales mientras que la hipótesis alternativa establece que al menos una es diferente. Con este método, se verificará que existe una diferencia significativa en las variables.

2.9 Análisis de los gastos

Un análisis del gasto sirve para tomar la decisión en cuanto a la automatización, con este análisis se podrá determinar el costo de inversión, el presupuesto de los materiales y los gastos involucrados en la inversión, cada gasto debe ser razonado, analizado y evaluado desde distintos puntos de vista y perspectivas, para lograr así una evaluación integral y holística. Según Senderovich, I. (2012):

La diferencia entre un costo se incorpora al valor del producto constituyendo un activo, y un gasto radica en que afecta directamente el valor del producto en el resultado del período a través del estado de resultados. (P. 78)

La evaluación de costos permite pensar en la forma más efectiva y eficiente para cubrir las necesidades de la empresa, con el objetivo principal de servir al análisis previo a la autorización del gasto, de base a la elaboración del presupuesto, y de modelo para el análisis de los gastos ya efectuados.

2.10 Análisis económico de inversión

Un análisis económico de inversión es fundamental para cualquier proyecto, en muchas ocasiones las inversiones son elevadas, a tal punto que pueden poner en peligro las finanzas de una empresa, así lo describe Benedicto, M. S., et al (2007): Todo proyecto de inversión por realizar en una empresa, tanto de creación de una nueva empresa como de ampliación de la actividad de cualquier tipo, requiere la elaboración de un análisis cuidadoso que determine si tal proyecto es o no viable (P. 3).

Asimismo, Benedicto, M. S., et al (2007) describen las diversas técnicas que se utilizan en un análisis de inversión:

El Período de Recuperación es el período de tiempo que necesita el proyecto para recuperar la inversión inicial. En otras palabras, el tiempo que tarda el proyecto en hacer cero el valor del Cash-Flow acumulado. Para el análisis de la rentabilidad, se estudian dos técnicas principalmente: el VAN

y el TIR. Por rentabilidad de un proyecto de inversión se entiende la capacidad de tal proyecto para generar rentas o rendimientos. (P. 8).

De esta manera, Benedicto, M. S., et al (2007) enuncia que el Período de Recuperación de una inversión es el tiempo necesario para que las entradas de caja generadas por la inversión hasta ese momento hagan frente a todas las salidas que esta ha originado. (P. 9).

2.11 Diagrama SIPOC

Según diversas definiciones de programas *Green Belt* mediante la página *Advanced Integrated Technologies Group*, el diagrama SIPOC es una herramienta para identificar problemas, que ayudará a definir el alcance de su oportunidad de mejora. El propósito de SIPOC es asegurar que el alcance de una mejora se defina apropiadamente, se entienda y se acepte, su formato es como se muestra en la siguiente figura:

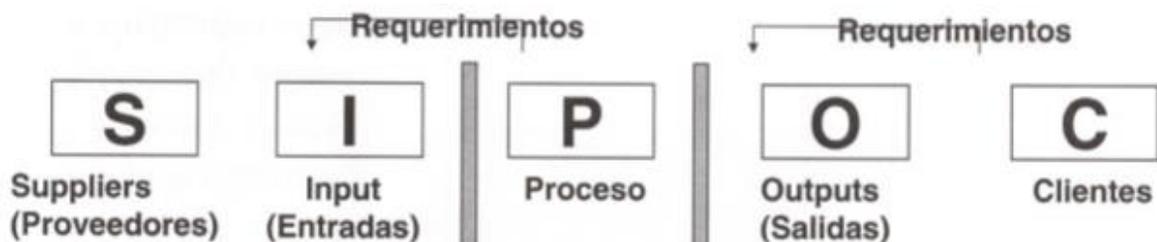


Figura 11. Formato del diagrama SIPOC

2.12 Diagrama de flujos de procesos

El diagrama de flujo tiene como objetivo conocer sistemáticamente las operaciones que están ligadas al proceso, y cómo abarca el principio del procedimiento que es la recepción de materia prima, la operación como tal que es el proceso de trefilado, hasta el almacenamiento de los rollos de alambre en bodega de producto terminado una vez que son sometidos al proceso y cumplen con los estándares de calidad. Según Manene (2011):

Un diagrama de flujo es la representación gráfica del flujo o secuencia de rutinas simples. Tiene la ventaja de indicar la secuencia del proceso en cuestión, las unidades involucradas y los responsables de su ejecución, es decir, viene a ser la representación simbólica o pictórica de un procedimiento administrativo. (P. 01)

2.13 Siete grandes desperdicios

De acuerdo con la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), la muda viene del Término japonés para despilfarro o desperdicio. (AENOR, 2012). Una actividad que consume recursos, pero no genera valor. De los que se destacan siete distintos tipos de muda. Los cuales se mencionan a continuación:

2.13.1 Sobreproducción.

Se resalta en muchas empresas que producen y producen lo que provoca despilfarro, esto abre la puerta a otras clases de despilfarro y trae como consecuencia el exceso de almacenamiento de inventario al ocasionar más despilfarro. Según Suárez (2007): “En muchas ocasiones la causa de la sobreproducción radica en el exceso de capacidad de las máquinas. Los operarios, preocupados por no disminuir las tasas de producción, emplean el exceso de capacidad fabricando materiales en exceso.”

2.13.2 Esperas.

El desperdicio por tiempo de espera es el tiempo perdido como resultado de una secuencia de trabajo o un proceso ineficiente. De acuerdo con Lefcovich, M. (2009), los procesos mal diseñados pueden provocar que unos operarios permanezcan parados mientras otros están saturados de trabajo. Por ello, es preciso estudiar concienzudamente cómo reducir o eliminar el tiempo perdido durante el proceso de fabricación.

Según Rajadell, C. & Sánchez, J. (2010) la automatización se define como, una máquina que está conectada a un mecanismo de detención automático para prevenir la fabricación de productos defectuosos; de esta forma se incorpora a las máquinas inteligencia humana o un toque humano.

2.13.3 Transporte.

Las máquinas y las líneas de producción deberían estar lo más cerca posible y los materiales deberían fluir directamente desde una estación de trabajo a la siguiente sin esperar en colas de inventario. En este sentido, es importante optimizar la disposición de las máquinas y los trayectos de los suministradores. Además, cuantas más veces se mueven los artículos de un lado para otro, mayores son las probabilidades de que resulten dañados.

2.13.4 Movimientos innecesarios.

El desperdicio por transporte es el resultado de un movimiento o manipulación de material innecesario, asimismo, el exceso de operaciones de movimiento y manipulación de materiales.

2.13.5 Reprocesos.

Hacer un trabajo extra sobre un producto es un desperdicio que se debe eliminar, y que es uno de los más difíciles de detectar, ya que muchas veces el responsable del sobre proceso no sabe que lo está haciendo. Por ejemplo: limpiar dos veces, o simplemente, hacer un informe que nadie va a consultar. Ante esto, de acuerdo con Gutiérrez, H. (2014) la optimización de los procesos y revisión constante del mismo es fundamental para reducir fases que pueden ser

innecesarias al haber mejorado el proceso.

2.13.6 Defectos.

El despilfarro derivado de los errores es uno de los más aceptados en la industria, aunque significa una gran pérdida de productividad porque incluye el trabajo extra que debe realizarse como consecuencia de no haber ejecutado correctamente el proceso productivo la primera vez.

Según Gillet (2014) los procesos productivos deberían estar diseñados a prueba de errores, para conseguir productos acabados con la calidad exigida, al eliminar así cualquier necesidad de retrabajo o de inspecciones adicionales. También debería haber un control de calidad en tiempo real, de modo que los defectos en el proceso productivo se detecten justo cuando suceden, al minimizar así el número de piezas que requieren inspección adicional y/o repetición de trabajos.

2.13.7 Inventario.

El almacenamiento de productos presenta la forma de despilfarro más clara porque esconde ineficiencias y problemas crónicos hasta el punto de que los expertos han denominado al stock la “raíz de todos los males”.

2.14 Los cinco por qué

La técnica de los cinco por qué es importante para el análisis de situaciones, permite recabar con las causas de un problema, la sociedad Latinoamericana para la Calidad. (2000), lo define como:

Los Cinco Por Qués, es una técnica sistemática de preguntas utilizada durante la fase de análisis de problemas para buscar posibles causas principales de un problema. Durante esta fase, los miembros del equipo pueden sentir que tienen suficientes respuestas a sus preguntas. Lo anterior, podría resultar en una falla al identificar las causas principales más probables del problema, debido a que el equipo ha fallado en buscar con suficiente profundidad. La técnica requiere que el equipo pregunte “Por Qué” al menos cinco veces, o trabaje a través de cinco niveles de detalle. Una vez que sea difícil para el equipo responder al “Por Qué”, la causa más probable habrá sido identificada. (P. 01)

De esta manera, la técnica de los cinco por qué representa una sencilla herramienta para la identificación de causas en donde mediante cinco niveles se realiza la pregunta por qué, y se responde, de esta manera, estructuradamente se van encontrando las causas de un problema.

Capítulo III: Marco metodológico

En este apartado se ofrece una descripción general que abarca la perspectiva metodológica, los métodos y técnicas de investigación, la definición de las categorías metodológicas seleccionadas para el abordaje de los objetivos y la naturaleza del estudio.

3.1 Enfoque metodológico

La investigación se enmarca bajo el enfoque cuantitativo, este tipo de investigación se basa en el análisis mediante la recolección de datos de la realidad que se observa, en este caso, en diferentes horarios y con diferentes operarios en el área de Trefilado.

Por lo tanto, la propuesta se enmarca en el enfoque numérico y analítico cuantitativo, el cual Cerón, M. C., & Cerâon, M. C. (2006), lo describe como:

[...] como un “paradigma”, es decir, como un modelo integral sobre cómo realizar investigación científica y cómo interpretar sus resultados. En este enfoque, la investigación cuantitativa no sólo contiene técnicas de análisis de datos o de producción de información, sino también una perspectiva epistemológica respecto de la realidad, de la forma de conocerla y de los productos que se pueden obtener de la investigación social. (p. 32).

De esta manera, se realizará un análisis de los resultados obtenidos de la investigación al tomar en cuenta el factor humano, la máquina y los métodos de trabajo en las operaciones de amarrado, pesado y el impacto en el proceso, por el cual se logrará identificar la relación de las variables en el proceso de trefilado en BIA Alambres/Bekaert Costa Rica.

Por lo tanto, se utiliza una investigación de análisis de datos, que desde este enfoque proporcione las cifras que muestran los puntos generales de la investigación, según Plata, J. (2009) son enfoques cuantitativos [...] aquellas que usan herramientas formales –estadística, construcción de modelos, simulación–. (P. 217).

3.2 Tipo de Investigación

En este proyecto se presenta una investigación exploratoria que medirá y explorará el comportamiento que tienen las variables (en este caso el tiempo de amarrado y el peso de producto final, en relación con la afectación del factor humano y el turno de trabajo) se incluyen, en esta investigación, las pérdidas por posibles errores en los pesajes, de esta manera, se logrará identificar causas para descubrir las oportunidades de mejora, analizar el proceso y ofrecer una solución viable para empresa BIA Alambres/Bekaert Costa Rica.

Por lo tanto, este proyecto se desarrollará con un tipo de investigación

exploratoria el cual Namakforoosh, N. (2005), lo describe como:

[...] la investigación exploratoria es captar una perspectiva general del problema. Este tipo de estudios ayuda a dividir un problema muy grande y llegar a unos subproblemas, más precisos hasta en la forma de expresar la hipótesis. (P. 89).

3.3 Población y muestra de la investigación

Existe una población infinita, compuesta por la cantidad de rollos de alambre de 45 kg que se producen en un proceso continuo de 24 horas diarias. Por lo tanto, se determinará la muestra de la población infinita, esto con el fin de analizar cuantitativamente los factores que impactan y se encuentran involucradas dentro de la problemática, las cuales servirán de referencia para representar a la población en general, dicha muestra será obtenida del análisis del estudio de tiempos en la empresa BIA Alambres/Bekaert Costa Rica.

La muestra se realizará como un máximo error de 5%, con un nivel de confianza del 95%. Se procede a utilizar la fórmula de la población desconocida:

$$N = \frac{Z^2 * p * q}{d^2}$$

Donde:

N= tamaño de la muestra

Z= Nivel de confianza

P= Probabilidad de éxito (variable positiva)

Q= Probabilidad de fracaso (Variable negativa)

D= precisión (error máximo permisible en términos de proporción)

Se sustituye en la fórmula:

$$73 = \frac{1.96^2 * 0,05 * (1 - 0,05)}{0,05^2}$$

Para un nivel de confianza del 95% y un error máximo permisible del 5%, se deben tomar 73 muestras, estas se distribuirán de manera aleatoria en horario y operario (Ver Apéndice1).

3. Definición de variables

Para la elaboración de este proyecto se estarán utilizando una serie de variables las cuales, según Lladser (2009):

[...] En un sentido amplio una variable aleatoria es una cantidad numérica asociada al resultado de un experimento. El término “variable aleatoria” quiere, por lo tanto, decir “cantidad incierta”. El interés en estos objetos radica en el hecho, que en la mayoría de los experimentos uno no está interesado en el resultado [...] en una o varias cantidades numéricas asociadas a este resultado. (p. 53).

Para esta propuesta, se definen una serie de variables que permite

seleccionar la instrumentación adecuada para su valoración, análisis y resolución, con el fin de generar una propuesta óptima. (Ver Apéndice1).

De esta manera, se consideran las siguientes variables: uniformidad, desperdicio, el operario, el turno de trabajo, propuestas y viabilidad económica. Es uniforme aquel resultado que se pretende conseguir, el desperdicio se relaciona con aquello improductivo que debe reducirse o eliminarse. Asimismo, las propuestas son las que brindan una solución a los problemas diagnosticados y la viabilidad económica de cada una de las propuestas representa la factibilidad. Para más detalle sobre el uso de estas variables ver el Apéndice2.

3.5 Técnicas e Instrumentos para la recolección de datos y el análisis de la información.

3.5.1 Observación de la situación actual

Primeramente, se realiza un análisis de la situación actual, en donde mediante observaciones en el proceso de trefilado se determinarán los factores clave que afectan el proceso, de esta manera se establecerán cuáles son las deficiencias del proceso y la búsqueda de situaciones donde se puedan producir pérdidas de tiempo o material que ambas conducen a la pérdida económica, esto se realiza mediante diversos diagramas como SIPOC, de flujo de procesos y cursogramas analíticos.

De esta manera, primero se realizarán una serie de observaciones aleatorias en diferentes horarios (turno I y II) y con diferentes operarios en la máquina del área de trefilado con el fin determinar los tiempos y diferencia de destreza entre los colaboradores en el proceso en la empresa BIA Alambres/Bekaert Costa Rica, se realizan las observaciones pertinentes de los tiempos empleados, así como la variación de pesos en los rollos de alambre, esto también para lograr determinar la merma producida a lo largo de la jornada.

3.5.2 Estandarización de la medición

Para la técnica de amarrado de rollos se utilizó lo estipulado en el procedimiento de Bekaert SI-P-14020-BIA v7, manual confidencial de la empresa sobre la forma estándar de realizar el proceso de amarrado de rollos, donde indica que el operador una vez que la máquina haya producido una cantidad aproximada a 45 kg deberá bajar con el pedal el sostén de la máquina para poner sobre la mesa de amarre y balanza el alambre con el fin de corroborar el peso del rollo y ajustar el peso a los 45 kg.

Así, una vez ajustado el peso se deberá cortar el alambre, utilizando un alicate, después proceder a hacer las amarras correspondientes a los rollos en cuatro posiciones diferentes del mismo. La descripción anterior, delimita la operación que se medirá en la variable tiempo.

La toma de tiempos para la realización del experimento se realizó a tres operadores diferentes de los procesos. Los cuales son:

Sr. Luis Porras, experiencia de 17 años en el departamento. Se denotará como operario A.

Sr. Josué Chavarría, experiencia de 9 años en el departamento. Se denotará como operario B.

Sr. Xavier Carvajal, experiencia de 5 meses en el departamento. Se denotará como operario C.

La toma de tiempos se realizará en los turnos 1 (06:00 a 14:00) y turno 2 (14:00 a 22:00), para el experimento se realizó la toma de tiempos con el diámetro del alambre en 1,36 mm, con una velocidad de producción de la máquina TREF09 a 9m/s y los rollos para el amarre con un peso de 45 kg.

3.5.3 Proceso de medición de las variables y tabulación

Al realizar la toma de tiempos, se tabularán los datos obtenidos en una hoja de trabajo y se llevará a cabo un análisis de estudio de tiempos, empleando los Work Look Models proporcionados por la empresa, para la medición de indicadores de trabajo tanto en las máquinas como en los operarios.

Así, se pretende entre otras características generales que permitan

identificar y establecer controles para ser factible el mejoramiento de estas. De esta manera, un estudio de tiempos según Hodson (2001), es:

[...]el estudio de tiempos es el procedimiento utilizado para medir el tiempo requerido por un trabajador calificado quien trabajando a un nivel normal de desempeño realiza una tarea conforme a un método especificado. En la práctica, el estudio de tiempos incluye, por lo general, el estudio de métodos. (p.15)

De esta manera, se realizarán una serie de observaciones de forma aleatoria a tres colaboradores en dos turnos de trabajo, se utiliza la herramienta Minitab para lograr obtener una lista aleatoria de muestreo, esto con el fin de tener datos estadísticos válidos que sustenten la evaluación, de tal manera que se realiza una toma de muestra cada 10 minutos. Ver Apéndice1.

Asimismo, se toman los principales datos del operario que se somete a la medición con el fin de evaluar las variables que afectan en las diferencias de tiempos y pesos del producto final. Ver Apéndice 3. Es importante mencionar, que, para reducir el nivel de sesgo en los datos, se establecen mediciones en diferentes horarios (a partir de 6:00, 8:00, 11:30, 16:00, 16:30 y 17:00).

Así, se realizarán mediciones de tiempos y pesos generados por los operarios en los turnos uno y dos respectivamente, en las jornadas según el

artículo 135 del Código de trabajo de Costa Rica emitido por la Asamblea Legislativa (1994): “Es trabajo diurno el comprendido entre las cinco y las diecinueve horas y nocturno el que se realiza entre las diecinueve y las cinco horas”. (6:00am a 14:00 pm) (14:00pm a 22:00pm).

3.5.4 Costos de las mediciones

El experimento no afectó las operaciones normales de la empresa, sin embargo, cada operario se observó durante aproximadamente 4 horas (dos horas por turno, a un salario $\text{¢}1539$ por hora), por lo tanto, se incurre en un costo de mano de obra de $\text{¢}18468$. En cuanto a costos relacionados a mano de obra, son datos confidenciales de la empresa, aproximadamente, el costo de alambre trefilado repercute en un costo de $\text{¢}325$, al hacer 78 rollos de 45 kg, se obtiene un costo de $\text{¢}1\ 096\ 875$.

3.5.5 Análisis de datos

El análisis de datos se desarrollará mediante la herramienta cinco por qué, que permitirá un desglose más específico de los datos, además, se utilizará estadística básica mediante el programa de Minitab para la generación de diversas medidas de tendencia central, gráficos de intervalos de confianza, de valores individuales y de cajas.

Asimismo, se desarrollará un experimento estadístico mediante una prueba de supuestos previa (normalidad, homogeneidad y aleatoriedad de los datos), y posteriormente el análisis de las varianzas, que permita comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de los factores. Con esto, se determinarán la significancia de las diferencias.

Posteriormente, se planteará y se describirán las propuestas, al tomar en cuenta que el único criterio de aceptación inicial de un proyecto en BIA Alambres/Bekaert Costa Rica es un periodo de recuperación menor o igual a cinco años, por lo tanto, se desarrollará un análisis económico que se basa en este cálculo, para determinar la viabilidad económica de la propuesta en la empresa.

Por último, se realizará un cuadro comparativo sobre los aspectos fundamentales de las propuestas y una matriz de comparaciones que permita la selección de la propuesta que más se adapte a las necesidades de la empresa desde un punto de vista operativo y económico.

Capítulo IV:

Diagnóstico del

problema

4.1 Proceso en departamento de Trefilado

En este apartado se realiza una compilación del estado actual del departamento de trefilado de la empresa BIA Alambres/Bekaert Costa Rica, en donde existen cinco máquinas disponibles (TREF03, TREF09, TREF10, TREF11 y TREF12) y dos operarios responsables del proceso por turno de trabajo.

Como se observa en el diagrama SIPOC presente en el Apéndice 4, el proceso productivo de este departamento es sencillo, pues a grandes rasgos, su entrada es el alambión 5,5 mm de diámetro, su proceso principal lo realizan las máquinas, y su salida es alambre trefilado de 1,36 mm de diámetro en diferentes presentaciones: rollos de 45 kg y esqueletos de 400 a 500 kg aproximadamente.

Así, el proceso de trefilado del departamento es tal y como está en el diagrama de flujo de procesos del Apéndice 5. Se muestra, que el proceso productivo generalmente es lineal, donde toneladas de alambión son traídas de diferentes países del mundo, a través de embarcaciones logísticas y posteriormente trasladadas mediante operaciones de descarga con camiones, para la puesta en planta.

En general, el proceso inicia cuando el alambión una vez ubicado en BIA Alambres/Bekaert Costa Rica pasa por un sistema de verificación y permisos de entrada a la planta, una vez todo esté correctamente es llevado a la bodega de

materia prima para luego ir al departamento de trefilado para el inicio del proceso.

De esta manera, en el departamento de trefilado, dos rollos de alambón son colocados en la parte trasera de cada máquina, donde al iniciar el proceso, la calamina del alambón es retirada, esto, mediante un rodillo que genera un raspado al alambre para que este suelte toda la calamina e imperfecciones.



Figura 12. Interior de la máquina, acomodo de hileras

Posteriormente, el alambre sigue su paso por la máquina, y al pasar por la primera hilera (en todas las hileras hay un lubricante en polvo que ayude al proceso de estiramiento), el alambre pasa a través de 10 hileras (como se muestra en la figura anterior) en el cual cada una tiene un diámetro de reducción pasando de 5,50 mm que mide el alambón a 1,36 mm que es el de producto final. De esta manera se puede apreciar en el siguiente cuadro:

Cuadro 1. Reducción de las hileras

Hileras	Diámetro (mm)	Reducción de Alambón (mm)
Hilera 1	4,960 mm	0,540 mm
Hilera 2	4,090 mm	1,410 mm
Hilera 3	3,470 mm	2,030 mm
Hilera 4	2,960 mm	2,540 mm
Hilera 5	2,540 mm	2,960 mm
Hilera 6	2,210 mm	3,290 mm
Hilera 7	1,940 mm	3,560 mm
Hilera 8	1,710 mm	3,790 mm
Hilera 9	1,520 mm	3,980 mm
Hilera 10	1,360 mm	4,140 mm

Fuente: BIA Alambres/Bekaert Costa Rica

Como se ve en el cuadro anterior, cada hilera tiene un diámetro de reducción establecido. De esta manera, el alambre una vez sometido al proceso, será reducido según el diámetro que tenga la hilera por la que pase, 1,360 mm es el resultado final.



Figura 13. Representación del proceso de trefilado

Fuente: BIA Alambres/Bekaert Costa Rica

Una vez que el alambre sale con el diámetro establecido por el proceso, para los rollos de 45 kg, el operario mediante un sistema de pedal (el alambre se acumula en la máquina), deja caer una cantidad de alambre a una báscula que a su vez lleva instalado un panel el cual le indica al operario el peso del rollo, esto para poder continuar con el proceso (que se describe en el apartado 4.2 de este documento).

Así, para los esqueletos, el alambre conforme se produce cae en una estructura de hierro, que cuando esta se llena (independientemente del peso), se sustituye por otra, de esta manera, el peso acá es variable, ante esto, el montacarga lo coloca en una romana para conocer y anotar el peso de cada esqueleto, posteriormente es pasado al área de galvanizado para continuar el proceso.



Figura 14. Operario haciendo el proceso manual

En resumen, en el departamento de Trefilado, en la máquina TREF09 se producen rollos de alambre trefilado de 45 kilogramos de peso, estos, se someten al recocido y pasan a ser producto terminado para clientes externos; y esqueletos de alambre trefilado entre 400 kg y 500 kg de peso para cliente interno (estos se producen en las máquinas TREF10, TREF 11, TREF12 y TREF03). Así, por razones de la demanda del producto, por turno, solamente trabajan dos máquinas para esqueletos y la máquina TREF09 para la producción de rollos.

En cuanto a mano de obra, por turno hay dos operarios responsables del proceso, uno de ellos es encargado de dos máquinas que producen esqueletos, y el otro operador es el responsable de la máquina que fabrica rollos de 45 kg. Por lo tanto, hay seis operarios en total en el departamento de Trefilado.

4.2 Procesos manuales para rollos de 45 kg

Para los rollos, el alambón (materia prima) de 5,50 mm de diámetro, es trefilado por la máquina TREF09 hasta 1,36 mm, es decir, una reducción de 4,14 mm de diámetro, mientras tanto, en un proceso manual, una vez que una báscula indique que se ha llegado a los 45 kg un operador debe cortar el alambre, posteriormente, deben realizar cuatro amarras, tal y como se muestra en la siguiente imagen:



Figura 15. Amarras que se dan en el rollo

De esta manera, una vez amarrado el alambre, el operario procede a realizar una pequeña prueba para asegurar que se encuentra amarrado correctamente y con ello colocarlo a una estructura metálica de transporte (conocida como *spyder*) para después ser llevado por un montacarga para comenzar el proceso de recocido.

Así, el alambre al estar ubicado en el horno es sometido a temperaturas de 650 a 750 °C y manteniéndola durante 30 a 120 minutos. Después, se enfría de forma lenta, para un mayor aprovechamiento de calor y de las condiciones del horno. Por lo cual el proceso de recocido es fundamental para el alambre ya que es de ayuda para el ablandamiento de la estructura y la eliminación de tensiones internas.



Figura 16. Rollos en el *spyder*

Por último, al salir del horno, un operario encargado de diversos procesos dentro de planta, le coloca la etiqueta, quedando como producto final para la venta el alambre recocido 1,36 mm, tal y como se muestra en la siguiente figura, y como se resume en las acciones del operador en el cursograma analítico del Apéndice 6.



Figura 17. Producto final, alambre 1,36 mm recocido Bekaert

4.3 Evidencia de oportunidades de mejora

Al realizar las visitas a esta zona de la empresa se evidencia una serie de factores que afectan considerablemente el proceso de trefilado, por lo que se opta por realizar un diagrama de causa y efecto (Ishikawa) para poder determinar de raíz cuales son las causas de esos inconvenientes.

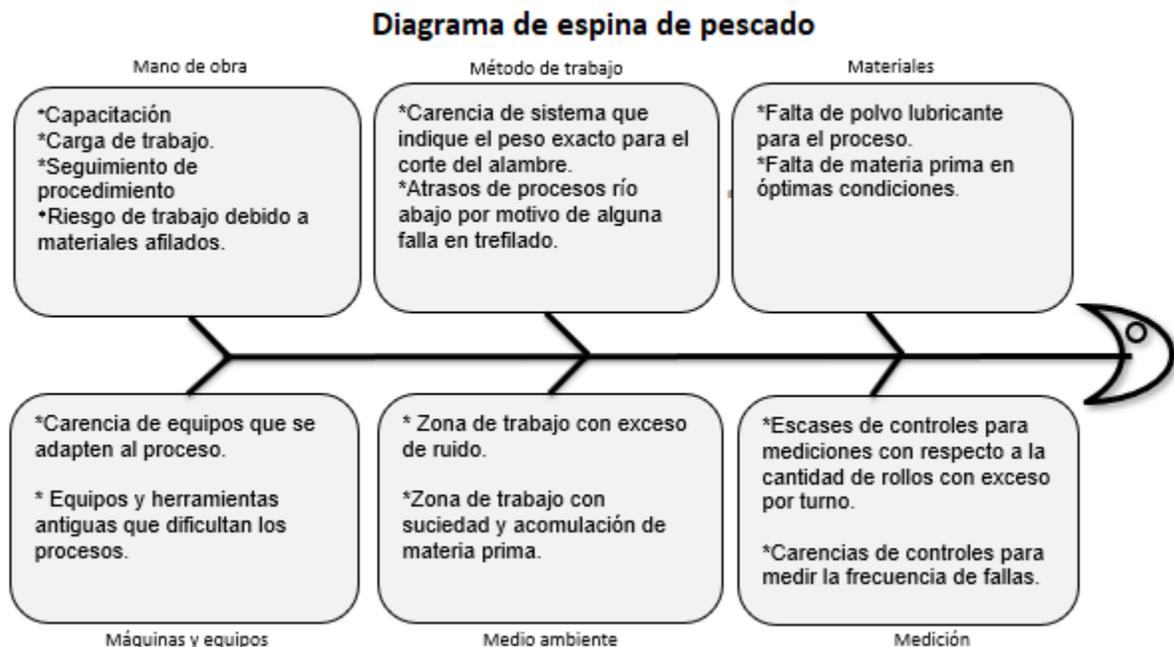


Figura 18. Diagrama de Ishikawa

Como se muestra en el anterior diagrama de Ishikawa, se evidencia una serie de factores que afectan el proceso de trefilado, estos son puntos que se deben mejorar, algunos como parte de la propuesta de mejora que conlleva dicho proyecto que como objetivo fundamental está enfocado en la reducción de desperdicio y aumento de eficiencia.

Además, constantemente, el proceso de trefilado sufre dificultad en sus operaciones, debido a que por observaciones realizadas se evidencian diferencias en los métodos de trabajo de los operadores encargados. De tal manera, la presencia de estas contrariedades afecta en gran medida el proceso de trefilado al ser estas, algunas de las causas raíz de los problemas críticos como la uniformidad de los procesos y el peso en cada rollo de 45 kg, que repercute en ámbitos económicos para BIA Alambres/Bekaert.

También, cabe destacar, que en este sector de la empresa, por observación de los autores, se puede evidenciar la suciedad debido a los lubricantes en polvo que se requiere depositar en cada máquina, este tipo de polvo se dispersa en el aire a la hora que lo mezclan o cuando se limpia la máquina, este provoca que los suelos presenten lubricante seco, lo que genera polvo y que los operarios se ensucien la ropa, esto ocasiona, según sus comentarios, incomodidad o comezón a la hora de efectuar labores.



Figura 19. Ejemplo de suciedad en el uniforme

4.3.1 Subutilización de la capacidad instalada.

Actualmente, en BIA Alambres/Bekaert Costa Rica, aproximadamente el 80% de los productos finales deben someterse al proceso de trefilado, por esto, este departamento es considerado como el de mayor importancia dentro de la empresa y, por lo tanto, donde se deben tener los indicadores más altos de la planta.

No obstante, se destaca como problema, el incumplimiento del uso total de la capacidad productiva, esto basándose en que de las cinco máquinas con las que se cuenta solamente tres trabajan durante cada jornada laboral. De esta

manera, según los *Work Look Models*, cada máquina tiene una capacidad diaria de procesar:

Cuadro 2. Capacidad de producción de las máquinas

	Máquina				
	TREF03	TREF09	TREF10	TREF11	TREF12
Capacidad de producción diaria (kg)	13609	14540	11651	14951	14961

Fuente: Datos Work Look Models

Por lo tanto, cada máquina, en promedio, procesa diariamente 13942.4 kg de alambre, para una capacidad total de 69712 kg diarios en el departamento, sin embargo, solamente se utiliza un 60% de la capacidad del área (3 máquinas de 5 disponibles), para una producción aproximada de 41827 kg diarios, existiendo una subutilización de producción de 27885 kg diarios.

4.3.2 Rotura: avería con tiempo improductivo.

En el área de trefilado, por medio de observación de procesos, se han encontrado una serie de oportunidades de mejora, entre estas, la duración prolongada en el arreglo de las roturas es un tema que genera un alto en la producción y atrae la ocupación del operario.

En este sentido, para cada máquina, debido a su antigüedad y diversos componentes que la forman, existe una probabilidad para la presencia de roturas en un turno, según los Work Look Models, se resume:

Cuadro 3. Roturas por máquina

	Máquina				
	TREF03	TREF09	TREF10	TREF11	TREF12
Cantidad					
promedio de roturas por turno	1.11	0.26	1.46	0.93	0.93
Tiempo promedio de reparación de una rotura (minutos)					
de reparación de una rotura (minutos)	8.89	7.87	7.24	7.45	7.40
Tiempo total promedio de reparación de roturas por turno (minutos)					
promedio de reparación de roturas por turno (minutos)	9.87	2.04	10.57	6.93	6.88

Fuente: Datos Work Look Models

Como se observa en el cuadro anterior, la máquina TREF09 presenta una menor cantidad de roturas por turno, debido a que fue adquirida por la empresa

posterior a las demás. Asimismo, cabe destacar, que estos tiempos son improductivos en su totalidad, es decir, durante estos minutos la máquina no produce y el operario se dedica exclusivamente a la reparación de la avería.

4.3.3 Indicadores del departamento.

Así, el departamento de trefilado de BIA Alambres/Bekaert Costa Rica tiene cinco máquinas, semejantes entre sí, sin embargo, la probabilidad de fallos y las velocidades de operación cambian de una a otra, por ende, para cada máquina existen parámetros de medición diferentes.

Por esta razón, la empresa realiza estas mediciones cada cierto periodo, siendo la última versión en septiembre y octubre de 2018, dichos formatos son totalmente confidenciales por la organización, por lo tanto, solo se provee los datos finales, da como resultado:

Cuadro 4. Resumen de los *Work look models***Máquina**

	TREF03	TREF09	TREF10	TREF11	TREF12
Esperada					
eficiencia de la máquina	91,1%	82,1%	88,6%	91,4%	91,5%
Esperado volumen de producción (unidades)	9,10	107,71	10,22	9,97	9,97
Ocupación total del operador	30,0%	77,9%	30,2%	30,4%	31,6%
Horas hombre por tonelada	0,53	1,29	0,62	0,49	0,51
Horas máquina por tonelada	1,60	1,50	1,87	1,45	1,45
Tiempo máquina para producir una unidad (minutos)	43,54	3,32	37,70	39,91	39,91
Tiempo del operador para producir una unidad (minutos)	15,87	3,47	14,20	14,66	15,21

Fuente: Datos Work Look Models

Como dato brindado por el *Work Look Models*, se estima una producción por turno de 107,71 rollos de alambre trefilado de 45 kg en la máquina TREF09, esto significa una producción de 323,13 rollos por día.

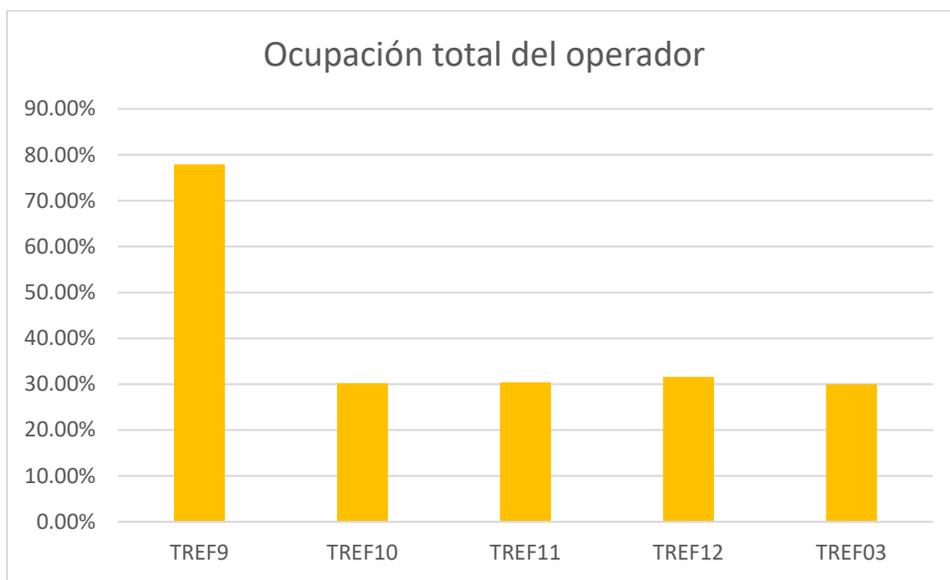


Figura 20. Ocupación total del operario

Fuente: Datos Work Look Models

Como se observa en el gráfico anterior, la ocupación del operador en la máquina TREF09 es 77.90%, es decir, sobrepasa el doble de ocupación de cualquier otra máquina. Esto debido a que TREF09 produce rollos de 45 kg para cliente externo, mientras que las demás producen rollos con pesos entre 400 y 500 kg para cliente interno.

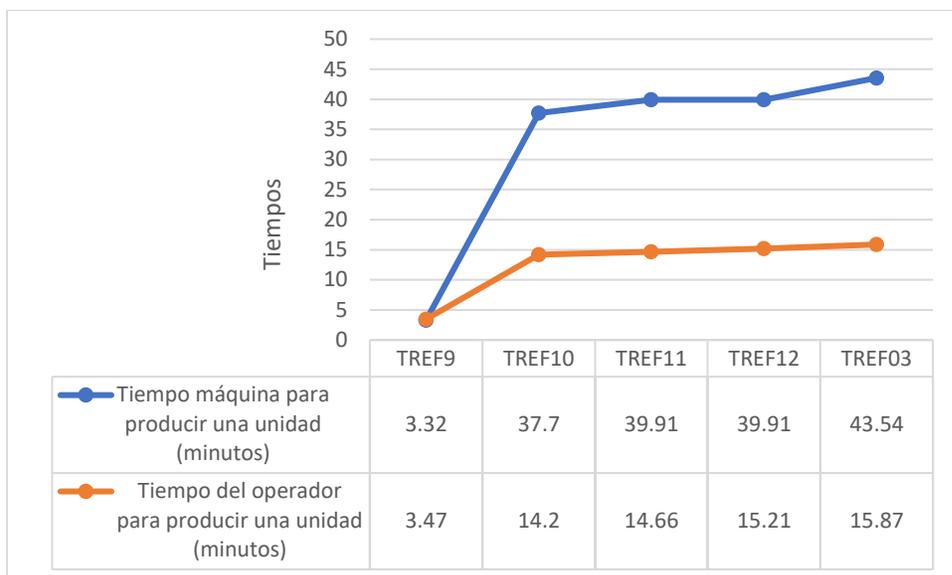


Figura 21. Ocupaciones del hombre y la máquina

Como se muestra en el gráfico anterior, existe una subutilización del operador en las máquinas TREF10, TREF11, TREF12 y TREF03, debido a que, en estas, el tiempo de la máquina para producir una unidad es en promedio 2.69 veces el tiempo del operador para la misma operación. Por lo tanto, el operario tiene la capacidad de operar más de dos máquinas.

Además, como se ha mencionado, en el departamento de Trefilado existen cinco máquinas (ubicadas consecutivamente como se muestra en la siguiente tabla), y solamente tres están produciendo simultáneamente, y una de esas es la que produce rollos de 45 kg (TREF09), las demás fabrican los esqueletos.

También, por cada turno hay dos operadores responsables del proceso, uno de ellos se encarga de la máquina de rollos de 45 kg debido a que tiene la

ocupación más alta, y el otro operario es responsable de dos máquinas. Ante esto, es preciso mencionar que las máquinas trabajan simultáneamente, por ubicación entre ellas, es decir, TREF09 produce continuamente, mientras que trabajan las combinaciones TREF10-TREF11, TREF11-TREF12, o TREF12-TREF03.

De esta manera, surgen los siguientes datos:

Tabla 1. Ocupación de los operadores

		Máquina				
		TREF09	TREF10	TREF11	TREF12	TREF03
Ocupación total del operador por máquina		77,9%	30,2%	30.4%	31.6%	30%
Ocupación del operario en el departamento		77,9%	60,6%		61.6%	
			62,0%			

Como se observa en la tabla anterior, un operario tiene una ocupación de 77.9%, mientras que el otro tendría una ocupación máxima de 62,0%, es decir, ambos tendrían tiempos ociosos. Asimismo, asignar toda la carga en un solo operario es imposible, debido que superaría el 100% de su capacidad de trabajo.

4.3.4 Tiempo de amarre y peso en los rollos de 45 kg

Ante esta problemática, también se requiere medir la cantidad de alambre presente en un rollo, ante esto, se calcula el tamaño de muestra adecuado para

obtener un dato con un 95% de confianza, se obtiene una cantidad de 73 muestras, tal y como se muestra a continuación:

$$73 = \frac{1.96^2 * 0,05 * (1 - 0,05)}{0,05^2}$$

Por lo tanto, se divide la cantidad de muestras entre cada uno de los tres operadores encargados de la máquina en los turnos 1 y 2 (6:00 a 14:00 y 14:00 a 22:00 respectivamente), y con el fin de obtener datos balanceados, es decir, la misma cantidad de muestras para cada turno y operario, se excede este tamaño y se realizan 78 muestreos, lo que da como resultado los datos presentes en el Apéndice 7, presentados en la siguiente gráfica:

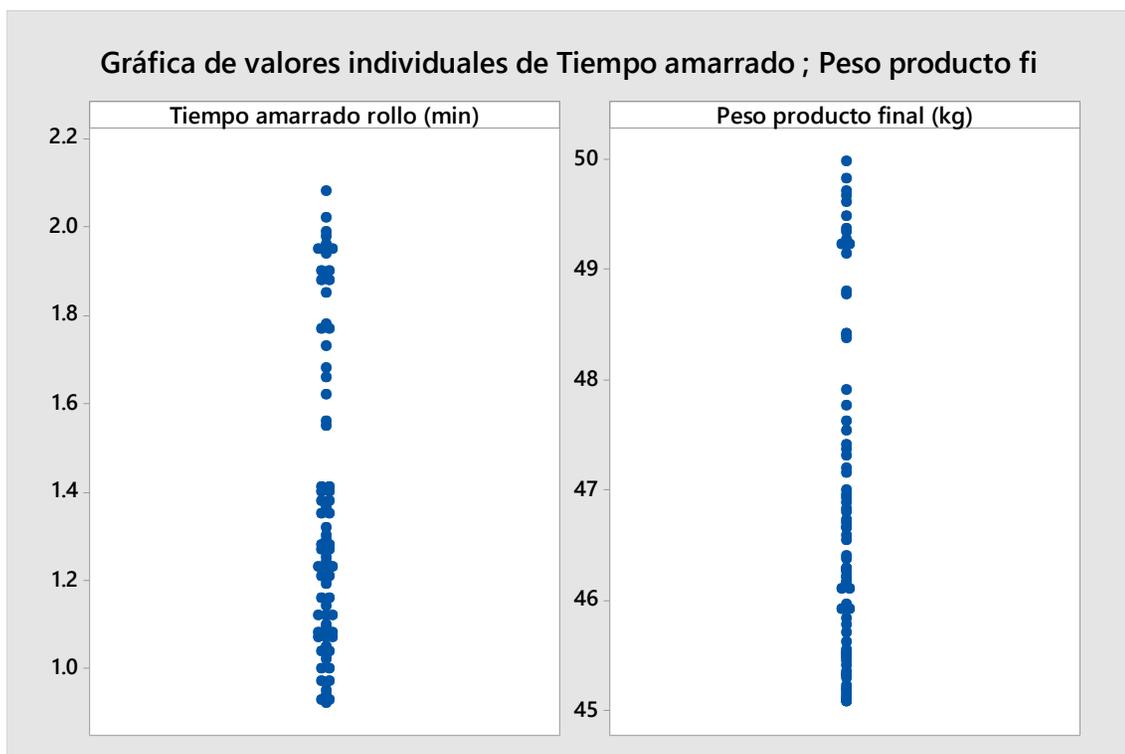


Figura 22.Gráfica de valores individuales

Como se observa en el gráfico anterior de tiempo de amarrado por rollo, existe una variación en las mediciones que se realizaron al proceso de amarrado en cada rollo de producto terminado, representando de esa manera muestras que a un 95% de confianza, rondan aproximadamente entre 1.0 min a 2.1 min. Por otra parte, se realizó el mismo estudio para el peso de cada rollo de alambre de producto trefilado de 45 kg, lo que evidencia de esta manera pesos que, a un 95% de confianza, rondan aproximadamente entre 45 kg a 50 kg.

De esta manera, al exceder el tamaño de muestra, las 78 mediciones, se obtiene como resultado, lo presente en el Apéndice 7, resumen:

Tabla 2. Resumen de las mediciones dadas

	Tiempo en minutos	Peso de cada rollo (kg)
Promedio	1,376	46,828
Intervalo de confianza de 95%	(1,299; 1,453)	(46,503; 47,154)
Desviación estándar	0,346	1,467
Coefficiente de variación	25.18	3.13

Es decir, efectivamente cada rollo que debería pesar 45.0 kg, en promedio pesa 46.828 kg, de esta manera, como este producto es final y se vende con un peso de 45 kg, en promedio, por cada rollo se está obteniendo una pérdida de 1.828 kg. De forma gráfica, se obtiene:

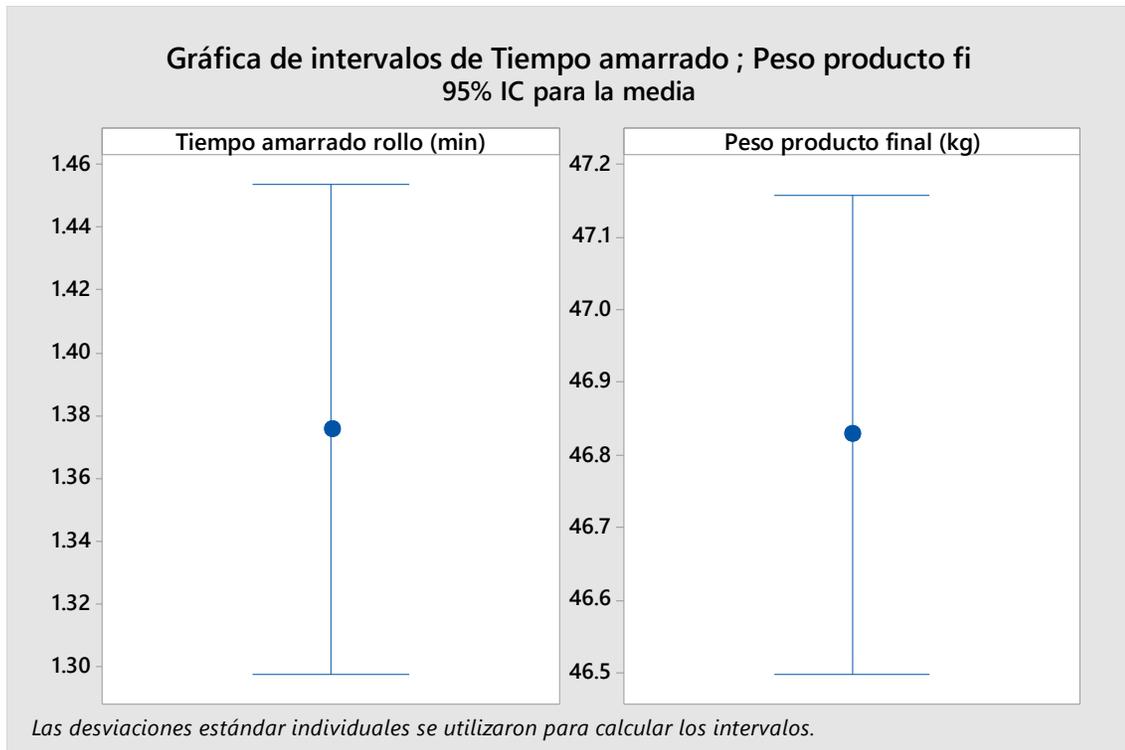


Figura 23. Gráfica de intervalos

Como se observa en la anterior gráfica de intervalos de tiempo de amarrado, con un 95% de confianza se puede observar que el tiempo de amarrado tiene una variación significativa la cual se representa en un intervalo de confianza del 95% de 1.299 min a 1.453 min, logrando un promedio de tiempo de amarrado por rollo de 1.376 min.

Por otra parte, como se observa en la gráfica de intervalos de peso de producto final, con un 95% de confianza se puede observar que el peso del producto final se encuentra en los intervalos de 46.503 kg a 47.154 kg, al lograr de esa manera representar un promedio de peso que ronda los 46.828 kg. Por lo

tanto, se concluye de esa forma un desperdicio promedio de 1.828 kg en cada rollo de alambre de producto terminado.

Según estimaciones desarrolladas por el departamento financiero de BIA Alambres/Bekaert Costa Rica, durante noviembre de 2018, el costo de producción de trefilar una tonelada de acero es de \$540. A un tipo de cambio según el Banco Central de Costa Rica para el 06 de febrero de 2019, de ₡616.45, por lo tanto, al producir un kilogramo de acero trefilado se incurre en un costo de \$0.54, lo equivalente a ₡332.88.

Así, como se mencionó anteriormente, al presentarse un desperdicio de 1.828 kg, en sumas monetarias representaría \$0.987 de pérdidas por rollo; es decir, por cada rollo que se fabrique en la empresa, en promedio se estaría obteniendo esta pérdida económica, por lo tanto, al proyectar estas pérdidas por periodos de turno, diarios, mensuales y anuales, se obtiene:

Tabla 3. Pérdidas económicas por desperdicio

	Periodo			
	Por turno (8 horas)	Por día (3 turnos)	Por mes (30 días)	Por año (344 días)
Rollos producidos	107,71	323,13	9693,90	111 156,72
Desperdicio (kg)	196,89	590,68	17720,45	203 194,48
Pérdidas totales por exceso de peso	\$ 106,32	\$ 318,97	\$9569,04	\$ 109 725,02

Ante esto, es preciso mencionar, que para el cálculo de las pérdidas anuales se rebajan los doce días de vacaciones y los nueve feriados obligatorios en Costa Rica ($365 - 12 - 9 = 344$ días), por lo tanto, son 344 días productivos en la empresa.

Por lo tanto, solamente por el exceso de peso en los rollos que deberían pesar 45 kg exactos, se están obteniendo pérdidas diarias de \$318,97, lo que lleva a mermas anuales de \$109 725,02, es decir, la empresa asume este costo por la venta en exceso.

4.3.5 Factor humano en el departamento

Como se mencionó anteriormente, en el departamento de Trefilado hay seis operarios responsables del proceso, dos por turno, por cargas de trabajo, uno es el encargado completamente de la máquina TREF09, y la otra persona es responsable de dos máquinas.

Dentro de lo evidenciado durante las visitas, el grado de supervisión difiere según el turno de trabajo, por ejemplo, el control se efectúa diferente a las 7:00 u 11:00 (cuando los ingenieros de procesos y administrativos están en su jornada laboral), que después de las 16:00 (cuando en la planta sólo están los operarios y el único supervisor de turno). Es decir, se evidencia un mayor control en el horario de 7:00 a 16:00.

Otro punto por destacar es la lenta curva de aprendizaje del proceso manual para la máquina TREF09, según datos proporcionados por Ingeniería de Procesos de BIA Alambres/Bekaert Costa Rica, para que un operario pueda ser responsable total del proceso de esta máquina deben pasar entre uno y tres meses en compañía con otro experimentado, con capacitación práctica durante aproximadamente 200 horas, si se determina que el operario aún no está preparado, la capacitación se extiende por hasta 400 horas.

Así, es al cabo de dos o tres años cuando el operario se considera

experimentado en las complicadas labores manuales por realizar, ante esto, características como la precisión y la velocidad de trabajo son dependientes de la experiencia del operario.

Lo anterior, se complica debido a la alta rotación del personal, según el departamento de Recursos Humanos de BIA Alambres/Bekaert Costa Rica, durante los últimos cuatro años, el índice de rotación es de 50%, es decir, de los seis operarios en el departamento, anualmente, sólo se mantienen tres en promedio.

También, es importante calcular el costo que la empresa incurre por cada operario, como se observa en el Apéndice 8, a través de una serie de cálculos sobre el salario que el operario recibe más las cargas sociales de la empresa, se debe asumir un costo de ₡7511983.4 (\$12186 al tipo de cambio del 06 de febrero de 2019) anuales por operario.

Sin embargo, como se menciona en la tabla 1, la ocupación de un operario es 77.9%, mientras que, del otro, es máximo 62.0%, es decir, 139.9% de ocupación hombre en el departamento, ante esto, entre los dos operarios existe un 60.1% de tiempo ocioso, lo que representa en salarios, \$7323.8 anuales.

4.4 Las siete grandes pérdidas de *Lean Manufacturing*

De esta manera, se resumen las siete grandes pérdidas o desperdicios Lean:

4.4.1 Sobreproducción.

En muchas ocasiones la causa de la sobreproducción radica en el exceso de capacidad de las máquinas, en BIA Alambres/Bekaert Costa Rica, existen cinco máquinas, sin embargo, para cumplir con las necesidades de producción solamente es necesario utilizar tres, de tal manera que no exista sobreproducción, y así se desarrolla el proceso, es decir, existe una subutilización del equipo como se mencionó anteriormente en el cuadro 2.

4.4.2 Esperas.

El material mantiene fluidez en su proceso, según observaciones realizadas, no se evidencia material acumulado que sea causante de atrasos en los procesos productivos.

4.4.3 Transporte.

En el departamento de Trefilado, las cinco máquinas son independientes en el proceso, por lo tanto, no existen transportes de una estación o máquina a otra.

Asimismo, la bodega de materia prima está a aproximadamente 20 metros del área de máquinas, por lo tanto, representa una corta distancia para los montacargas, como se observa el plano y el croquis en los Apéndices 8 y 9 respectivamente.

De esta manera, como se observa en el plano y croquis de la planta BIA Alambres/Bekaert Costa Rica presente en el apéndice 9 y apéndice 10 respectivamente, el transporte se desarrolla entre el almacén de materia prima dentro de planta a la máquina de trefilado, posteriormente, de esta, al almacén intermedio de trefilado, por lo tanto, las distancias recorridas en el departamento de trefilado son cortas, de aproximadamente, 25 metros y se realizan con montacargas.

4.4.4 Movimientos innecesarios.

Debido a las observaciones realizadas en el proceso, se identifican diferencias en el método de trabajo de los operarios, asimismo, muestran diferentes habilidades en sus labores manuales. De esta manera, se visualiza diferencia en el proceso que ejecuta cada operario, por ejemplo, para el procedimiento de amarrado, algunos operarios lo ejecutan con la mano, otro con ayuda de un alicate y otro al utilizar el alicate con las funciones de un martillo.

Por lo tanto, se detectan métodos de amarrado no acordes con la

estandarización del manual Bekaert SI-P-14020-BIA v7 (documento confidencial), que describe el procedimiento que el operario debe acatar para cumplir con los movimientos óptimos en el desarrollo de su trabajo.

Ante esto, dada la observación descrita en el párrafo anterior, se identifica una potencial causa, que la experiencia del operador influye en el desarrollo de sus labores, sin embargo, este supuesto se determinará en el análisis de la situación (ver Capítulo V).

De esta manera, el operario siempre carga con las herramientas de trabajo como alicates que son los que poseen una utilización más frecuente, por tal razón no se debe buscar este tipo de herramientas, por otro lado, en la estación de trabajo existen los otros utillajes necesarios.

Por consiguiente, como la máquina tiene una longitud de aproximadamente 25 metros, el operario debe cubrir toda esta distancia, debido a que las averías pueden darse en cualquier punto de la máquina, esto ocasiona el movimiento del operador por todo el perímetro de la máquina.



Figura 24. Máquina de trefilado

4.4.5 Reprocesos.

En este departamento no existen procesos repetitivos o con una misma función, por lo tanto, no se incurre en este desperdicio.

4.4.6 Defectos.

Se incurre principalmente en defectos de variabilidad en donde el exceso de peso es evidente. Este es considerado como un despilfarro derivado de los errores y esto es uno de los más aceptados en la industria, aunque significa una gran pérdida de productividad por el desperdicio de material terminado, debido al peso en exceso al cual se vende el rollo de alambre trefilado de 45 kg.

En este caso, también debería haber un control de calidad en tiempo real, de modo que se midan que los defectos y la variabilidad en el proceso productivo, y se detecten justo cuando suceden.

Causas posibles:

- Errores de los operarios.
- Formación o experiencia de los operarios inadecuada.
- Proceso productivo deficiente o mal diseñado.

4.4.7 Inventario.

El inventario en trefilado existe en dos tipos, primero, y el más importante, el inventario de materia prima que no se considera como una problemática por su acomodo fuera de planta (no interfiere en el espacio) y por ser un producto que es resistente al paso del tiempo. El otro inventario es de producto intermedio para recocido y trefilado, como el proceso es lineal, no existe esta problemática.

En BIA Alambres/Bekaert Costa Rica, no se presenta inventario de producto intermedio en un plazo mayor a 36 horas, es decir, existe una meta donde no se permite una inmovilidad del inventario mayor a las 36 horas (ver espacio destinado para esta función en el Apéndice 9 y Apéndice 10), pues los procesos posteriores a trefilado son puntuales, es decir, se desarrollan lineales, por ejemplo, inmediatamente después de trefilado, el alambre se somete a recocido o se galvaniza para su venta inmediata en el primer caso, o para su posterior transformación en rollos, púas, grapas o clavos, en otros procesos.

Capítulo V: Análisis de la situación

En este apartado se desarrolla un análisis de la situación actual y de las oportunidades de mejora diagnosticadas en el capítulo anterior, de esta manera, se pretende examinar diversos componentes y factores que posiblemente influyan en los procesos productivos, al determinar el impacto con herramientas estadísticas y de análisis en general.

5.1 Técnicas de cinco por qué

Debido a diferentes contrariedades encontradas en el proceso de trefilado con respecto del peso de cada rollo de alambre de 45 kg, se propone la realización de un análisis de cinco por qué, esto para conocer a fondo las causas por las cuales se dan los problemas más críticos en el proceso de trefilado.

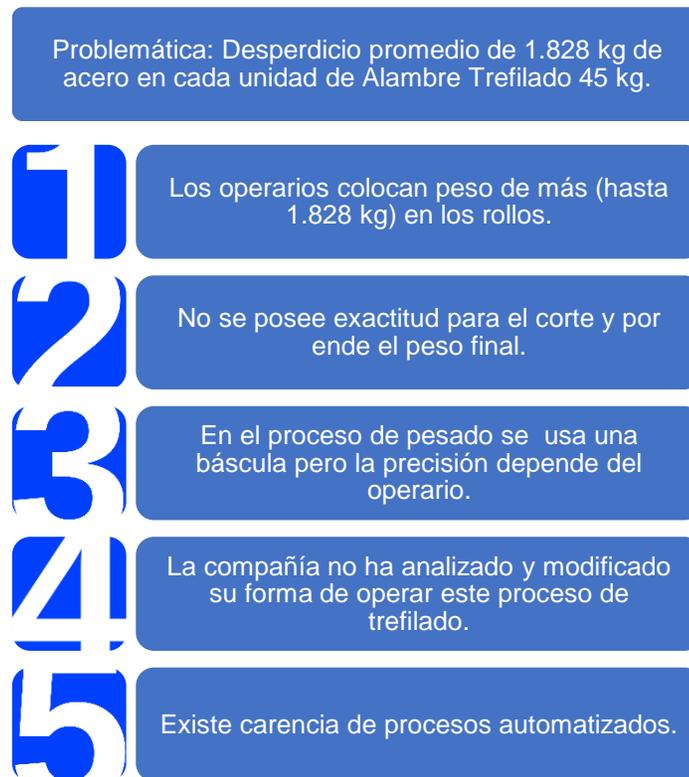


Figura 25. Cinco porqués exceso de producto

Como se muestra en el análisis de cinco porque, existen una serie de causas por las cuales este problema es crítico para el proceso de trefilado, por ejemplo, las diferencias entre los métodos correctos y los realizados por parte del operario es un factor que afecta considerablemente el proceso de los rollos de alambre de 45 kg. De esta manera, es importante indicar que por la densidad del alambre de 18,67 g/m (la máquina produce a 9,0 m/s), se fabrica aproximadamente un kilogramo de material cada seis segundos, por lo tanto, el proceso productivo requiere un apoyo veloz y preciso.

Por otra parte, no se puede dejar de lado la falta de equipos automatizados como modernos que se ajusten a las necesidades del proceso y que sea de ayuda para la mejora del proceso y reducción significativa de desperdicio, que representa esta operación singular, pues, en las visitas realizadas, se evidencia una complejidad mayor a la capacidad que tiene una persona para realizar los procesos productivos con la precisión y velocidad requeridas.

De igual manera, debido a contrariedades encontradas en el proceso de trefilado en relación con la eficiencia de operación o en este caso más específico enfocado a la uniformidad de los procesos se propone la realización de un análisis de cinco por qué, esto para conocer a fondo las causas por las cuales se da uno de los problemas que al igual que la variación del peso son críticos en el proceso de trefilado.

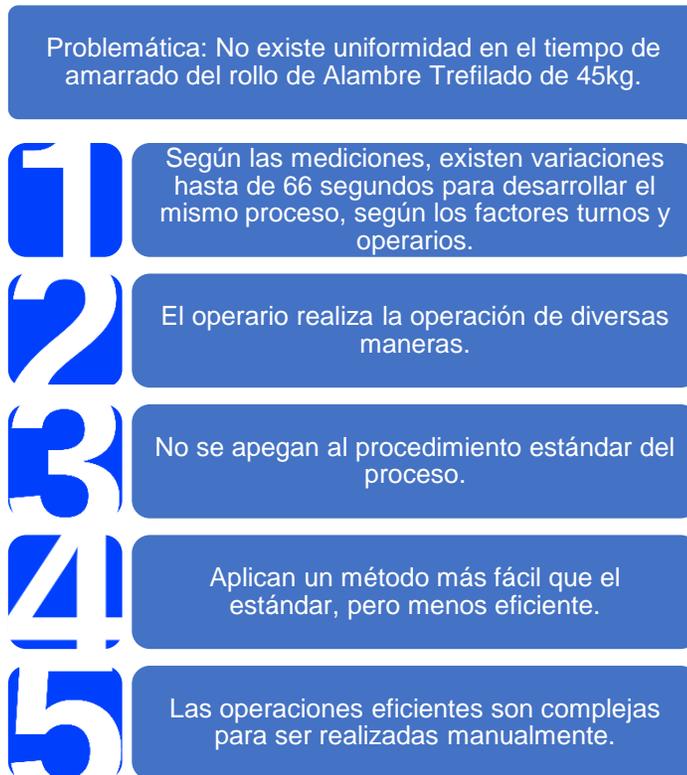


Figura 26. Cinco porqués deficiencia de uniformidad

Como se muestra en el análisis de cinco porque, la falta de seguimiento de los procesos establecidos es una de las causas que afecta considerablemente el proceso de trefilado esto repercute en que los operarios no reciben una capacitación establecida de los procesos.

De esta manera, el proceso de trefilado al ser un proceso que involucra el factor humano en las operaciones tiende a tener contrariedades en los procesos, los cuales a su vez generan un impacto significativo en las operaciones.

5.2 Análisis estadístico

En este apartado se realiza un análisis estadístico de las 78 muestras tomadas del estado actual del departamento de trefilado de la empresa BIA Alambres/Bekaert Costa Rica, en donde se evidencia una serie de resultados obtenidos por medio de diferentes análisis que se realizaron a los dos puntos críticos del proceso de trefilado (tiempo de amarrado y peso del producto final alambre trefilado de 45 kg).

5.2.1 Resumen estadístico para tiempo de amarrado

De esta manera, diferentes valores importantes con respecto del tiempo de amarrado por rollo se obtienen mediante estas gráficas, las cuales son de importancia para los diferentes análisis que se realizan, como se observa en el siguiente informe de tiempo de amarrado por rollo (min):

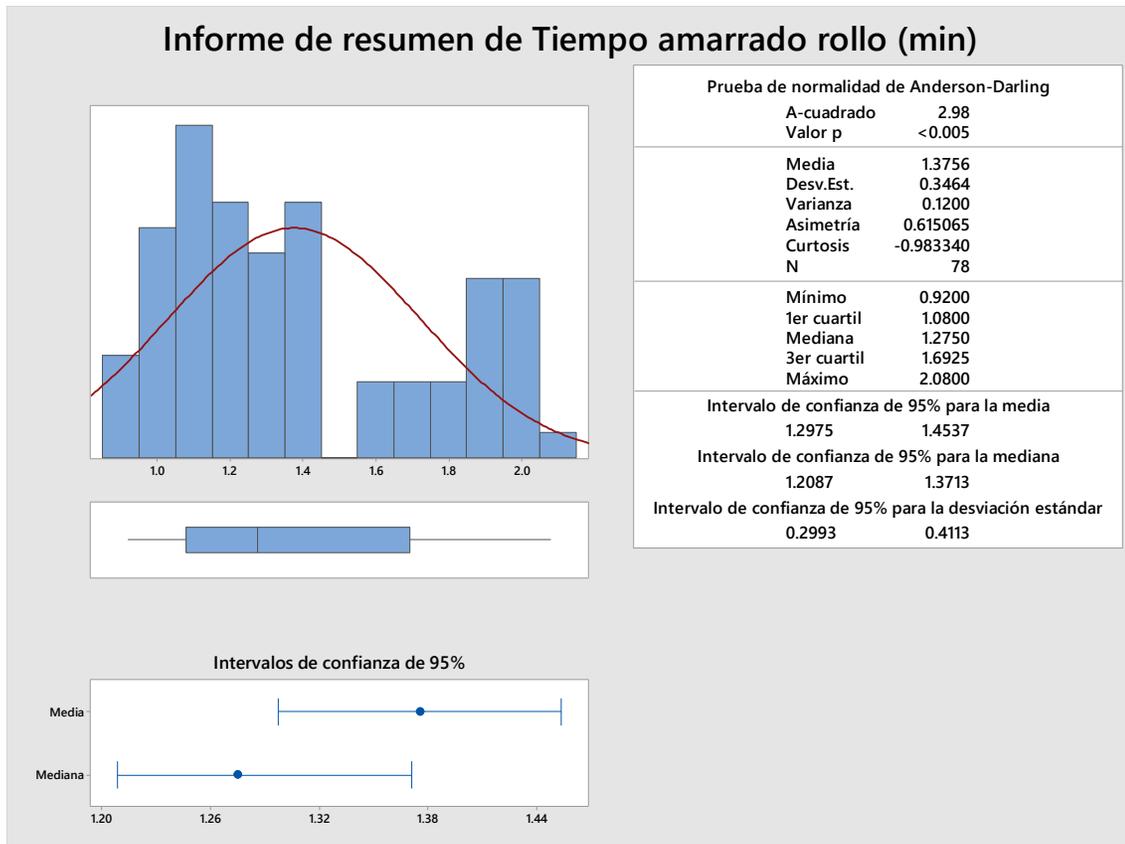


Figura 27. Resumen estadístico del tiempo de amarrado

Como se observa en la gráfica anterior, la media que se tarda en amarrar un rollo es 1,38 minutos, con un intervalo de confianza del 95% de 1,298 a 1,454 minutos, siendo 1,16 minutos el rango de las mediciones, por lo tanto, no existe una variación deseada para un proceso, lo que da evidencia de no uniformidad en el proceso, situación que se comprobará en el apartado 5.3.

5.2.2 Resumen estadístico para peso de producto final

En cuanto al informe resumen de peso producto final se observa de igual manera una serie de datos importantes tomados por diferentes análisis que se realizaron al proceso, que se observa a continuación:

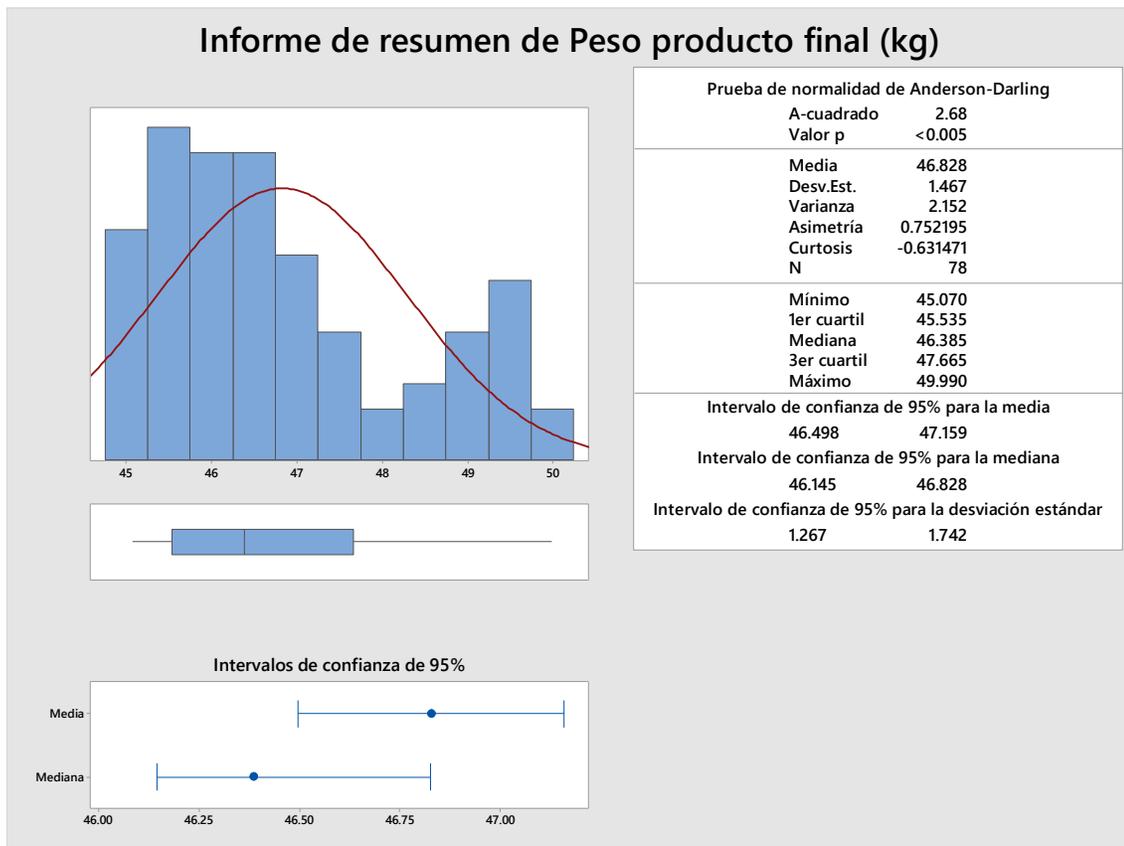


Figura 28. Resumen estadístico del peso de producto final

Como se observa en la gráfica anterior, la media del peso del producto terminado es 46,828 kg, con un intervalo de confianza del 95% de 46,498 a 47,159 kilogramos, siendo 4,92 kg el rango de los valores de las mediciones, por lo tanto,

no existe una variación deseada para un proceso, lo que da evidencia de no uniformidad en el proceso, situación que se comprobará en el apartado 5.3.

Así, se obtienen los principales datos estadísticos básicos de cada una de las variables, lo que permite conocer los aspectos elementales y el comportamiento que tienen estas series de datos, ambas, de importancia en este análisis.

5.2.3 Gráficas de caja

Ante esto, como otra herramienta de análisis se realiza la gráfica de caja con respecto del tiempo de amarrado y peso de producto final, en donde se puede apreciar que, para la primera variable, el valor mínimo ronda los 0,92 min para el tiempo de amarrado y 45,05 kg para el peso de producto final. Y el máximo ronda los 2,08 min para el tiempo de amarrado y 49,99 kg para el peso de producto final.

De esa manera, al tener identificados los cuartiles, el mínimo y el máximo se puede visualizar con respecto del gráfico que la mediana, en cuanto al tiempo de amarrado del rollo es de 1,28 min mientras que en el peso de producto final es de 46,385 kg.

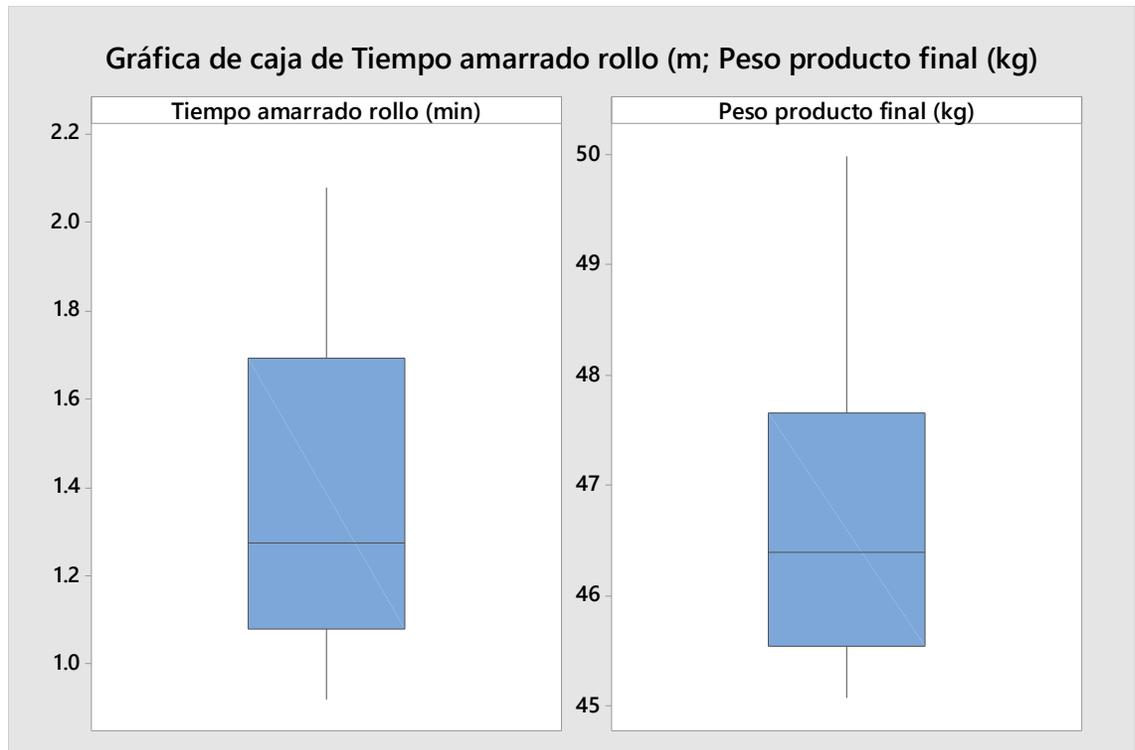


Figura 29. Gráfica de cajas

Por lo tanto, esta gráfica es otro indicio sobre la variabilidad de los datos estudiados, debido a sus amplios rangos intercuartíles. Ante esto, es importante la segmentación de los datos en los factores operario y turno, con el objetivo de conocer el comportamiento estadístico de las variables que lleven a la generación de conclusiones.

5.2.4 Gráficas de valores individuales

De esta manera, se realiza la segmentación de las muestras tomadas, y se desarrolla un gráfico de valores individuales de tiempo de amarrado y peso de

producto final, para conocer si existe variabilidad en los valores estimados, en cuanto al factor operario:

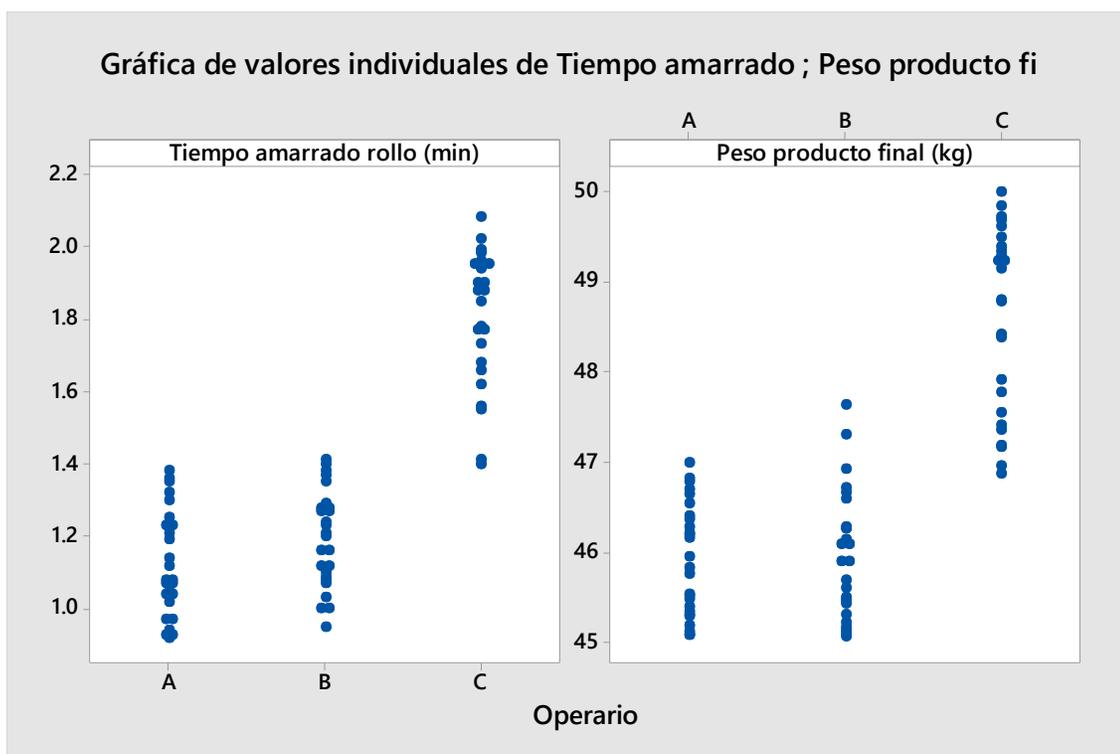


Figura 30. Gráfica de valores individuales por operario

Como se observa en la figura anterior, gráficamente se visualiza que existe una tendencia a mayor tiempo de amarrado y peso del producto final para el operario C, esto podría significar una variación significativa en estas variables en relación con el operario. Sin embargo, esto se determinará en el apartado 5.3.

De igual manera, al tomar en cuenta los mismos valores, pero esta vez con variables como los turnos se elabora la siguiente gráfica:

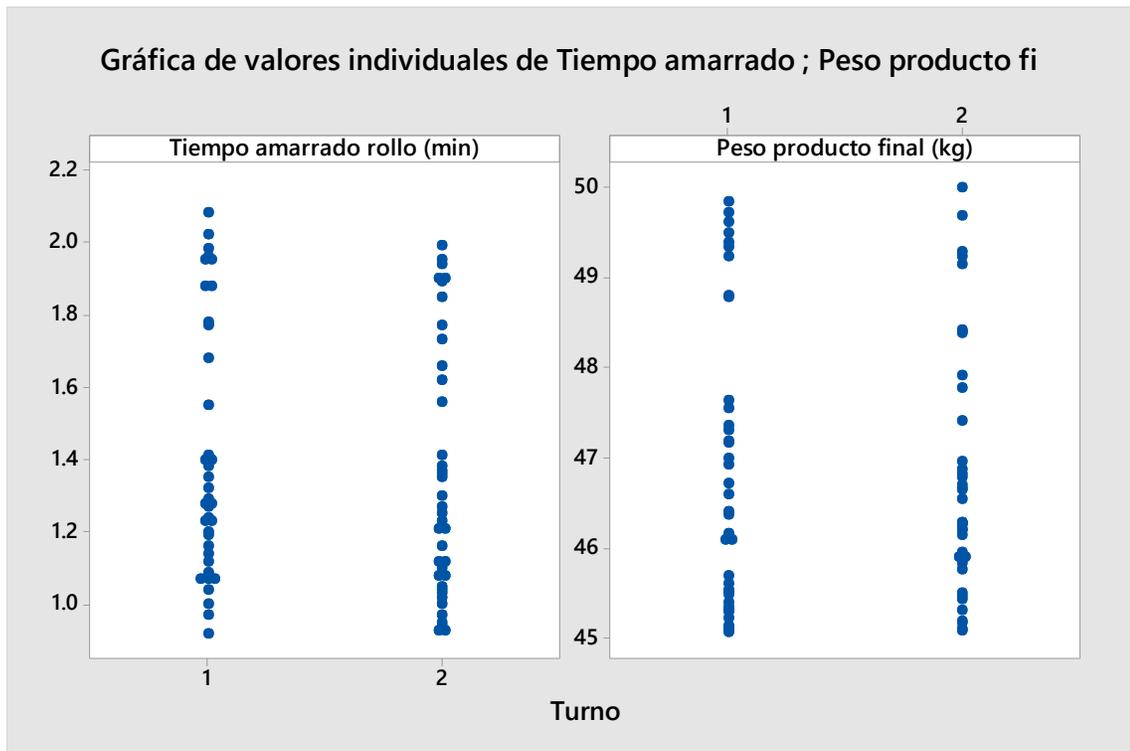


Figura 31. Gráfica de valores individuales por turno

Como se observa en la figura anterior, gráficamente parece no existir una diferencia significativa entre los valores tomados en el turno 1 con respecto de los tomados en el turno 2. Sin embargo, esto se determinará en el diseño estadístico de experimentos del apartado 5.3.

5.3 Diseño de experimentos (DOE)

De esta manera, para evidenciar y obtener conclusiones estadísticas sobre los indicios presentados anteriormente, se realiza un experimento estadístico que permita obtener suficiente evidencia estadística para la toma de decisiones en cuanto a la posible afectación de los factores operario y turno en las variables de tiempo de amarrado del rollo y el peso del producto final.

Así, ante las oportunidades de mejora diagnósticas anteriormente, como la variabilidad en el peso del producto de rollo de alambre trefilado de 45 kg y la variabilidad en tiempo de amarrado del producto final, se pretende probar estadísticamente los factores que influyen en estas variables.

Ante esto, la elaboración de este experimento estadístico es de importancia para determinar si existe variación en el peso del producto final y el tiempo de proceso, según el operario responsable y el turno en que se desarrolle el proceso, es decir, probar estadísticamente, posibles diferencias significativas que se producen en estas variables al combinar diversos factores (operario y turno).

De esta manera, se analizan los datos obtenidos, presentes en el Apéndice 7, que indica el tiempo que tarda el operario en realizar el proceso de amarrado y el peso del producto final de las 78 muestras tomadas. Asimismo, en el Apéndice 3, está la información de relevancia del operario medido.

5.3.1 Verificación de supuestos.

Para iniciar este experimento estadístico, se realizan estudios para la verificación de los supuestos como prueba de normalidad, pruebas de corridas y pruebas de igualdad de varianzas a cada uno de los datos, esto permite asegurar la confianza en los resultados estadísticos.

De esta manera, como se observa en el Apéndice 11, se verifican los supuestos del tiempo de amarrado por rollo, y se detecta que los datos se ajustan a una distribución normal, existe igualdad de varianzas y aleatoriedad en los valores, por lo tanto, se puede continuar con los análisis de varianza.

Asimismo, como se observa en el Apéndice 12, se verifican los supuestos de peso del producto final, y se detecta que los datos se ajustan a una distribución normal, existe igualdad de varianzas y aleatoriedad en los valores, por lo tanto, se puede continuar con los análisis de varianza.

5.3.2 Análisis de varianza (ANOVA).

5.3.2.1 ANOVA de tiempo de amarrado.

Como se observa en el Apéndice 13, los resultados del ANOVA, para el operario con un 95% de confianza, como el valor $P < 0,05$, existe suficiente evidencia estadística por lo cual se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, al

menos una media es diferente y existe una diferencia significativa en la variable de respuesta al tiempo de amarrado por rollo.

Mientras, el turno de trabajo, con un 95% de confianza, como el valor $P > 0,05$, no existe suficiente evidencia estadística por lo cual se falla al rechazar la hipótesis nula, por lo tanto, todas las medias son iguales y no existe una diferencia significativa en la variable de respuesta al tiempo de amarrado por rollo.

5.3.2.2 ANOVA de peso del producto final

También en el Apéndice 14, los resultados del ANOVA, en cuanto al peso de producto final, el operario con un 95% de confianza, como el valor $P < 0,05$, existe suficiente evidencia estadística por lo cual se rechaza la hipótesis nula. Por lo tanto, al menos una media es diferente y existe una diferencia significativa en la variable de respuesta al peso de producto final.

Asimismo, el turno, con un 95% de confianza, como el valor $P > 0,05$, no existe suficiente evidencia estadística por lo cual se falla al rechazar la hipótesis nula, por lo tanto, todas las medias son iguales y no existe una diferencia significativa en la variable de respuesta al peso de producto final.

5.3.3 Gráficos principales

De esta manera, cada una de las aseveraciones anteriores, se grafican con el fin de representar el comportamiento de las variables según los factores que influyen en ellos:

A. Para tiempo de amarrado por rollo en minutos

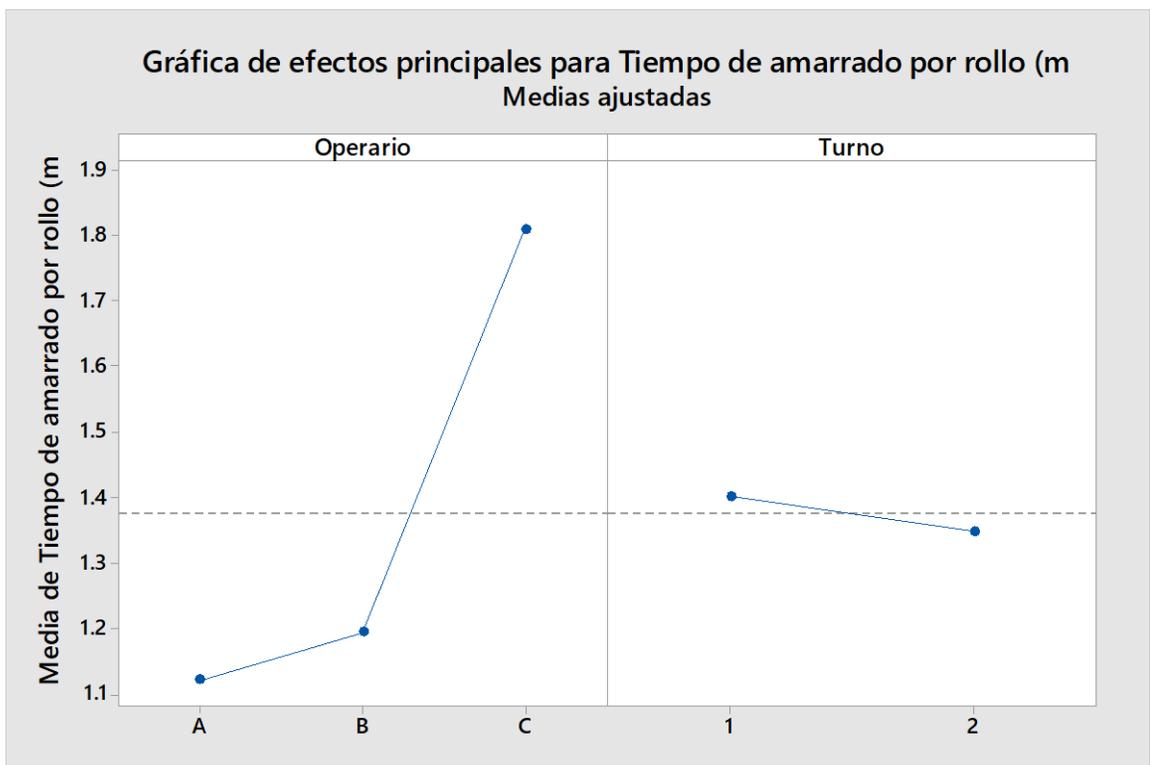


Figura 32. Gráfica de efectos principales para tiempo de amarrado

Como se observa en la gráfica anterior, los efectos principales para el tiempo de amarrado por rollo varían significativamente según el factor operario, si

el operario es el A, el tiempo es de aproximadamente 1.1 minutos, mientras que el operario B tiene un tiempo promedio de 1.2 minutos, esta duración asciende hasta 1.8 minutos cuando lo ejecuta el operario C. Asimismo, el turno 2 representa una leve disminución del tiempo con respecto del turno 1, sin embargo, no representa una diferencia significativa.

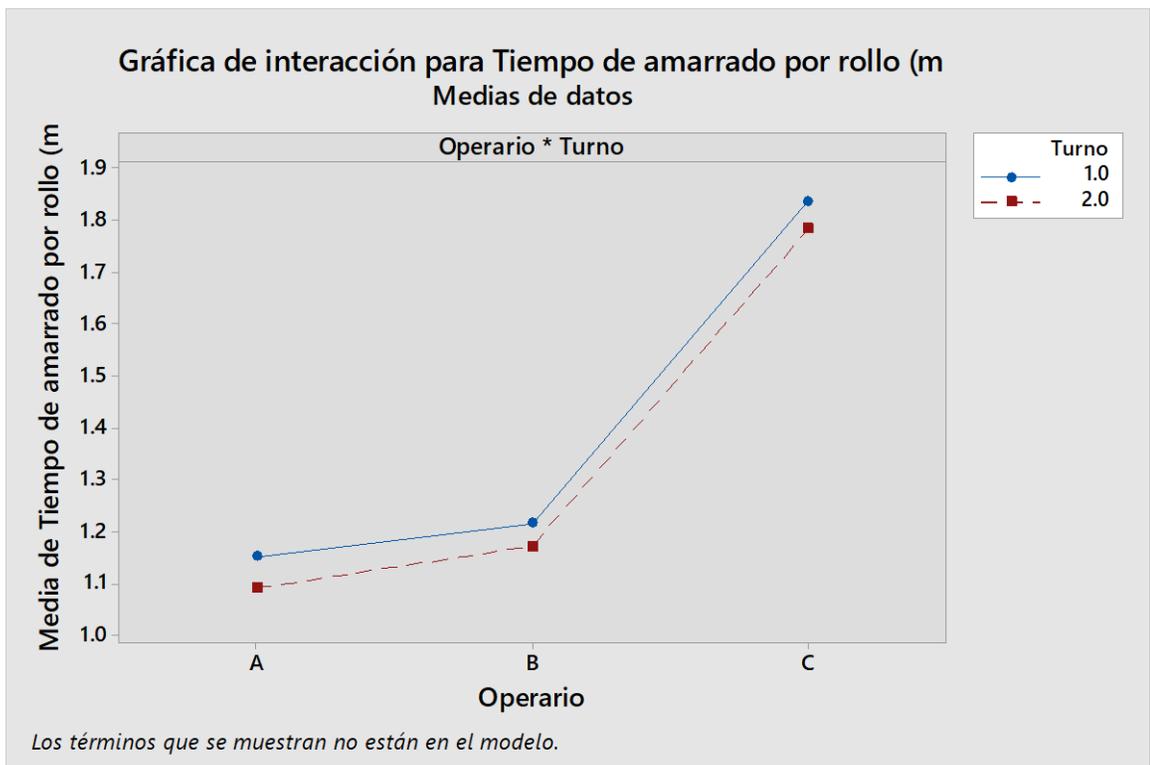


Figura33. Gráfica de interacción para tiempo de amarrado por rollo

Como se observa en la gráfica anterior, con relación al tiempo de amarrado por rollo con respecto a los operarios A, B Y C, se da una variación de tiempos en cada operario, dando como conclusión que el factor que afecta en el proceso es el operario en comparación con los turnos, existiendo un aumento significativo en el tiempo de amarrado cuando lo ejecuta el operario C.

B) Para peso del producto final (kg)

Asimismo, se genera una representación de efectos principales para el peso de producto final según cada uno de los factores que los afectan:

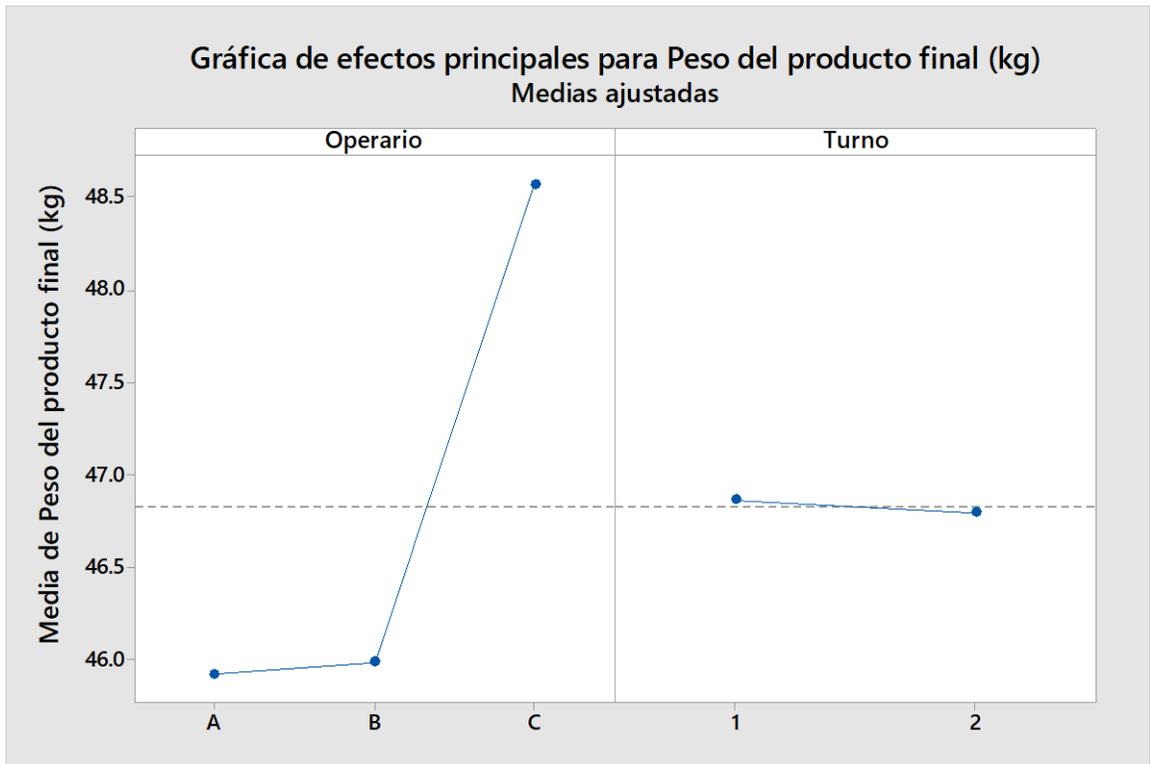


Figura34. Gráfica de efectos principales para peso del producto

Como se observa en la gráfica anterior, en relación con el peso del producto final los operarios A y B no tienen una variación considerable en relación con la uniformidad de peso en cada producto final, el operario A desarrolla el proceso a una media de 45.8 kg por rollo, el operario B, una media de 46.0 kg, en comparación al operario C que provoca un aumento en la uniformidad de los

pesos, que alista hasta una media de 48.6 kg, lo que da como conclusión que el factor que afecta en el proceso es el operario. Mientras, en comparación con los turnos, estos no afectan significativamente.

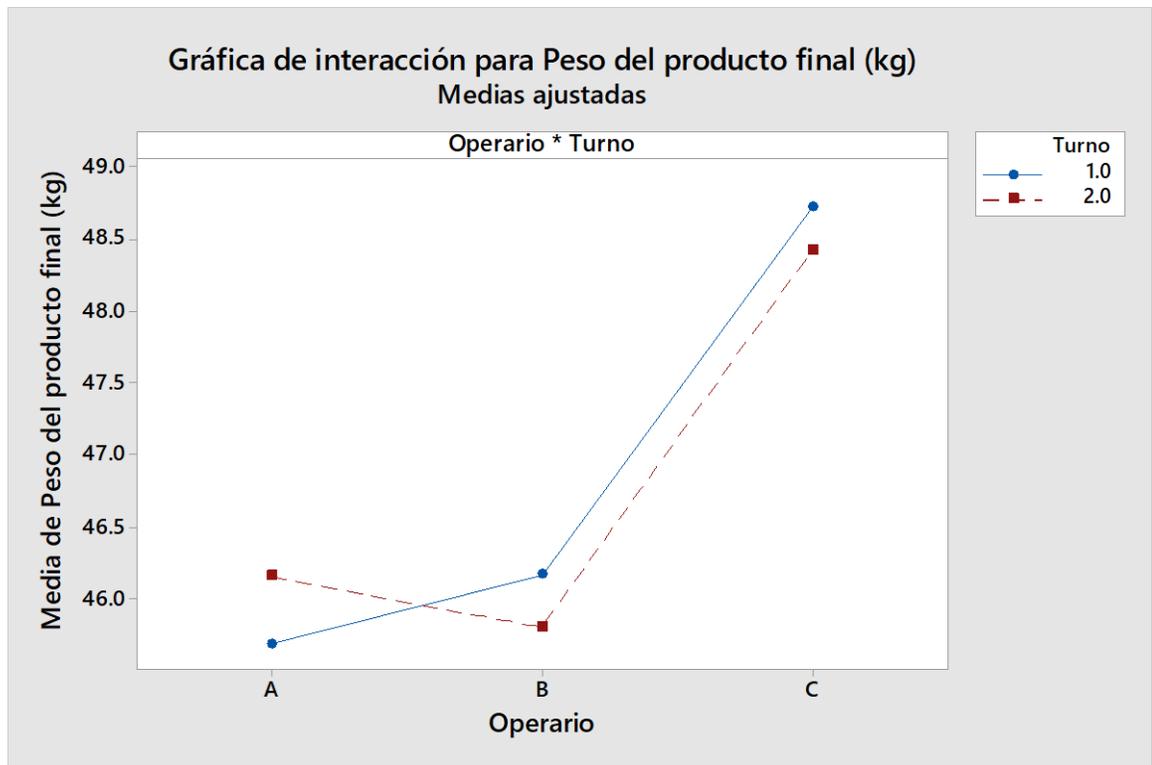


Figura35. Gráfica de interacción para peso del producto

Como se observa en la gráfica anterior, en relación con el peso del producto final con respecto a los operarios A, B Y C, en lo referente a los pesos de productos finales, da como conclusión que el factor que afecta en el proceso es el operario, debido a que el operario C representa un aumento considerable en los pesos del producto. En comparación con los turnos, no representa una diferencia significativa.

De esta manera, se determinó que sí existen variaciones significativas con respecto al peso final de los rollos, depende del operador que realiza la labor existe una variación promedio de 2.8 kg entre el operador con el menor peso y el de mayor peso (operario A: 45.8 kg, operario B: 46.0 kg, operario C: 48.6 kg) y el turno no incide significativamente en el peso de los rollos.

Además, se determina que se presentan variaciones significativas con respecto al tiempo de amarrado de los rollos, según el operador que realiza el amarrado se tiene una variación de 0,70 minutos entre el operador A y C (operario A: 1.10 minutos, operario B: 1.15 minutos, operario C: 1.80 minutos). También existen variaciones no significativas en el turno en el que se realiza dicha actividad lo que da como resultado una variación de 0,1 minuto entre el turno 1 y 2.

De esta manera, se realiza una síntesis de este capítulo, con el fin de copilar de manera sistemática las causas de raíz que ocasionan los problemas encontrados en los diferentes análisis que se realizan en el proceso de trefilado, con el objetivo de brindar mejoras que garanticen la disminución de desperdicio y el aumento de uniformidad en el proceso.

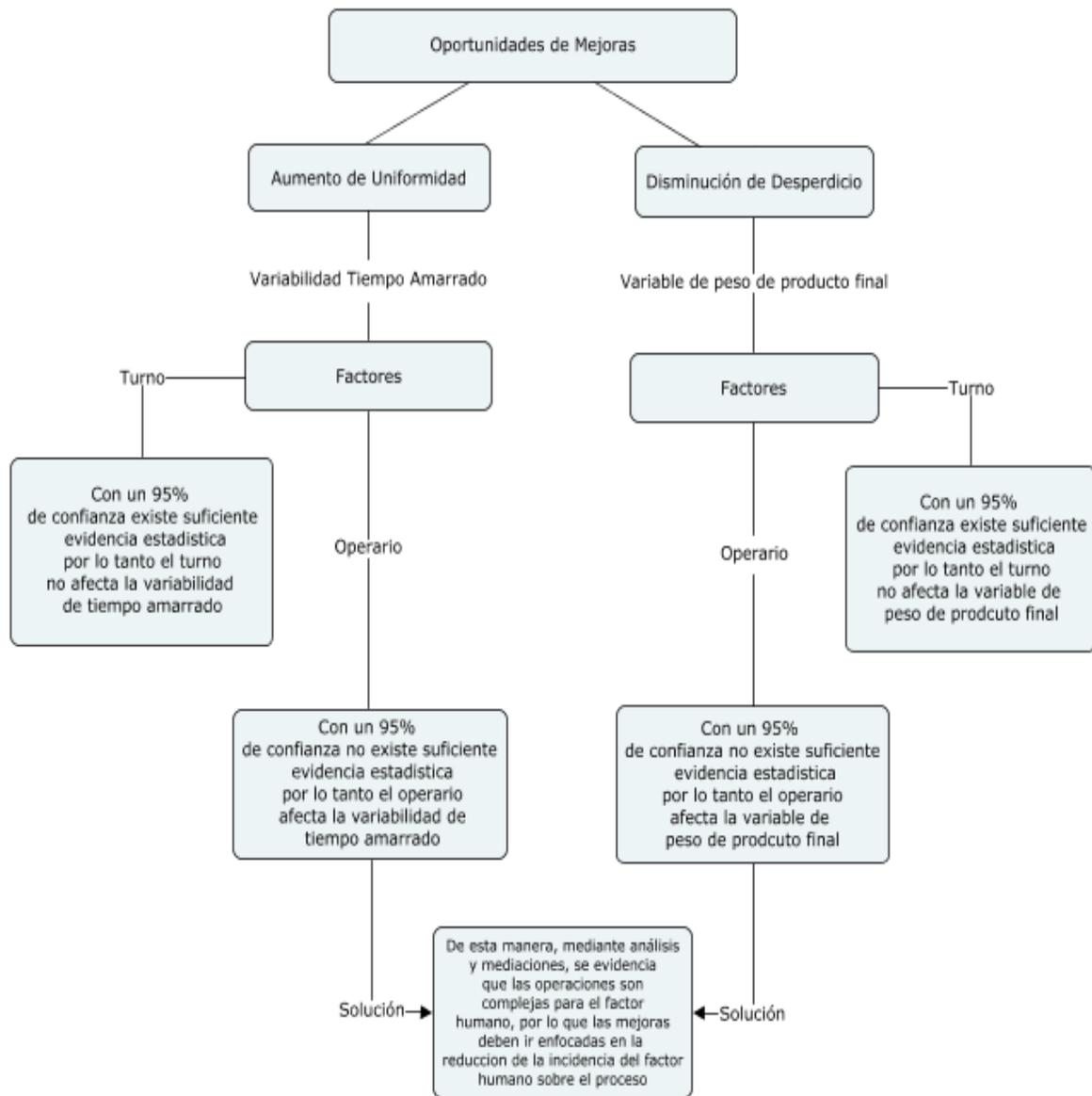


Figura 36. Síntesis del análisis

Asimismo, como se muestra en la síntesis de análisis anterior, se resume que el factor turno no afecta las operaciones de peso de producto final y la variabilidad de tiempo en amarrado, esto según los análisis estadísticos que se realizaron en el proceso de trefilado, por otra parte, se resume que el factor que

afecta significativamente las operaciones de peso de producto final y la variabilidad tiempo y amarrado es el operario.

Se logra de esta manera concluir que, a pesar de la capacitación que reciben y la experiencia que se posee, existe afectación directa del operario, debido a que las operaciones son complejas para realizar por el factor humano, dentro de las variables de velocidad y precisión necesarias en el proceso, por lo tanto, se proponen diferentes ideas de automatización como mejora para lograr evitar estos inconvenientes que afectan considerablemente a BIA Alambres/Bekaert Costa Rica.

De esta manera, según observaciones del proceso, mediciones y análisis de tiempos de amarrado y pesos del producto final en el Departamento de Trefilado, se concluye que los procedimientos del proceso son de alta complejidad para una operación manual, debido a que existen diferentes factores que influyen.

Así, el factor de experiencia y capacitación son insuficientes para aumentar la uniformidad y disminuir el desperdicio, ya que el operario es fuente de variabilidad independientemente de los años y la capacitación que posea en el proceso. Por lo tanto, es necesario eliminar la incidencia del factor humano en los procesos manuales.

Capítulo VI:

Propuestas

En este capítulo se detallan las propuestas de mejora planteadas, se describe su funcionamiento, los costos de inversión, los ahorros generados y los análisis económicos de cada una, por lo tanto, se pretende analizar las propuestas para determinar que sean integrales operativas y económicamente viables, que permitan la reducción del desperdicio y aumento de la uniformidad en el Departamento de Trefilado.

De esta manera, el único criterio de preselección inicial de un proyecto en BIA Alambres/Bekaert Costa Rica es un periodo de recuperación menor o igual a cinco años, por lo tanto, el análisis económico se basa en estos cálculos, con el fin de determinar si una propuesta es económicamente viable para la empresa, posteriormente mediante una matriz de comparaciones, se sugiere a la empresa una de las alternativas propuestas.

Cabe destacar, que una de las principales ventajas para BIA Alambres/Bekaert Costa Rica es su sistema de financiamiento a tasa 0% mediante empresas Bekaert Latinoamérica, donde se financian mutuamente para los proyectos de mejora.

6.1 Análisis operativos y económicos

En cuanto a los análisis operativos y económicos de la propuesta, es preciso mencionar, que para cualquiera de las siguientes propuestas, el costo de

mantenimiento se asume constante a través de los años y equivale a \$5 000 anuales por el coste de las revisiones, mantenimientos preventivos y correctivos que se deben realizar a los equipos, ante esto, se debe contratar un servicio externo, en este caso se seleccionan las labores de Servicios Técnicos del Pacífico, oferta que se detalla en el Anexo 1.

Asimismo, se debe tomar en cuenta que, se asumen ventas anuales constantes a través de los años en análisis. También, se debe tomar en cuenta el costo por material para el fleje, esto debido a que según los *Work Look Models*, un rollo de alambre de 45 kg con un diámetro de 1.36 mm mide aproximadamente 2410 m, la densidad es de 18.67 g/m. Así, para el flejado de cada rollo de alambre de 45 kg se necesita 0.5 m de alambre (9.34 g). Por lo tanto, con un rollo de alambre de 45 kg se pueden flejar aproximadamente 4820 rollos, es decir 107 rollos por kg.

Ante esto, por año se producen 111 167 rollos de 45 kg, por lo cual se necesita aproximadamente 1038 kg, alrededor de \$560 anuales (se estima según los datos del apartado 4.3.4, costo por tonelada \$540), según el costo de producción. No obstante, este gasto se proyecta con un incremento del 2% anual, estimado por el aumento del costo de producción de los últimos 5 años, según datos brindados de manera confidencial por la empresa BIA Alambres/Bekaert Costa Rica.

Asimismo, se toma en cuenta un capital de emergencia para otros gastos de \$2000, los cuales se deben tomar como medida de alguna decisión de importancia que conlleve un costo monetario. Por otra parte, en cuanto a la depreciación de activos a 15 años es un dato otorgado propiamente por parte de BIA Alambres/Bekaert Costa Rica, también se despreja el valor de rescate. Y se consideran los impuestos sobre la renta de 30% en Costa Rica.

De esta manera, mediante el análisis del flujo de recuperación de la inversión, que se presenta posteriormente se evidencia un incremento en el costo de mano de obra del 3.5% anual, esto según datos brindados por Recursos Humanos de BIA Alambres/Bekaert Costa Rica, durante el primer día de visita a la planta (28 de octubre de 2019). Asimismo, la factura eléctrica se asume constante a través de los años, según lo calculado.

De esta forma, en cuanto al rubro de factor humano se prescindirá del puesto de trabajo, al tomar en cuenta que se labora en tres turnos, serán tres puestos en total, esto debido a que el sistema que proponen las tres empresas de automatización realiza las funciones que el factor humano (operador) está realizando tales como pesar, cortar y amarrar el rollo.

De esta manera, al simular mediante los *Work Look Models*, la ocupación actual de 77.9%, pasa a ser 29.0% con la implementación del sistema, es decir, existe un ahorro de 48.9% en la ocupación total del operario, así, el 29.0%

restante se le asigna al operario ocioso descrito en el apartado 4.3.3, como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 4. Nueva distribución de la ocupación total

		Máquina				
		TREF09	TREF10	TREF11	TREF12	TREF03
Ocupación total del operador por máquina	77.9% Pasa a ser: 29.0%	30.2%	30.4%	31.6%	30%	
Ocupación del operario en del departamento	29.0%	60.6%		61.6%		
		89.6%		90.6%		

De esta manera, un operario es capaz de tener bajo su responsabilidad las tres máquinas que operan simultáneamente en el departamento, por lo tanto, se prescinde de un puesto por turno. Esto es el resultado de automatizar los procesos de corte, pesado y amarrado del rollo de alambre.

6.1.1 Propuesta 1.

Flejadora Saizar, es una compañía española encargada de diseñar y fabricar soluciones al tener en cuenta las necesidades del cliente, especializada en proveer todo tipo de soluciones de flejado para la industria del metal, la cual propone como mejora el siguiente sistema de automatización que se describe a continuación:

Se introducen los datos necesarios mediante el PLC encargado al PLC (Programador Lógico Controlable) de la línea, o bien, introducir la misma manualmente en el panel del sistema, para que la misma pueda realizar cada uno de los flejados. De esta forma, el proceso inicia, mientras la bobina de alambre está siendo formada el sistema de pesaje se elevará para separar la bobina de alambre de los rodillos de la propia mesa y de este modo, cuando la bobina de alambre llegue al peso determinado por el sistema, el encargado (PLC) mandará una señal para que se detenga la alimentación del alambre y se proceda el corte del alambre, para luego ser trasladado mediante los rodillos al sistema de flejado.

Una vez la bobina de alambre haya sido flejada completamente y la flejadora esté en su posición inicial, la bobina de alambre será desplazada sobre los rodillos hacia el final de la línea donde se almacenarán cinco rollos, el operario colocará estos rollos en un esqueleto en un intervalo de 15 minutos.

Por otra parte, según lo descrito anteriormente, para la propuesta de mejora que Saizar plantea se requiere una inversión total de \$248 713.00, según el Anexo 2 que detalla la oferta realizada por esta empresa, al asumir para 24 de febrero de 2019 que un Euro equivale a 1,13 Dólares americanos, por lo tanto, se copila la información económica de la inversión en el siguiente cuadro:

Tabla 5. Inversión Saizar

Rubro	Inversión (\$)
Sistema automatización Saizar	182495,00
Repuestos	5198,00
Supervisión del montaje, capacitación, puesta en marcha y formación de la línea ofertada	11187,00
Puesta en planta DDP Orotina- Alajuela- Costa Rica (todo incluido)	38646,00
Barrera fotoeléctrico para zona de evacuación de bobinas	4407,00
Sistema automático para corte de alambre	6780,00
Inversión total	248713,00

Asimismo, esta inversión tiene puntos factibles para la organización; ya que trae consigo estos ahorros que se presentan a continuación.

Tabla 6. Ahorros generados Saizar

Año	Mano de obra	Desperdicio por eficiencia propuesta	Desperdicio total
1	36558,00	107530,52	109725,02
2	37837,53	109681,13	111919,52
3	39161,84	111874,75	114157,91
4	40532,51	114112,25	116441,07
5	41951,15	116394,49	118769,89

Como se detalló en el punto anterior el costo de mano de obra aumenta 3.5% anual mientras que el costo de costo de producción aumenta 2% anual, que se traduce al desperdicio, asimismo, es importante mencionar que la empresa Saizar asegura 98% de eficiencia. Por lo tanto, se reduce el desperdicio en esta cantidad.

Así, al asumir el costo eléctrico calculado en el Apéndice 15 y teniendo en cuenta los datos otorgados por Saizar en relación con la propuesta de mejora que ofrecen se realiza el siguiente flujo de recuperación de la inversión.

Tabla 7. Flujo de recuperación de inversión Saizar

Flujo de recuperación de Inversión SAIZAR (\$)						
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión total	248713					
Ahorro generado	0.00	144088.52	147518.66	151036.60	154644.76	158345.64
Factura eléctrica	0.00	2777.41	2777.41	2777.41	2777.41	2777.41
Costo por Mantenimiento	0.00	5000.00	5000.00	5000.00	5000.00	5000.00
Costo por material para fleje	0.00	560.00	571.20	582.62	594.28	606.16
Otros gastos	0.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00
Costos totales	0.00	10337.41	10348.61	10360.03	10371.69	10383.57
Utilidades brutas	0.00	133751.11	137170.05	140676.56	144273.07	147962.07
Depreciación de activos a 15 años	0.00	16580.87	16580.87	16580.87	16580.87	16580.87
Impuesto sobre la renta (30%)	0.00	35151.07	36176.75	37228.71	38307.66	39414.36
Utilidades netas	0.00	98600.04	100993.29	103447.85	105965.41	108547.71
Flujo de recuperación de Inversión	-248713	-150112.96	-49119.67	54328.19	160293.59	268841.30
Período de recuperación: 2 años, 7 meses						

De esta manera, mediante el análisis del Flujo de recuperación de la inversión en relación con la propuesta que Saizar propone, se concluye que el periodo de recuperación es de dos años con siete meses. Asimismo, según la

rentabilidad de proyectos de BIA Alambres/Bekaert Costa Rica la cual señala que debe ser menor a cinco años se puede considerar que el proyecto es viable.

6.1.2 Propuesta 2.

Servicios Técnicos del Pacífico es una compañía costarricense líder en fabricación, instalación, asesoramiento, y especializada en proveer soluciones automatizadas para diferentes industrias, la cual propone como mejora el siguiente sistema de automatización que se detalla a continuación:

La información con respecto de lo que se va a producir en la línea se deberá introducir, mediante programaciones al PLC del sistema, una vez esta la información correcta, se procede a realizar el rollo de alambre de 45 kg. Por lo tanto, mientras la bobina de alambre está siendo formada el sistema de pesaje está controlando el peso de la bobina de alambre, una vez esté el peso ideal según lo programado en el PLC en relación con la orden de producción, el sistema enviará una señal para que se detenga la alimentación de la línea y se proceda el corte del alambre, para luego ser trasladado mediante los rodillos eléctricos al sistema de flejado.

Una vez la bobina de alambre haya sido flejada completamente, la flejadora volverá a su posición inicial. Posteriormente, la bobina de alambre será desplazada sobre los rodillos hacia el final de la línea donde caerá mediante un

sistema de gravedad a una bodega de almacenamiento (esqueleto), que será evacuada por un montacarga.

Según lo descrito anteriormente, para la propuesta de mejora que Servicios Técnicos del Pacífico plantea se requiere una inversión total de \$237 775.00, como se observa en el Anexo 3, se resume en el siguiente cuadro:

Tabla 8. Inversión Servicios Técnicos del Pacífico

Rubro	Inversión (\$)
Sistema de fleje y peso	192600,00
Repuestos	8350,00
Puesta en planta	1250,00
Barrera de seguridad	9475,00
Sistema de corte	14600,00
Capacitación de uso y puesta en marcha	6700,00
Bahía de almacenaje	4800,00
Inversión total	237775,00

Asimismo, esta inversión tiene puntos factibles para la organización ya que trae consigo estos ahorros que se presentan a continuación:

Tabla 9. Ahorros generados Servicios Técnicos del Pacífico

Año	Mano de obra	Desperdicio por eficiencia propuesta	Desperdicio total
1	36558,00	108627,77	109725,02
2	37837,53	110800,33	111919,52
3	39161,84	113016,33	114157,91
4	40532,51	115276,66	116441,07
5	41951,15	117582,19	118769,89

Como se detalló en el punto anterior el costo de mano de obra aumenta 3.5% anual mientras que el costo de costo de producción aumenta 2% anual, que se traduce al desperdicio, asimismo, es importante mencionar que la empresa Servicios Técnicos del Pacífico asegura 100% de eficiencia. Así, se elimina totalmente el desperdicio. Sin embargo, los autores deciden asumir una eficiencia del 99%, por lo tanto, los cálculos son con base en este porcentaje.

Así, al asumir el costo eléctrico calculado en el Apéndice 16 y teniendo en cuenta los datos otorgados por Servicios Técnicos del Pacífico en relación con la propuesta de mejora que ofrecen se realiza el siguiente Flujo de recuperación de la inversión, mostrado a continuación:

Tabla 10. Flujo de recuperación de inversión Servicios Técnicos del Pacífico

Flujo de recuperación de inversión SERVICIOS TÉCNICOS DEL PACÍFICO (\$)						
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión total	237775					
Ahorro generado	0.00	145185.77	148637.86	152178.18	155809.17	159533.34
Factura eléctrica	0.00	2483.00	2483.00	2483.00	2483.00	2483.00
Costo por Mantenimiento	0.00	5000.00	5000.00	5000.00	5000.00	5000.00
Costo por material para fleje	0.00	560.00	571.20	582.62	594.28	606.16
Otros gastos	0.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00
Costos totales	0.00	10043.00	10054.20	10065.62	10077.28	10089.16
Utilidades brutas	0.00	135142.77	138583.66	142112.55	145731.89	149444.18
Depreciación de activos a 15 años	0.00	15851.67	15851.67	15851.67	15851.67	15851.67
Impuesto sobre la renta (30%)	0.00	35787.33	36819.60	37878.27	38964.07	40077.75
Utilidades netas	0.00	99355.44	101764.06	104234.29	106767.82	109366.42
Flujo de recuperación de inversión	-237775	-138419.56	-36655.50	67578.78	174346.61	283713.03
Período de recuperación: 2 años, 5 meses						

De esta manera, mediante el análisis del Flujo de recuperación de la inversión en relación con la propuesta que Servicios Técnicos de Pacífico propone, se concluye que el periodo de recuperación es de dos años con cinco meses. Asimismo, según la rentabilidad de proyectos de BIA Alambres/Bekaert Costa Rica la cual señala que debe ser menor de cinco años se puede considerar que el proyecto es viable.

6.1.3 Propuesta 3.

FICMAMS, es una compañía ubicada en San Sebastián, Costa Rica con una amplia experiencia profesional en diseño, construcción, instalación e implementación de proyectos industriales, especializada en proveer soluciones automatizadas para la industria del metal, la cual propone como mejora el siguiente sistema de automatización que se detalla a continuación:

El encargado deberá programar el sistema con la cantidad de metros que se van a producir en relación con lo coordinado en el programa de producción, una vez la bobina de alambre está siendo formada, el sistema de medición de longitud está controlando la producción, una vez que esté la longitud ideal al rollo de alambre que se programó, el sistema envía una señal para que se detenga la alimentación de la línea y se proceda el corte del alambre, para luego ser trasladado al sistema de flejado, posteriormente se almacenará en una bahía para rollos.

Según lo descrito anteriormente, para la propuesta de mejora que Ficmams plantea se requiere una inversión total de \$145 241.00, que se detalla en Anexo 4 y se resume en el siguiente cuadro:

Tabla 11. Inversión Ficmams

Rubro	Inversión (\$)
Bobinadora de alambre con sistema de corte	77356,00
Repuestos	14035,00
Supervisión del montaje y capacitación	8500,00
Sistema de seguridad perimetral	12500,00
Bahía de almacenaje	10350,00
Sistema de amarrado	22500,00
Inversión total	145241,00

Asimismo, esta inversión tiene puntos factibles para la organización, ya que trae consigo estos ahorros que se presentan a continuación:

Tabla 12. Ahorros generados Ficmams

Año	Mano de obra	Desperdicio por eficiencia propuesta	Desperdicio total
1	36558,00	82293,77	109725,02
2	37837,53	83939,64	111919,52
3	39161,84	85618,43	114157,91
4	40532,51	87330,80	116441,07
5	41951,15	89077,42	118769,89

Como se detalló en el punto anterior el costo de mano de obra aumenta 3.5% anual, mientras que el costo de costo de producción aumenta 2% anual, que se traduce al desperdicio, asimismo, es importante mencionar que la empresa FICMAMS asegura 75% de eficiencia, pues, estiman que para evitar un rollo con un peso menor al establecido, se debe estimar una longitud equivalente al 10% del peso total del rollo (450 gramos) en exceso. Por lo tanto, se reduce el desperdicio en esta cantidad.

Así, al asumir el costo eléctrico calculado en el Apéndice 17 y teniendo en cuenta los datos otorgados por FICMAMS en relación con la propuesta de mejora que ofrecen se realiza el siguiente Flujo de recuperación de la inversión.

Tabla 13. Flujo de recuperación de inversión Ficmams

Flujo de recuperación de inversión FICMAMS (\$)						
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión total	145241,0					
Ahorro generado	0,00	118851,77	121777,17	124780,28	127863,31	131028,56
Factura eléctrica	0,00	4626,00	4626,00	4626,00	4626,00	4626,00
Costo por Mantenimiento	0,00	5000,00	5000,00	5000,00	5000,00	5000,00
Costo por material para fleje	0,00	560,00	571,20	582,62	594,28	606,16
Otros gastos	0,00	2000,00	2000,00	2000,00	2000,00	2000,00
Costos totales	0,00	12186,00	12197,20	12208,62	12220,28	12232,16
Utilidades brutas	0,00	106665,77	109579,9	112571,65	115643,03	118796,40
Depreciación de activos a 15 años	0,00	9682,73	9682,73	9682,73	9682,73	9682,73
Impuesto sobre la renta (30%)	0,00	34734,55	35608,81	36506,32	37427,73	38373,74
Utilidades netas	0,00	62815,15	64855,09	66949,27	69099,24	71306,59
Flujo de recuperación de inversión	-145241,0	-82425,85	-17570,76	49378,51	118477,75	189784,34
Período de recuperación: 2 años, 5 meses						

De esta manera, mediante el análisis del Flujo de recuperación de la inversión en relación con la propuesta que FICMAMS propone se concluye que el periodo de recuperación es de dos años con cinco meses. Asimismo, según la rentabilidad de proyectos de BIA Alambres/Bekaert Costa Rica la cual señala que

debe ser menor a cinco años se puede considerar que el proyecto es viable.

6.2 Comparación de propuestas

Anteriormente se generan tres alternativas operativas y económicamente viables, debido a que todas cumplen satisfactoriamente con el periodo de recuperación de la inversión establecido para la aprobación de proyectos por BIA Alambres/Bekaert Costa Rica.

Asimismo, las tres reducen en diversos niveles (ver eficiencia en la tabla 14) las problemáticas de desperdicio y variabilidad diagnosticadas anteriormente, al representar un importante ahorro, además, todas las propuestas eliminan un puesto de operador. De esta manera, la comparación entre las propuestas se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 14. Comparación de las propuestas

Comparación de las propuestas			
	Empresa		
Rubro	Saizar	Servicios Técnicos del Pacífico	Ficmams
Inversión	\$248 713	\$237 775	\$145 241
Periodo de recuperación estimado (meses)	31	29	29
Garantía (meses)	12	24	6
Localización de oficinas	España	Costa Rica	Costa Rica
Eficiencia esperada	98%	100%	75%
Consumo energético de la propuesta (kW)	9	8	15
Oferta incluye:			
Proceso de corte:	✓	✓	✓
Proceso de amarrado:	✓	✓	✓
Proceso de medición (pesaje o longitud):	✓	✓	✓
Sistema de seguridad perimetral	✓	✓	✓
Capacitación	✓	✓	✓
Puesta en marcha	✓	✓	✓
Repuestos	✓	✓	✓

6.3 Matriz de comparaciones

En relación con el punto anterior, se elabora una matriz de comparaciones que consiste en una evaluación subjetiva por parte de los autores que permite la recomendación de una de las alternativas planteadas anteriormente, asignándose una ponderación de un 45% de la calificación final al periodo de recuperación de inversión de la propuesta.

Asimismo, se asigna un 20% a la experiencia de la compañía en sistemas de flejado, también, un 10% para la experiencia que tiene la compañía en trabajos relacionados en la industria del acero, un 10% de la cercanía de la empresa que oferta a BIA Alambres/Bekaert Costa Rica.

También, un 10% de la evaluación final se debe a las consideraciones de la garantía ofertada para el sistema, por último, en un 5% se evalúa la disponibilidad del servicio, relacionado con las facilidades de comunicación, rapidez de trámites y capacidad de negociación entre las organizaciones.

Tabla 15. Matriz de comparaciones

Matriz de comparaciones							
Propuesta	Periodo de recuperación	Experiencia en sistemas de flejado	Experiencia en industria de acero	Cercanía a BIA Alambres	Garantía ofertada	Disponibilidad en el servicio	Evaluación
Ponderación	45.00	20.00	10.00	10.00	10.00	5.00	
Saizar	4	5	5	3	4	3	83,00
Servicios Técnicos del Pacífico	5	4	4	5	5	5	94,00
Ficmams	5	2	4	5	2	4	79,00

Escala:	Excelente	Bueno	Regular	Malo	Deficiente
Puntuación:	5	4	3	2	1

Así, se evalúa mediante la escala anterior, de 1 a 5, 1 es deficiente y 5, muy bueno, es determinante la lejanía de las oficinas de Saizar con respecto de las

otras propuestas, y la disponibilidad del servicio que se brinda por parte de esta empresa con respecto de las otras consideradas, así como llega a una calificación de 83,0 para la propuesta de Saizar, 94,0 para la de Servicios Técnicos del Pacífico y una del 79,0 para Ficmams, por lo tanto, los autores sugieren que se tome la oferta brindada por Servicios Técnicos del Pacífico. Sin embargo, esta decisión será producto de un análisis posterior por parte de BIA Alambres/Bekaert Costa Rica.

De esta manera, se concluye que las propuestas descritas y analizadas anteriormente son soluciones operativas y económicamente viables para BIA Alambres/Bekaert Costa Rica, por lo tanto, a continuación, se detalla la oportunidad de mejora y la solución que brinda cada alternativa.

Ante esto, cabe destacar, que la propuesta finalmente sugerida por parte de los autores brinda solución ante las contrariedades encontradas en el análisis, al lograr de esta manera, la reducción del desperdicio y aumento de la uniformidad de los procesos, reducir un impacto monetario a futuro para BIA Alambres/Bekaert Costa Rica.

De igual forma, es importante recalcar que no se plantea el despido de los operarios, sino, la eliminación de estos puestos en la empresa, por lo tanto, los operarios podrán ser reubicados en otras funciones dentro de la compañía, incluso con ascensos.

Capítulo VII:

Conclusiones y

recomendaciones

7.1 Conclusiones

De acuerdo con diferentes análisis que se desarrollan en el Departamento de Trefilado, se evidencia el factor de suciedad en las superficies y las máquinas del área, lo que provoca incomodidad o comezón en la piel de los operarios durante sus labores.

Asimismo, de acuerdo con los *Work Look Models*, se determina la subutilización de la capacidad instalada en el departamento de trefilado, refleja que solamente se utiliza un 60% de la capacidad del área, al existir una subutilización de producción de 27885 kg diarios.

Ante esto, actualmente en la maquina nueve, la ocupación del operario excede el doble de ocupación de cualquier otra máquina del departamento, asimismo, se refleja que existe un tiempo considerable enfocado en roturas que se dan en el proceso lo que genera tiempos improductivos de hasta 10,57 minutos en el proceso.

Se concluye que existen tiempos ociosos considerables en la ocupación del operario, esto mediante un análisis en los *Work Look Models* que se desarrollan en el Departamento de Trefilado como herramienta interna de control por parte de BIA Alambre/Bekaert, Costa Rica.

Por otra parte, se determina que a pesar de que el operador cuenta con la capacitación óptima para comprender el correcto procedimiento por ejecutar, el tiempo de amarrado en promedio ronda 1,376 minutos, mientras que el peso promedio de los rollos es de 46,828 kg incurre así, en un costo de \$ 0,987 por rollo y genera pérdidas anuales que se extienden a \$109 725,02.

Asimismo, diversas causas influyen en la uniformidad y desperdicios entre ellas la deficiente distribución de cargas de trabajo entre los operarios, la dificultad del proceso productivo para el operario al generar un 60,1% de tiempo ocioso en los dos operarios lo que representa en salarios anuales \$7323,8.

Ante esto, de acuerdo con diferentes análisis estadísticos que se desarrollan en el Departamento de Trefilado se concluye que, el operario afecta significativamente el peso del producto final y el tiempo de amarrado del rollo, esto como resultado de que existe carencia de procesos automatizados y las operaciones eficientes son complejas para ser realizadas manualmente, y genera inconvenientes tales como variabilidad en los procesos y desperdicio.

De esta manera, con los resultados obtenidos en los diferentes análisis y mediciones establecidas se considera que se debe prescindir de procedimientos manuales con el fin de disminuir la incidencia humana en los procesos de corte, pesado y amarrado de los rollos, por lo que se plantean tres propuestas para la automatización de estos procesos, entre las cuales se hace la selección de la

empresa de Servicios Técnicos del Pacífico, la cual garantiza una reducción de 100% en el desperdicio y variabilidad de los procesos.

Así, se generan propuestas en las cuales la recuperación es menor a los cinco años que plantea la empresa como indicador de viabilidad económica, por lo que se plantean propuestas que permiten un ahorro anual de hasta \$145 185,77 a partir del primer año.

7.2 Recomendaciones

- Se recomienda considerar un sistema que provea una solución para la reducción del desperdicio y aumento de la uniformidad. Se aconseja contemplar la oferta de Servicios Técnicos del Pacífico.
- De esta manera, se sugiere que lleven el sistema de automatización a la práctica, puesto que dicho proyecto, desde el punto de vista operativo y económico es viable.
- Se aconseja el mejoramiento de los procedimientos estándares de operación y responsabilidades presentes en el proceso, ya que las operaciones se realizan según la experiencia del operario, dichas mejoras deben ser enfocadas en capacitación del operario, comunicación y procesos.
- Se recomienda elaborar planes correctivos para la reducción de roturas en el alambre durante el proceso de trefilado.
- Se sugiere desarrollar un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para los equipos del departamento, asimismo, una estricta supervisión de estos ya que Trefilado es el área más significativa de la empresa, por ende, deben estar los indicadores más estrictos de la planta.
- Se recomienda elaborar planes de acción para la herramienta Lean 5s, con el objetivo de implementar una meta a mantener en el tiempo en cuanto a este método.

- Se recomienda una futura consideración para la compra de máquinas de producción de trefilado que permitan mejorar la eficiencia y velocidad, que aprovechen la capacidad de los sistemas de formación de los rollos.
- Se recomienda elaborar controles estadísticos en el proceso, con el fin de identificar, controlar y mejorar las variables críticas que presenta el departamento de trefilado, esto mediante la creación de nuevos indicadores que permita la medición y control de un proceso automatizado.
- Se sugiere elaborar diagramas que permita la visualización de contrariedades que se presentan para el continuo control y mejora de los procesos de Trefilado.
- Se recomienda instruir a los operadores en mantenimiento autónomo, con el fin de reducir el deterioro de los equipos y averías, lo que logra a su vez disminuir costos de operación
- Con el fin de brindar un mejor desempeño en las labores de los operarios, de una manera sana y competitiva se recomienda elaborar una matriz de competencia, que sea de ayuda para el cumplimiento de objetivos.
- Se sugiere, dar un seguimiento y estudio a los equipos de protección personal, ya que en muchas ocasiones en especial los guantes de los operarios y mascarillas que utilizan los operadores parecen ser inapropiadas.
- La empresa debe indagar el alto índice de rotación de personal (50%) presente en el Departamento de Trefilado, con el fin de brindar soluciones que permitan la continuidad del personal.

BIBLIOGRAFÍA

Asamblea Legislativa (1994). Código de Trabajo. Editorial Porvenir, San José.

Asociación, Española de Normalización y Certificación (AENOR), and Consulting Renault. Lean certification: certificación de un sistema de gestión lean, AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación, 2012.

Benedicto, M. S., Benito, F. E. C., Vilorio, G., & Díaz-Prieto, Á. A. (2007). Análisis de Inversiones. Española, M. R. A. (2003). *Diccionario de la Real Academia Española*. Espasa-Calpe.

Beunens P. (1994). Tecnología del alambre. Bekaert, Bélgica.

BIA Alambres/Bekaert. (2014). Misión, Visión y Código de Conducta. [Sitio web]. Recuperado el 06 de febrero del 2019 desde <https://prodac.bekaert.com/es-MX/la-empresa/prodac-en-resumen/mision-vision-y-codigo-de-conducta>

Castillo, L. B., & Pereda, J. (2013). *Mejora del proceso de galvanizado en una empresa manufacturera de alambres de acero aplicando la metodología Lean Six Sigma* (Doctoral dissertation), Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Mención: Ingeniería Industrial). (pp. 31-32).

Cerón, M. C., & Cerâon, M. C. (2006). Metodologías de la investigación social. LOM ediciones.

Díaz, F. (2012). Aceros, estructura y tratamientos térmicos (pp. 94-95). Cuatitlán.

Elices, M. (2001). *Tensiones residuales en alambres de acero trefilado*. Madrid.

Gálvez, F., Atienza, J. M., Ruiz, J., & Elices, M. (2001). Influencia de la velocidad de deformación en el comportamiento mecánico de alambres de acero trefilados. In *Anales de Mecánica de la Fractura* (Vol. 18, p. 185).

García, E. (1999). *Automatización de procesos industriales*. Valencia: Universitat Politècnica de Valencia.

Gillet, F. (2014). La caja de herramientas: control de calidad, Grupo Editorial Patria. ProQuest Ebook Central, recuperado el 07 de enero del 2019, desde <https://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioutnsp/detail.action?docID=32276> 92.

González, B., Matos, J. C., & Toribio, J. (2009). Relación microestructura-propiedades mecánicas en acero perlítico progresivamente trefilado. In *Anales de Mecánica de la Fractura*(Vol. 26, pp. 142-147).

Gutiérrez, H. (2014). *Calidad y productividad* (4a. ed.), McGraw-Hill Interamericana. ProQuest Ebook Central, recuperado el 07 de enero del 2019, desde <https://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioutnsp/detail.action?docID=32177> 48.

Hernández, J & Vizán, M. (2013). *Lean manufacturing. Concepto, técnicas e implantación*. Madrid: EOI Escuela de Organización Industrial.

Hernández, M., & Isabel, M. (2004). *Aplicación tecnológica de un residuo de la industria del acero en la eliminación de metales contaminantes*. Universidad Complutense de Madrid. (pp. 2).

Historia. (2019). Recuperado el 28 de febrero del 2019 desde <https://www.bekaert.com/es-MX/nuestra-empresa/historia-1>

Hodson WK. *Manual del Ingeniero Industrial*, Mex.: Mc Graw Hill, 2001, (pp. 15).

Instituto Costarricense de Electricidad. (2018). Recuperado el 24 de octubre del 2018, desde <https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/669c79e9-84c9-4682-b63b-136238ebc7e2/Tarifas+actuales.pdf?MOD=AJPERES>

Lefcovich, M. (2009). Kaizen detección, prevención y eliminación de desperdicios, una estrategia para la reducción de costos, El Cid Editor. ProQuest Ebook Central, recuperado el 07 de enero del 2019, desde <http://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioutnsp/detail.action?docID=3179547>.

Lladser, Manuel. Variables aleatorias y simulación estocástica, Editorial ebooks Patagonia - J.C. Sáez Editor, 2009. ProQuest Ebook Central, <http://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioutnsp/detail.action?docID=3196680>.

Lorenzo, M., Kharin, V., & Toribio, J. (2009). Influencia de la longitud de transición de la hilera de trefilado sobre la fragilización por hidrógeno de aceros de pretensado. In *Anales de Mecánica de la Fractura* (Vol. 26, pp. 312-318).

Maldonado, J. (1996). *Aceros y sus aplicaciones* (pp. 1-2). San Nicolás de los Garza.

Manene, L. M. (2011). Los diagramas de flujo: su definición, objetivo, ventajas, elaboración, fases, reglas y ejemplos de aplicaciones. Recuperado el 09 de enero del 2019 desde <http://www.luismiguelmanene.com/2011/07/28/los-diagramas-de-flujo-su-definicionobjetivo-ventajas-elaboracion-fases-reglas-y-ejemplos-de-aplicaciones/>

Namakforoosh, N. (2005). Diseño de la investigación cuantitativa. En Metodología de la investigación (pp. 89). México: Limusa.

Ortiz, T. (2018). Sistema Kanban en la línea de fabricación de transformadores eléctricos de la empresa Ecuatran S.A.". Ambato, p.140.

Ovalle, A. M., Ocampo, O. L., & Acevedo, M. T. (2013). Identificación de brechas tecnológicas en automatización industrial de las empresas del sector metalmecánico de Caldas, Colombia. Ingeniería y Competitividad, p. 180.

Plata, J. (2009) Investigación cualitativa y cuantitativa: una revisión del qué y el cómo para acumular conocimiento sobre lo social, Red Universitas Humanística, 2009. ProQuest Ebook Central. Recuperado el 18 de octubre del 2018 desde <http://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioutnsp/detail.action?docID=3179837>

Ponsa, P., & Granollers, A. (2010). Diseño y automatización industrial. *Diseño Industrial*, 2-30.

Rajadell, C. & García, J. (2010). Lean Manufacturing, la evidencia de una necesidad, Ediciones Díaz de Santos. ProQuest Ebook Central, recuperado

el 07 de enero del 2019, desde
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioutnsp/detail.action?docID=319659>
9.

Senderovich, I. (2012). Análisis e interpretación de estados contables: índices económicos y financieros, estudio de casos (p. 78). Buenos Aires.

Rodríguez, Mesa, Gonzalo. Los criterios de decisión para la evaluación de inversiones: algunas reflexiones. Economía y Desarrollo. V.131 n.2. 2002, Editorial Universitaria, 2007. ProQuest Ebook Central, <http://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioutnsp/detail.action?docID=317510>
8. Created from biblioutnsp on 2018-10-21 20:02:36.

Rodríguez, R. T., Martínez, V., Espinosa, N., Reyes, N., & Reyes, G. (1999). Control de calidad.

Rojas, E. L., Celentano, D. J., Artigas, A. A., & Monsalve, A. G. (2008). Simulación experimental y numérica de un proceso de trefilado húmedo de un alambre de acero al carbono. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 16(1), 188-194.

Romero, D. (2009). Propuesta de automatización de los procesos de verificación y despachos en una empresa panificadora. Bogotá, p.100.

Sarmiento, J. (2001). Evaluación de proyectos. *Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.*

SIPOC. (2005). Recuperado el 07 de enero del 2019 desde <https://genesisyhwh.files.wordpress.com/2011/06/05-sipoc.pdf>

Sociedad Latinoamericana para la Calidad. (2000). [Ebook] (p. 1). Recuperado el 07 de febrero del 2019 desde <http://www.umc.edu.ve/pdf/calidad/gestor/Cinco%20Por%20Que.pdf>

Olea, F. (2012). Técnicas estadísticas aplicadas en nutrición y salud. Recuperado el 14 de enero del 2019 desde <https://www.ugr.es/~fmocan/MATERIALES%20DOCTORADO/ANOVA2016.pdf>

Suaréz. Ma. (2007). El Kaizen: La filosofía de mejora continua e innovación incremental detrás de la administración por calidad Total. México: Panorama editorial S.A de C.V.

Tadeo, J. & Bustamante, J. (2007). Automatización del proceso del café en la comunidad de Tlacuilotepec Puebla. Puebla, p.121.

Vallejo, B., & Vallejo, S. (2006). Aspectos generales de la automatización industrial del sector farmacéutico. *Ciencias Químicas Farmacéuticas*, (Vol 35.), 15-63. Recuperado el 24 de octubre del 2018, desde <http://www.scielo.org.co/pdf/rccqf/v35n1/v35n1a03.pdf>

APÉNDICES

APÉNDICE 1. CUADRO DE MEDICIONES ALEATORIAS

Fecha	Turno	Operario	Tiempo de amarrado por rollo (min)	Peso del producto final (kg)
28/10/18	2	C		
28/10/18	2	C		
28/10/18	2	C		
28/10/18	2	C		
28/10/18	2	C		
28/10/18	2	C		
28/10/18	2	C		
28/10/18	2	C		
28/10/18	2	C		
28/10/18	2	C		
28/10/18	2	C		
28/10/18	2	C		
28/10/18	2	C		
28/10/18	2	C		
03/11/18	1	B		

03/11/18	1	B		
03/11/18	1	B		
03/11/18	1	B		
03/11/18	1	B		
03/11/18	1	B		
03/11/18	1	B		
03/11/18	1	B		
03/11/18	1	B		
03/11/18	1	B		
03/11/18	1	B		
03/11/18	1	B		
03/11/18	1	B		
03/11/18	1	B		
04/11/18	2	A		
04/11/18	2	A		
04/11/18	2	A		
04/11/18	2	A		
04/11/18	2	A		
04/11/18	2	A		
04/11/18	2	A		
04/11/18	2	A		
04/11/18	2	A		
04/11/18	2	A		

04/11/18	2	A		
04/11/18	2	A		
04/11/18	2	A		
10/11/18	1	A		
10/11/18	1	A		
10/11/18	1	A		
10/11/18	1	A		
10/11/18	1	A		
10/11/18	1	A		
10/11/18	1	A		
10/11/18	1	A		
10/11/18	1	A		
10/11/18	1	A		
10/11/18	1	A		
10/11/18	1	A		
10/11/18	1	A		
10/11/18	1	A		
10/11/18	1	A		
11/11/18	2	B		
11/11/18	2	B		
11/11/18	2	B		
11/11/18	2	B		
11/11/18	2	B		
11/11/18	2	B		

11/11/18	2	B		
11/11/18	2	B		
11/11/18	2	B		
11/11/18	2	B		
11/11/18	2	B		
11/11/18	2	B		
11/11/18	2	B		
18/11/18	1	C		
18/11/18	1	C		
18/11/18	1	C		
18/11/18	1	C		
18/11/18	1	C		
18/11/18	1	C		
18/11/18	1	C		
18/11/18	1	C		
18/11/18	1	C		
18/11/18	1	C		
18/11/18	1	C		
18/11/18	1	C		
18/11/18	1	C		
18/11/18	1	C		

			uniformidad y la reducción del desperdicio.	
2. Evaluar las oportunidades de mejora encontradas, mediante análisis estadísticos y otras herramientas, para que se obtenga el incremento en la uniformidad y la reducción del desperdicio.	Operario Turno de trabajo	Persona que tiene un oficio de tipo manual. Organización del trabajo en equipo según la cual los trabajadores ocupan sucesivamente los mismos puestos, en diversos horarios.	Los análisis estadísticos permiten obtener conclusiones sobre datos tomados, de esta manera, se analiza la afectación del operario y del turno en el proceso de	Técnica 5 por que Cálculos estadísticos considerando el personal, máquinas y turnos de trabajo. Análisis de

			amarrado de rollos.	varianza.
3. Plantear propuestas de sistemas operativos a partir de un análisis de viabilidad económica que permitan la reducción de merma de alambre producido, y aumente la rentabilidad.	Propuestas Viabilidad económica	Proyecto o idea que se presenta para una persona u organización lo acepte. Es el estudio que intenta predecir el eventual éxito o fracaso de un proyecto, desde un punto de vista económico.	Consiste en la presentación de propuestas viables, con su respectivo análisis económico.	Análisis económico de inversión. Periodo de recuperación

APÉNDICE 3. DATOS DE LOS OPERARIOS SOMETIDOS A MEDICIONES

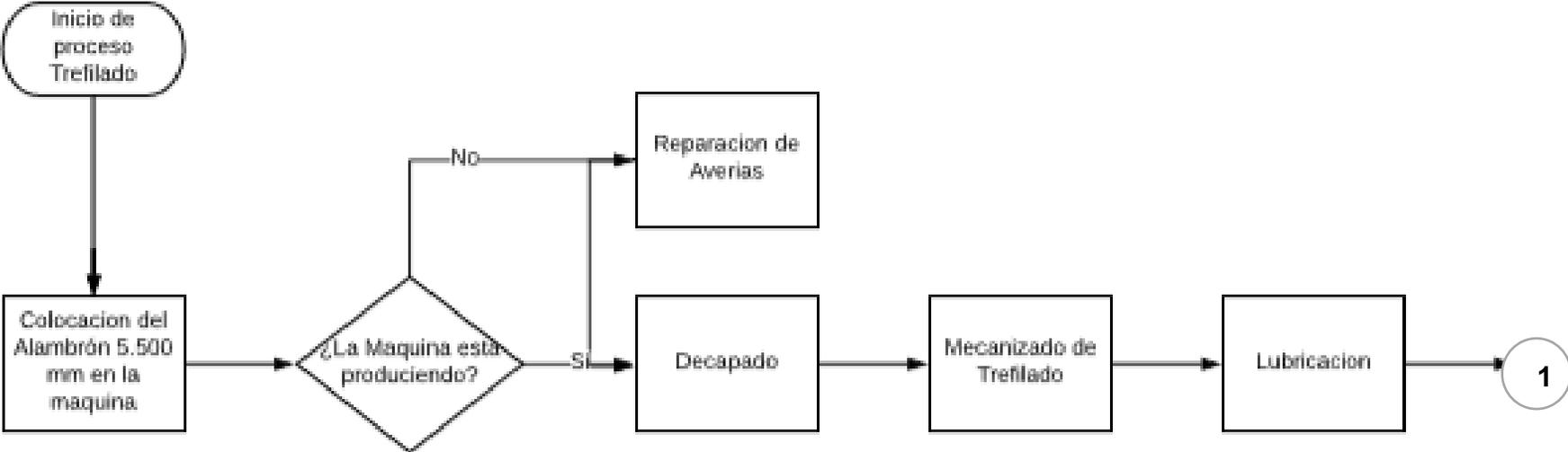
Operario	Edad	Experiencia laboral (años)	Experiencia en trefilado (años)
A	39	18	17
B	41	22	9
C	23	3	0.42

APÉNDICE 4. DIAGRAMA SIPOC

Diagrama SIPOC				
Proveedores	Entradas	Proceso	Salidas	Clientes
<ul style="list-style-type: none"> - ArcelorMittal México. - ArcelorMittal Brasil. - Jiangsu Shagan Group CO., LTD. 	<ul style="list-style-type: none"> - Bobinas de Alambión de 5.5 mm de diámetro. Pesos aproximados entre 4 y 5 toneladas. - Hileras para acero. - Vermiculita como lubricante. 	<ul style="list-style-type: none"> - Decapado (eliminar la calamina del alambre). - Lubricación - Mecanizado en frío (trefilado). - Formación de rollos de alambre, según el peso que se necesite. <p>Todo el proceso es realizado por</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Alambre trefilado a 1.36 mm, en diversas presentaciones, 45 kg (rollos) o entre 400 y 500 kg (esqueletos). 	<ul style="list-style-type: none"> - Recocido: para los rollos de 45 kg. Posteriormente, se vende a empresas como Terramix, Acero Abonos Agro (AAA), y ferreterías de todo el país. - Galvanizado: para los esqueletos

		máquinas de trefilado, apoyado por un operador.		de alambre trefilado.
--	--	---	--	-----------------------

APÉNDICE 5. DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS DE TREFILADO



1



APÉNDICE 6. CURSOGRAMA ANALÍTICO DEL PROCESO

Diagrama de Proceso
Cursograma

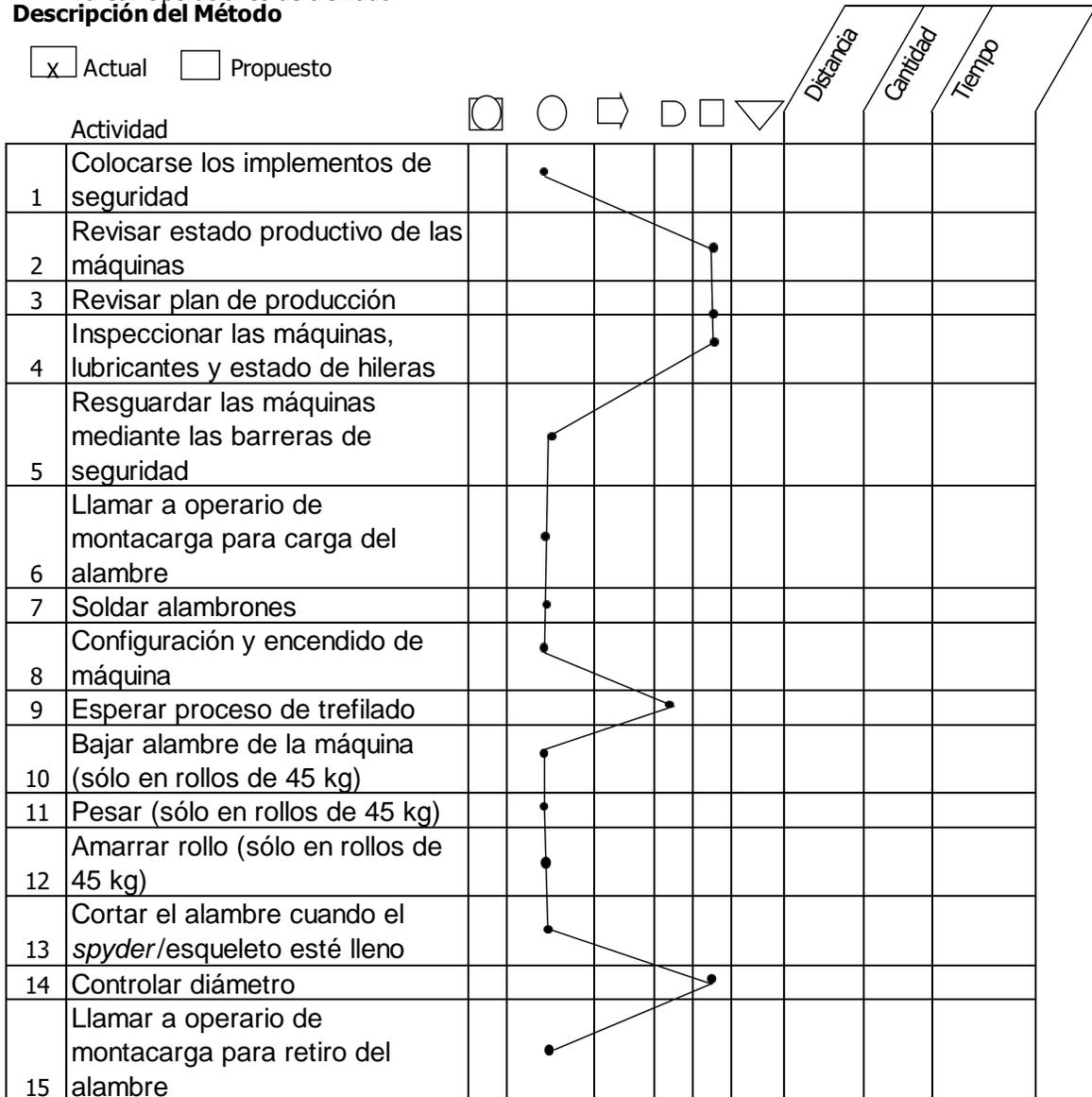
-  Operación Combinada
-  Operaciones
-  Transporte
-  Demoras
-  Inspecciones
-  Almacenaje
- Distancia Recorrida

Actual		Prop		Econom	
Nº	T	Nº	T	Nº	T
0					
10					
0					
1					
4					
0					
		Ahorro:			

Tarea: Operaciones de trefilado

Descripción del Método

Actual Propuesto



APÉNDICE 7. PESOS Y TIEMPOS MEDIDOS

Fecha	Turno	Operario	Tiempo de amarrado por rollo (min)	Peso del producto final (kg)
28/10/18	2	C	1,90	48,38
28/10/18	2	C	1,85	47,41
28/10/18	2	C	1,73	49,15
28/10/18	2	C	1,99	46,95
28/10/18	2	C	1,41	48,40
28/10/18	2	C	1,89	47,91
28/10/18	2	C	1,62	49,23
28/10/18	2	C	1,90	49,68
28/10/18	2	C	1,66	49,99
28/10/18	2	C	1,95	48,42
28/10/18	2	C	1,94	46,88
28/10/18	2	C	1,77	47,77
28/10/18	2	C	1,56	49,28
03/11/18	1	B	1,40	47,31
03/11/18	1	B	1,41	46,10
03/11/18	1	B	1,20	45,14
03/11/18	1	B	1,29	45,07

03/11/18	1	B	1,28	47,63
03/11/18	1	B	1,28	46,72
03/11/18	1	B	1,16	46,10
03/11/18	1	B	1,12	46,92
03/11/18	1	B	1,24	45,70
03/11/18	1	B	1,27	46,11
03/11/18	1	B	1,09	45,22
03/11/18	1	B	1,07	46,59
03/11/18	1	B	1,00	45,61
04/11/18	2	A	0,93	46,54
04/11/18	2	A	1,04	46,79
04/11/18	2	A	1,25	45,96
04/11/18	2	A	0,97	46,20
04/11/18	2	A	1,30	46,82
04/11/18	2	A	1,05	46,22
04/11/18	2	A	0,94	45,83
04/11/18	2	A	1,21	46,65
04/11/18	2	A	0,93	45,19
04/11/18	2	A	1,02	45,09
04/11/18	2	A	1,36	46,70
04/11/18	2	A	1,08	45,77
04/11/18	2	A	1,12	46,28

10/11/18	1	A	1,32	45,08
10/11/18	1	A	1,04	46,16
10/11/18	1	A	1,14	46,37
10/11/18	1	A	1,07	45,54
10/11/18	1	A	0,97	45,49
10/11/18	1	A	1,08	45,52
10/11/18	1	A	1,23	45,29
10/11/18	1	A	1,35	45,34
10/11/18	1	A	1,38	45,32
10/11/18	1	A	1,19	45,12
10/11/18	1	A	0,92	45,40
10/11/18	1	A	1,23	46,99
10/11/18	1	A	1,07	46,40
11/11/18	2	B	1,08	46,27
11/11/18	2	B	1,21	45,31
11/11/18	2	B	1,12	45,10
11/11/18	2	B	0,95	45,44
11/11/18	2	B	1,35	45,18
11/11/18	2	B	1,00	45,91
11/11/18	2	B	1,37	46,15
11/11/18	2	B	1,10	45,47
11/11/18	2	B	1,23	46,26

11/11/18	2	B	1,27	45,51
11/11/18	2	B	1,16	46,66
11/11/18	2	B	1,03	45,91
11/11/18	2	B	1,38	46,29
18/11/18	1	C	1,88	49,61
18/11/18	1	C	1,95	48,80
18/11/18	1	C	1,78	49,38
18/11/18	1	C	1,96	49,23
18/11/18	1	C	1,88	49,34
18/11/18	1	C	2,08	49,83
18/11/18	1	C	1,68	47,54
18/11/18	1	C	1,95	47,36
18/11/18	1	C	1,98	48,77
18/11/18	1	C	1,40	49,49
18/11/18	1	C	1,55	47,16
18/11/18	1	C	1,77	47,19
18/11/18	1	C	2,02	49,72

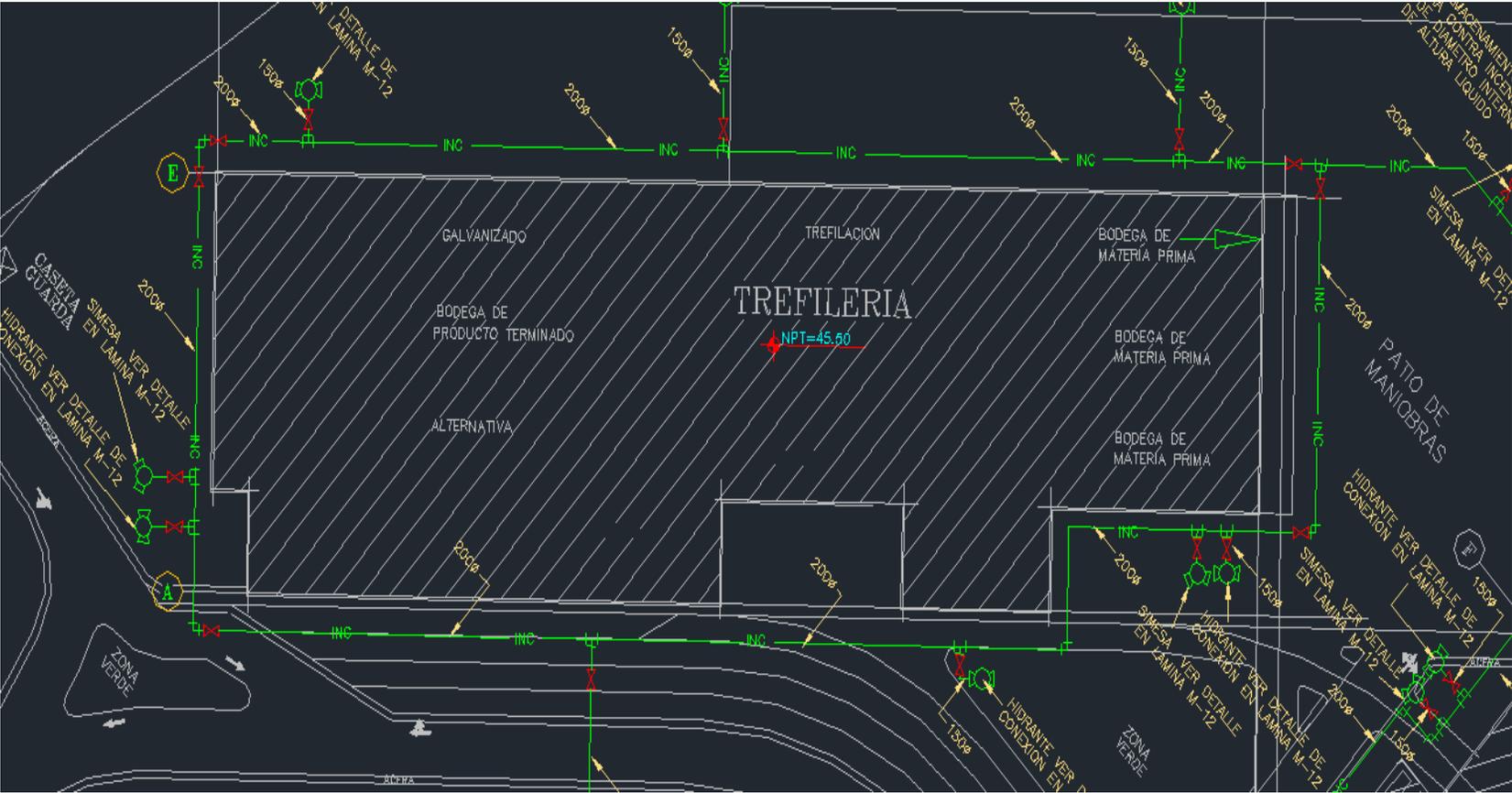
APÉNDICE 8. COSTO DE OPERARIO

Con base en un formato establecido por BIA Alambres/Bekaert Costa Rica, se calculan el salario y costos de un operario de trefilado:

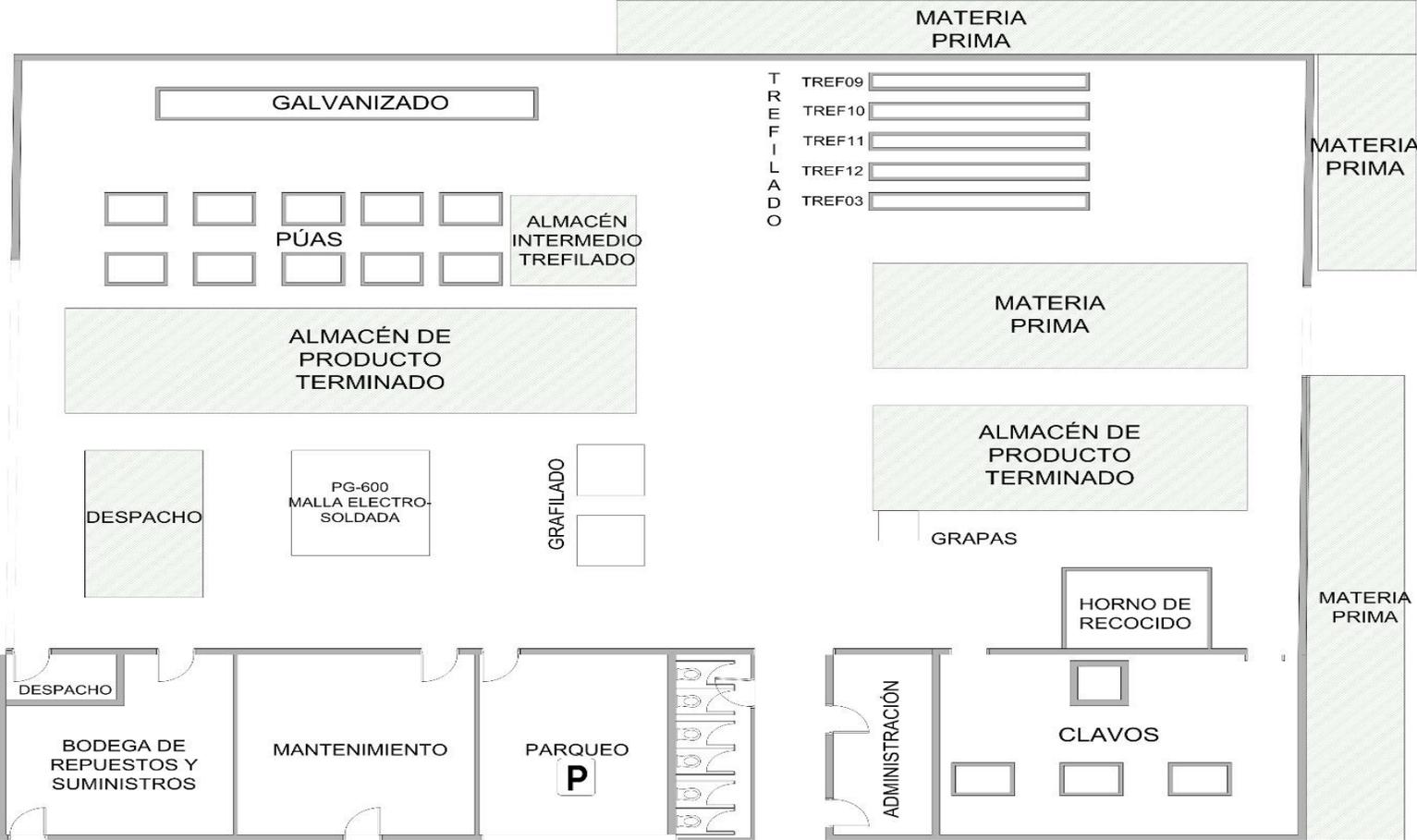
DESCRIPCION	P		COMENTARIOS
Salario por hora normal		₡ 1,539.0	
Salario por hora extra		₡ 2,308.5	
Salario por hora doble		₡ 3,078.0	
Salario semanal		₡ 98,496.0	
Salario mensual		₡ 426,487.7	
Enfermedad y Maternidad	9.25%	₡ 39,450.1	C.C.S.S.
Invalidez Vejez y Muerte	5.09%	₡ 21,708.2	C.C.S.S.
Asignaciones Familiares	5.00%	₡ 21,324.4	
INA	1.50%	₡ 6,397.3	
Banco Popular	0.50%	₡ 2,132.4	
IMAS	0.50%	₡ 2,132.4	
Pensión Complementaria Obligatoria	1.5%	₡ 6,397.3	OPERADORA(1% INS, 50% INA)
APORTE PATR FONDO LABORAL (FCL)	1.50%	₡ 6,397.3	Fondo de Capitalización Laboral
APORTE PATR PENSION PENSION OBLIGAT (ROP)	1.50%	₡ 6,397.3	C.C.S.S.
Aporte Patronal Reembolsable	3.00%	₡ 12,794.6	Únicamente para afiliados a la Asociación Solidarista.
Aporte fondo de desempleo Patronal	1.00%	₡ 4,264.9	Únicamente para afiliados a la Asociación Solidarista.
Aporte Patronal Capitalizable	1.00%	₡ 4,264.9	Únicamente para afiliados a la Asociación Solidarista.

Auxilio de Cesantía	5.33%	₪ 22,731.8	
Décimo Tercer Mes	8.33%	₪ 35,526.4	
Póliza Riesgos del Trabajo	1.78%	₪ 7,591.5	
Total Cargas Patronales	46.78%	₪ 199,510.9	
Costos totales mensuales:		₪ 625,998.6	
Costos totales anuales:		₪ 7,511,983.4	

APÉNDICE 9. PLANO DE BIA ALAMBRES/BEKAERT COSTA RICA



APÉNDICE 10. CROQUIS DE BIA ALAMBRES/ BEKAERT COSTA RICA



APÉNDICE 11. PRUEBA DE SUPUESTOS TIEMPO AMARRADO DE ROLLOS EN MINUTOS.

A) Normalidad de los datos

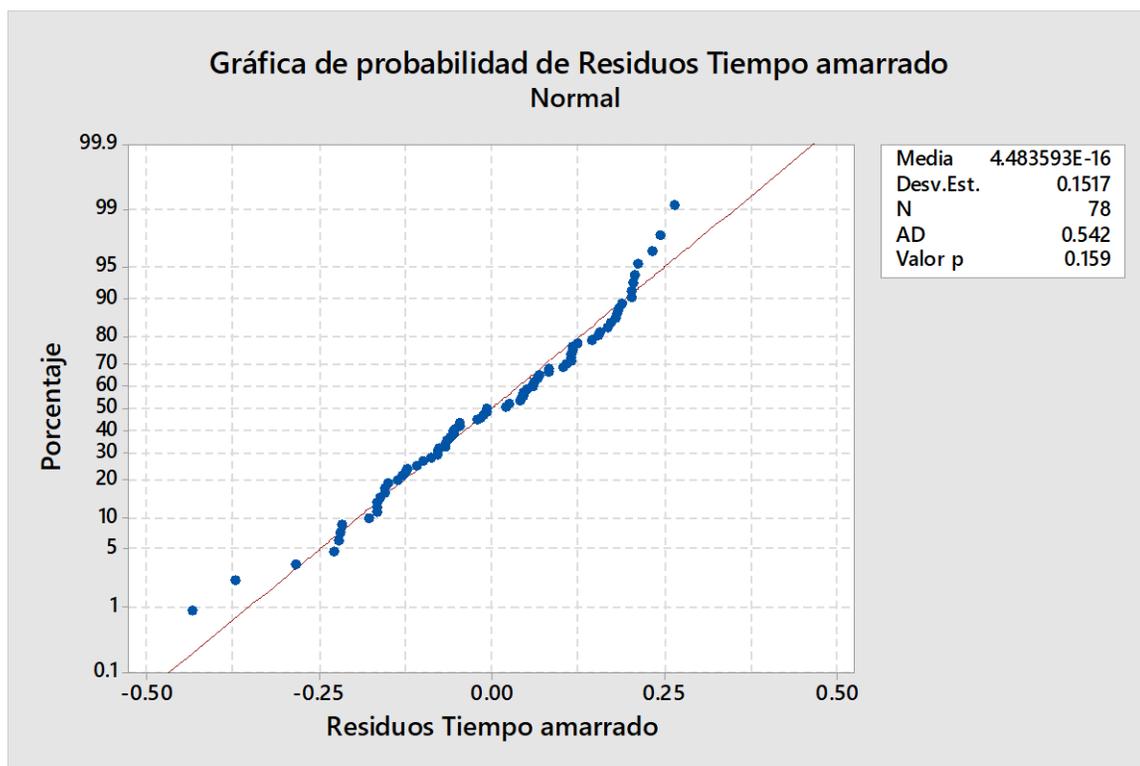


Figura 37. Gráfica de probabilidad de residuos de tiempo de amarrado

Con un 95% de confianza, no existe suficiente evidencia estadística por lo cual se falla al rechazar la hipótesis nula, por lo tanto, los datos siguen una distribución normal.

B) Igualdad de varianzas

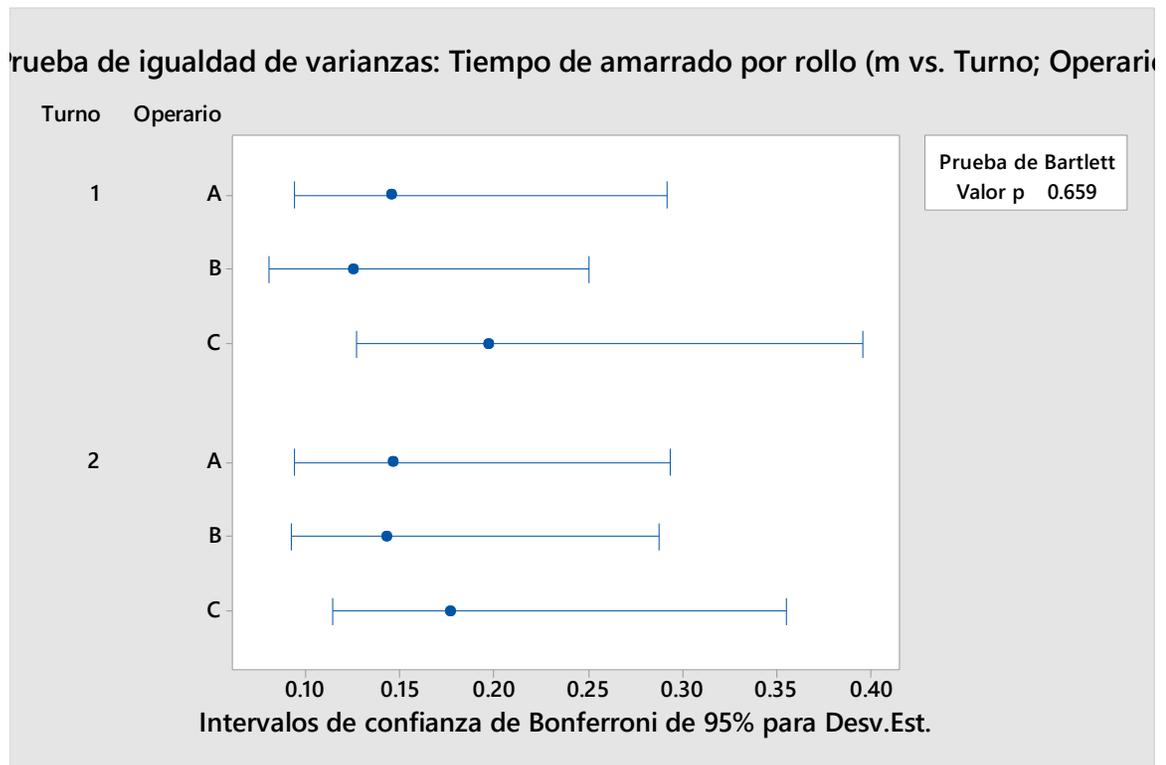


Figura 38. Prueba de igualdad de varianzas: Tiempo de amarrado por rollo

Con un 95% de confianza, no existe suficiente evidencia estadística por lo cual se falla al rechazar la hipótesis nula, por lo tanto, existe igualdad de varianzas en relación con el tiempo de amarrado por rollo.

C) Aleatoriedad de los datos

Prueba

Hipótesis nula H_0 : El orden de los datos es aleatorio

Hipótesis alterna H_1 : El orden de los datos no es aleatorio

Número de corridas

Observado	Esperado	Valor p
45	40.00	0.254

Con un 95% de confianza, como el valor $P > 0,05$. Se falla al rechazar la hipótesis nula, por lo tanto, existe aleatoriedad en los datos.

APÉNDICE 12. PRUEBA DE SUPUESTOS PARA PESO DEL PRODUCTO FINAL

A) Normalidad de los datos

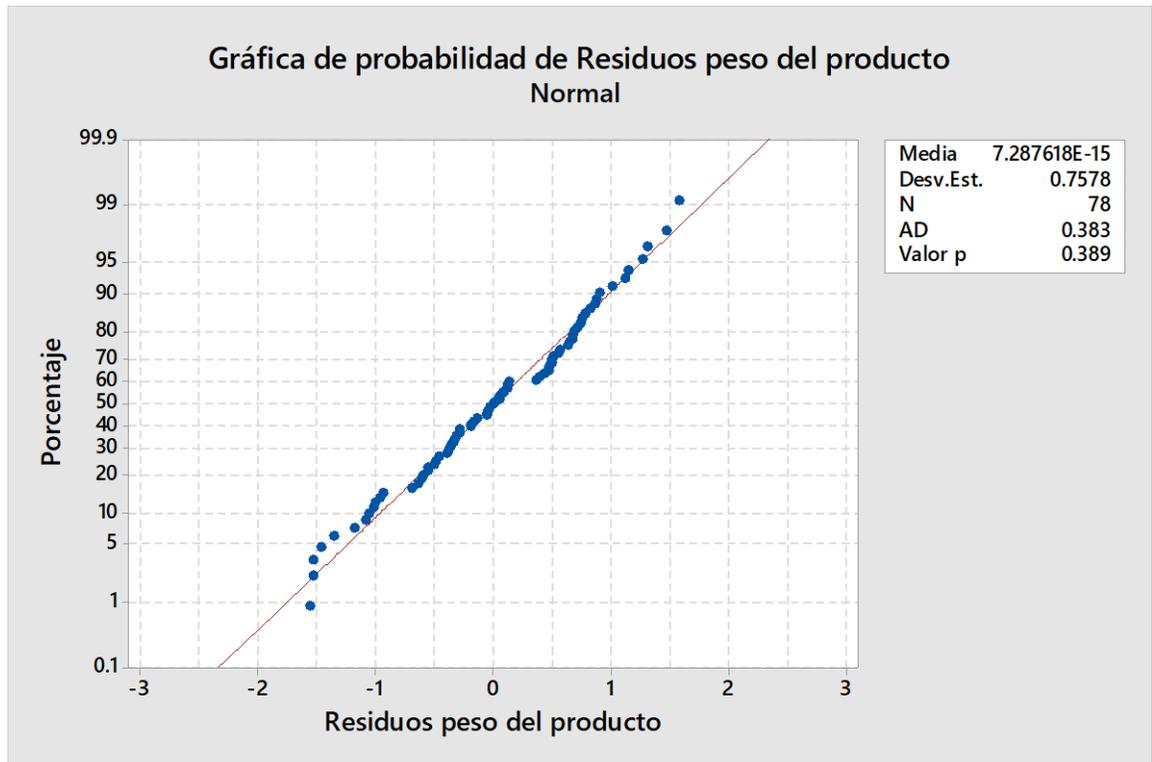


Figura 39. Gráfica de probabilidad de residuos de peso de producto

Con un 95% de confianza, no existe suficiente evidencia estadística por lo cual se falla al rechazar la hipótesis nula, por lo tanto, los datos siguen una distribución normal.

B) Igualdad de varianzas

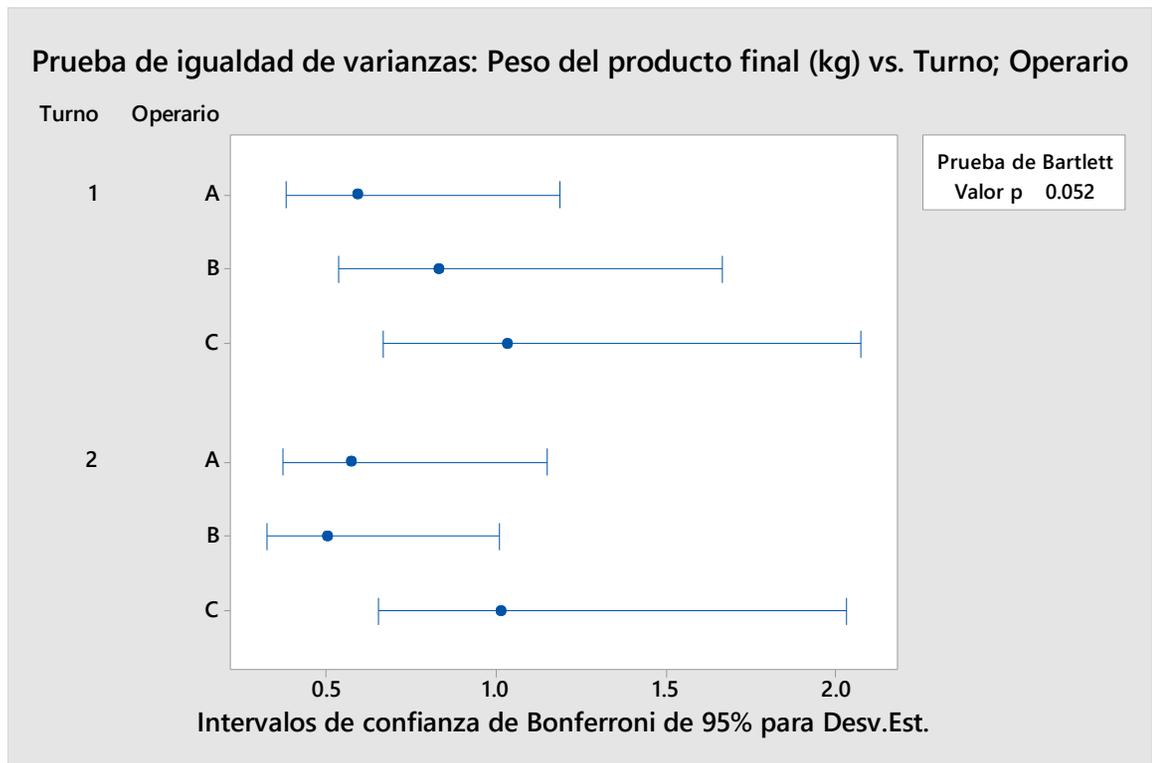


Figura40. Prueba de igualdad de varianzas: peso del producto final

Con un 95% de confianza, no existe suficiente evidencia estadística por lo cual se falla al rechazar la hipótesis nula, por lo tanto, existe igualdad de varianzas en relación con el peso del producto final.

C) Aleatoriedad de los datos

Prueba

Hipótesis nula H_0 : El orden de los datos es aleatorio

Hipótesis alterna H_1 : El orden de los datos no es aleatorio

Número de corridas

<u>Observado</u>	<u>Esperado</u>	<u>Valor p</u>
36	40.00	0.362

Con un 95% de confianza, como el valor $P > 0,05$. Se falla al rechazar la hipótesis nula, por lo tanto, existe aleatoriedad en los datos.

APÉNDICE 13. ANOVA DE TIEMPO DE AMARRADO

Regresión factorial general: Tiempo de amarrado por ... perario; Turno

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
--------	---------	---------

Operario	3	A; B; C
----------	---	---------

Turno	2	1; 2
-------	---	------

Selección de términos escalonada

α a entrar = 0.15; α a retirar = 0.15

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	7.46667	2.48889	103.95	0.000
Lineal	3	7.46667	2.48889	103.95	0.000
Operario	2	7.41226	3.70613	154.78	0.000
Turno	1	0.05441	0.05441	2.27	0.136
Error	74	1.77185	0.02394		
Falta de ajuste	2	0.00105	0.00052	0.02	0.979
Error puro	72	1.77080	0.02459		
Total	77	9.23852			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.154738	80.82%	80.04%	78.69%

Coefficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	1.3756	0.0175	78.52	0.000	
Operario					
A	-0.2529	0.0248	-10.21	0.000	1.33
B	-0.1810	0.0248	-7.31	0.000	1.33
Turno					
1	0.0264	0.0175	1.51	0.136	1.00

Ecuación de regresión

Tiempo de amarrado por rollo (m) = 1.3756 - 0.2529 Operario_A - 0.1810 Operario_B + 0.4340 Operario_C + 0.0264 Turno_1 - 0.0264 Turno_2

Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

Obs	Tiempo de amarrado por rollo	Ajuste	Resid	Resid est.
-----	------------------------------	--------	-------	------------

	(m)				
5	1.4100	1.7832	-0.3732	-2.48	R
75	1.4000	1.8360	-0.4360	-2.89	R

Residuo grande R

APÉNDICE 14. ANOVA DE PESO DE PRODUCTO FINAL

Regresión factorial general: Peso del producto final (kg) ... rario; Turno

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Operario	3	A; B; C
Turno	2	1; 2

Selección de términos escalonada

α a entrar = 0.15; α a retirar = 0.15

El procedimiento escalonado agregó términos durante el procedimiento con el fin de mantener un modelo jerárquico en cada paso.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	121.486	24.2972	39.57	0.000
Lineal	3	118.709	39.5696	64.44	0.000
Operario	2	118.615	59.3073	96.58	0.000
Turno	1	0.094	0.0942	0.15	0.697
Interacciones de 2 términos	2	2.777	1.3887	2.26	0.112
Operario*Turno	2	2.777	1.3887	2.26	0.112
Error	72	44.214	0.6141		
Total	77	165.700			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.783637	73.32%	71.46%	68.68%

Coefficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	46.8283	0.0887	527.77	0.000	
Operario					
A	-0.903	0.125	-7.20	0.000	1.33
B	-0.841	0.125	-6.70	0.000	1.33
Turno					
1	0.0347	0.0887	0.39	0.697	1.00
Operario*Turno					
A 1	-0.266	0.125	-2.12	0.037	1.33
B 1	0.148	0.125	1.18	0.241	1.33

Ecuación de regresión

Peso del producto final (kg) = 46.8283 - 0.903 Operario_A - 0.841 Operario_B + 1.744 Operario_C + 0.0347 Turno_1 - 0.0347 Turno_2 - 0.266 Operario*Turno_A 1

+ 0.266 Operario*Turno_A 2
+ 0.148 Operario*Turno_B 1 -
0.148 Operario*Turno_B 2
+ 0.118 Operario*Turno_C 1 -
0.118 Operario*Turno_C 2

Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

Obs	Peso del producto final (kg)	Ajuste	Resid	Resid est.	
9	49.990	48.419	1.571	2.09	R
11	46.880	48.419	-1.539	-2.04	R
76	47.160	48.725	-1.565	-2.08	R
77	47.190	48.725	-1.535	-2.04	R

Residuo grande R

APÉNDICE 15. CÁLCULO DE COSTO ELÉCTRICO PROPUESTA SAIZAR

Potencia robot		Horas de trabajo en Tiempo (valle)	Cantidad horas en que el sistema está apagado	Horas en movimiento	Horas en reposo	Costo tarifa valle (colones)
Consumo en movimiento (kw)	Consumo en reposo (kw)					
9	6	6	0	6	2	¢24.76

Costo del reposo por día	Costo en movimiento por día	Suma de costos diarios en colones	Días laborados al año	Costo anual
¢297.12	¢1,337.04	¢1,634.16	344	¢562,151.04

Costo promedio por hora-tarifa mixta			
Costo	Horas	Inicia	
¢24.76	3.5	2:00 p.m.	¢86.66
¢66.50	2.5	5:30 p.m.	¢166.25
¢15.23	2	8:00 p.m.	¢30.46
			¢283.37
		Costo promedio Hora	¢35.42

Potencia				
Mov (kw)	Reposo (kw)	Mov horas	Reposo horas	Costo tarifa Noct(colones)
9	6	6	2	₡35.42

Costo del reposo por día	Costo en movimiento por día	Suma de costos diario en colones	Días laborados al año	Costo anual
₡1,912.75	₡425.06	₡2,337.80	344	₡804,204.06

Potencia					
Mov (kw)	Reposo (kw)	T Nocturno horas	Mov horas	Reposo horas	Costo tarifa Noct (colones)
9	6	8	6	2	₡15.23

Costo colones reposo	Costo colones Movimiento	Suma de costos diario en colones	Días laborados al año	Costo anual
₡822.42	₡182.76	₡1,005.18	344	₡345,781.92

TOTAL (₡): 1,712,137.02

TOTAL (\$): \$ 2,777.41

APÉNDICE 16. CÁLCULO DE COSTO ELÉCTRICO PROPUESTA SERVICIOS TÉCNICOS DEL PACÍFICO

Potencia robot						
Consumo en movimiento (kw)	Consumo en reposo (kw)	Horas de trabajo en Tiempo (valle)	Cantidad horas en que el sistema está apagado	Horas en movimiento	Horas en reposo	Costo tarifa valle (colones)
8	5.5	6	0	6	2	¢24.76

Costo del reposo por día	Costo en movimiento por día	Suma de costos diarios en colones	Días laborados al año	Costo anual
¢272.36	¢1,188.48	¢1,460.84	344	¢502,528.96

Costo promedio por hora-tarifa mixta			
Costo	Horas	Inicia	
¢24.76	3.5	2:00 p.m.	¢86.66
¢66.50	2.5	5:30 p.m.	¢166.25
¢15.23	2	8:00 p.m.	¢30.46
			¢283.37
		Costo promedio Hora	¢35.42

Potencia				
Mov (kw)	Reposo (kw)	Mov horas	Reposo horas	Costo tarifa Noct(colones)
8	5.5	6	2	₡35.42

Costo del reposo por día	Costo en movimiento por día	Suma de costos diario en colones	Días laborados al año	Costo anual
₡1,700.22	₡389.63	₡2,089.85	344	₡718,909.69

Potencia					
Mov (kw)	Reposo (kw)	T Nocturno horas	Mov horas	Reposo horas	Costo tarifa Noct (colones)
8	5.5	8	6	2	₡15.23

Costo colones reposo	Costo colones Movimiento	Suma de costos diario en colones	Días laborados al año	Costo anual
₡731.04	₡167.53	₡898.57	344	₡309,108.08

TOTAL (₡): 1,530,546.73

TOTAL (\$): \$ 2,482.84

APÉNDICE 17. CÁLCULO DE COSTO ELÉCTRICO PROPUESTA FICMAMS

Potencia robot						
Consumo en movimiento (kw)	Consumo en reposo (kw)	Horas de trabajo en Tiempo (valle)	Cantidad horas en que el sistema está apagado	Horas en movimiento	Horas en reposo	Costo tarifa valle (colones)
15	10	6	0	6	2	¢24.76

Costo del reposo por día	Costo en movimiento por día	Suma de costos diarios en colones	Dias laborados al año	Costo anual
¢495.20	¢2,228.40	¢2,723.60	344	¢936,918.40

Costo promedio por hora-tarifa mixta			
Costo	Horas	Inicia	
¢24.76	3.5	2:00 p.m.	¢86.66
¢66.50	2.5	5:30 p.m.	¢166.25
¢15.23	2	8:00 p.m.	¢30.46
			¢283.37
		Costo promedio Hora	¢35.42

Potencia				
Mov (kw)	Reposo (kw)	Mov horas	Reposo horas	Costo tarifa Noct(colones)
15	10	6	2	₡35.42

Costo del reposo por día	Costo en movimiento por día	Suma de costos diario en colones	Días laborados al año	Costo anual
₡3,187.91	₡708.43	₡3,896.34	344	₡1,340,340.10

Potencia					
Mov (kw)	Reposo (kw)	T Nocturno horas	Mov horas	Reposo horas	Costo tarifa Noct (colones)
15	10	8	6	2	₡15.23

Costo colones reposo	Costo colones Movimiento	Suma de costos diario en colones	Dias laborados al año	Costo anual
₡1,370.70	₡304.60	₡1,675.30	344	₡576,303.20

TOTAL (₡): 2,853,561.70

TOTAL (\$): \$ 4,629.02

ANEXOS

Anexo 1. Mantenimiento anual Servicios Técnicos del Pacífico



SERVICIOS TÉCNICOS DEL PACÍFICO

CONTACTO

Actual Roble Puntarenas
Puntarenas y Guanacaste
japeraltam@yahoo.es
elianrp81@gmail.com

BIA ALAMBRES/BEKAERT COSTA RICA

Puntarenas Marzo de 2019.

COT: STP-00202

Adjunto encontrará la cotización solicitada, misma que esperamos sea de su entera satisfacción. En caso de tener alguna consulta o requerir alguna modificación, por favor no dude en comunicarse con el suscrito a los Tel.: (506) 26634881

Servicios técnicos del Pacífico le agradece la preferencia por nuestros productos y servicios.

Atentamente

Ing. Javier Fco Peralta M.
IME-8204

Elián Rivera Porras
603270868



CORREO ELECTRÓNICO



NOMBRE DE USUARIO DE
TWITTER



TELÉFONO



DIRECCIÓN URL DE
LINKEDIN



SERVICIOS TÉCNICOS DEL PACIFICO

Rogamos revisar detalladamente esta cotización y corroborar que corresponde satisfactoriamente a la solución requeridas. La presente oferta es el resultado de nuestra interpretación de la información recibida, por lo cual el servicio técnico se limita al suministro de los productos y servicios en los términos que se detallan en esta cotización:

Forma de pago: 50% Contra entrega de orden de compra y 50% al finalizar los trabajos. Favor hacer referencia en la orden de compra a esta cotización.

Revisión de precios:

Los precios de esta oferta se establecerán con pagos mensuales de \$250 por dos días de revisión.

Valor Total de la oferta:

CTO 5.000 DOLARES IVI

Valor Total 5. 000 DOLARES

DETALLE

1. REVISION Y CALIBRACION DEL SISTEMA DE PESAJE.
2. REVISION DEL SISTEMA DE CORTE.
3. REVISION Y LUBRICACION DEL SISTEMA DE FLEJE.
4. VERIFICACION Y PRUEBAS OPERATIVAS DEL SISTEMA DE RODILLO.
5. MEDICION Y REVISION DE LOS MOTORES ELECTRICOS DEL SISTEMA.

El programa de mantenimiento esta basado en manuales técnicos y recomendaciones del fabricante en cuanto a cambio de repuestos y mediciones a los equipos.



CORREO ELECTRÓNICO



NOMBRE DE USUARIO DE TWITTER



TELÉFONO



DIRECCIÓN URL DE LINKEDIN

Anexo 2. Propuesta Saizar

SAIZAR SL

PROYECTO: SUMINISTRO, MONTAJE Y PEM DE UNA LÍNEA AUTOMÁTICA DE FLEJADO PARA BOBINAS DE ALAMBRE

CARACTERÍSTICAS DE LO OFERTADO:

#1 MESA DE RODILLOS DE ENTRADA CON SISTEMA DE PESAJE INTEGRADO

#1 SISTEMA DE CORTE AUTOMATICO DEL ALAMBRE

#1 FLEJADORA AUTOMATICA MODELO FASA-16 PARA EL FLEJADO RADIAL DE LAS BOBINAS DE ALAMBRE, CON FLEJE DE ACERO DE 16MM.

#1 MESA DE FLEJADO CON SISTEMA DE GIRO INTEGRADO

#1 MESA DE RODILLOS PARA LA EVACUACION DE LAS BOBINAS

CERRAMIENTO DE SEGURIDAD CON SU PUERTA DE ACCESO Y BARRERA FOTOELECTRICA

CLIENTE: BIA ALAMBRES

Nº DE OFERTA: 1547/19 Rev.1

FECHA: 14-02-2019

SAIZAR Strapping Machines, Pol. Beotibar Nº 4 – 20491 Belauntza – Guipúzcoa -Spain
Tel. +34 943 67 50 68
www.saizar-sl.com

1



REPARACION DE MAQUINARIA SAIZAR S.L. FLEJADORAS AUTOMATICAS SAIZAR

Polígono Beotibar nº4
20491 Belauntza (Guipúzcoa)
Telf.: +34 943 675 068
Fax. +34 943 675 640
Fecha: 14-02-2019
Presupuesto: 1547/19 Rev.1

BIA ALAMBRES

CONTENIDO

1. A- Volumen de suministro_____pág. 3
B- Características de las bobinas de alambre____pág. 4
C- Especificaciones de la Línea_____pág. 5-6
D- Datos técnicos de la Línea_____pág. 7-13
E- Funcionamiento de la Línea_____pág. 14
2. Planos de la Línea_____pág. 15-21
3. Garantías de rendimiento_____pág. 22
3.1 Información adicional_____pág. 23-25
4. Listado de repuestos recomendados_____pág. 26
5. Calendario del proyecto_____pág. 27
6. Condiciones comerciales_____pág. 28-30
7. Garantía_____pág. 31
8. Conceptos incluidos / excluidos_____pág. 32-35

1. A- Volumen de suministro

Fabricación de #1 Línea de flejado con los siguientes elementos:

- #1 Mesa de rodillos de entrada con sistema de pesaje integrado.
- #1 Mesa de flejado con sistema de giro integrado.
- Fabricación y montaje de #1 Flejadora automática Modelo FASA-16 para el flejado radial de bobinas de alambre, compuesto por los siguientes elementos:
 - #1 dispensador de fleje.
 - #1 acumulador de fleje.
 - #1 cabezal automático.
 - #1 sistema para el movimiento vertical del cabezal.
 - #1 lanza horizontal.
 - #1 lanza vertical.
 - #1 bastidor.
- #1 Mesa de rodillos de salida para la evacuación de las bobinas de alambre.
- #1 Cerramiento de seguridad con una puerta de acceso.
- #1 Equipo eléctrico completo para el funcionamiento de los elementos mencionados.
- #1 Equipo hidráulico completo para el funcionamiento de los elementos mencionados.
- #1 Equipo neumático completo para el funcionamiento de los elementos mencionados.
- Exwork en las instalaciones de SAIZAR + embalaje para transporte marítimo.
- Demás elementos que se describen en la oferta.

Elementos opcionales descritos en la oferta:

- Repuestos.
- Supervisión del montaje, puesta en marcha y formación de la Flejadora en las instalaciones de BIA ALAMBRES en Costa Rica.
- Transporte 2 opciones:
CIF Puerto de Moín – Limón - Costa Rica.
DDP Orotina – Alajuela – Costa Rica
- #1 Sistema automático para el corte del alambre.
- #1 Barrera fotoeléctrica para la zona de evacuación de las bobinas.

B- Características de las bobinas de alambre

El cliente está interesado en una Línea automática de flejado para el flejado radial de sus bobinas de alambre para instalarla en la salida de una de sus líneas.

No	Parámetros	Unidad	Información
1	Material		Bobinas de alambre
2	Diámetro mín./máx. del alambre	mm	1,5
3	Diámetro interior mín./máx. de la bobina	mm	200 / 350
4	Diámetro exterior mín./máx. de la bobina	mm	600 / 750
5	Altura mín./máx. de la bobina	mm	100 / 150
6	Peso máximo de la bobina	Kg	100
7	Fleje de acero requerido	mm	16 x 0,80 / 1,00
8	Sistema de sellado		Con entalladura
9	Máxima producción de paquetes	Paquete/hora	15
10	Flejadoras requeridas	Nº	1

Información adicional enviada por el cliente para la elaboración de la oferta:



C- Especificaciones de la Línea

LÍNEA AUTOMÁTICA DE FLEJADO PARA EL FLEJADO RADIAL DE BOBINAS DE ALAMBRE CON FLEJE DE ACERO DE 16MM

- Esta Línea cuenta con un cabezal completo para fleje de acero, bastidor, instalación eléctrica, instalación hidráulica e instalación neumática.
- La bobina de alambre será formada y pesada en la mesa de rodillos y la Flejadora automática realizará los flejados en las posiciones requeridas por el cliente, a 90° entre sí.

Características técnicas

Dimensiones del cabezal de flejado:

- Longitud 700 mm
- Anchura 700 mm
- Altura 950 mm

Material de flejado:

- Anchura del fleje 16 mm
- Espesores de fleje 0,80 x 1,00 mm
- Tipo de fleje Acero templado
- Calidad del fleje High Quality / High Tensile
- Peso de la bobina 450 kg. Aproximadamente, pudiendo adaptar el dispensador a la bobina deseada por el cliente. En caso de que el cliente quisiera utilizar una bobina de menor peso no habría ningún problema. Este detalle deberá comentársele al Dpto. Técnico a la aceptación de la oferta.

Características del sellado:

- Tipo de sellado Con entalladura
- Cantidad de muescas 3 entallas dobles en un mismo sentido
- Eficiencia del sellado Aprox. 75% la carga de rotura del fleje si el flejado se realiza mediante 3 entallas dobles en un sentido
- Localización del sellado En la parte superior de la bobina.

Velocidades y tensiones del fleje:

- Tensión del fleje 7000N-16000N (ajustable)
- Velocidad alimentación / retroceso Aprox. 1,5m/s
- Velocidad de tensión 6 m/min.

Características hidráulicas:

- Máxima presión 110 bar
- Presión de trabajo 90 bar
- Flujo 40 l/min.
- Nivel de ruido 79 Db (A)
- Tipo de aceite Aceite hidráulico (VESTA HLP-46)
- Temperatura de trabajo <45°C
- Refrigeración del aceite Con aire

Características neumáticas:

- Calidad del aire 50u filtrado
- Máxima temperatura 60°C
- Máxima presión 10 bar / 1MPa
- Presión de trabajo 6 bar / 0,6MPa
- Caudal nominal en 6 bar Aprox. 70NI/min ▲ p 1 bar

Características eléctricas:

- Autómata Siemens S7-1200
- Requerimientos eléctricos AC 240V / 60Hz 3 Fases
- Tensión de control AC 120V / 60Hz 1 Fase
- Tensión de bobinas y detectores 24V DC
- Potencia de los motores
 - #1 motor grupo hidráulico = Aprox. 5,5Kw
 - #1 motoreductor dispensador = Aprox. 0,75Kw
 - #1 motoreductor para los rodillos de la entrada = Aprox. 0,55Kw
 - #1 motoreductor eléctrico para los rodillos de la mesa de flejado = Aprox. 0,55Kw
 - #1 motoreductor eléctrico para el giro de la mesa de flejado = Aprox. 0,55Kw
 - #1 motoreductor para los rodillos de la salida = 1,1Kw
- Señal de comunicación entre el PLC de la Línea y el PLC de la Línea de SAIZAR Señales cableadas



FLEJADORA AUTOMÁTICA PARA EL FLEJADO DE BOBINAS DE ALAMBRE

D - Datos técnicos de la Línea

Esta Línea automática realiza los flejados con el fleje de acero de 16mm y está diseñada para flejar las bobinas de alambre radialmente, realizando todo el proceso de flejado en modo automático.

Cada una de las bobinas de alambre deben ser formadas en un mismo punto de referencia, es decir el centro de las mismas siempre debe ser el mismo independientemente de sus características.

Al comienzo de la Línea hay una mesa de rodillos para la formación de las bobinas de alambre. Dicha mesa de rodillos tendrá integrado un sistema de pesaje con movimiento vertical para poder separar la bobina de los rodillos, con el cual, a la hora de pesar el peso requerido por el cliente, se pueda realizar el corte del alambre. Esta bascula podrá pesar bobinas de hasta un peso máximo de 100kg, siendo lo más común las bobinas de 45kg. La bascula debe pesar cada 100gramos para tener una mayor precisión del peso de la bobina. El movimiento vertical del sistema de pesaje es accionado por un cilindro hidráulico. Además de ello la mesa cuenta con unos rodillos elevables para poder desplazar la bobina de alambre a la posición de flejado. El movimiento de los rodillos es accionado por un motoreductor eléctrico y para controlar el posicionamiento de las bobinas habrá una serie de detectores.

En la mesa de entrada como opcional se oferta un sistema automático para el corte del alambre. Es decir, el cliente señalizara en la pantalla del pupitre los kg que quiere tener en la bobina, por lo que una vez obtenidos dichos Kg, comunicara a la Línea que deje de echar el alambre y es cuando entonces dicho sistema realizara el corte del alambre mediante unas tijeras accionadas mediante una serie de cilindros neumáticos y un cilindro hidráulico.

En la posición de flejado hay instalada una mesa de flejado con sistema de giro integrado. Dicha mesa está compuesta por unos rodillos los cuales son accionados por un motoreductor eléctrico. El giro de la mesa es accionado por otro motoreductor eléctrico, siendo las posiciones de parada controladas por una serie de detectores. Además de ello, la mesa de flejado cuenta con 4 guidos para poder alimentar el fleje por el diámetro interior de la bobina de alambre.

La Flejadora está colocada en una posición fija sobre el suelo de la planta del cliente.

El dispensador de fleje de acero está diseñado para una bobina Jumbo de fleje de acero de 16mm de aproximadamente 450kg y un diámetro interior de 406mm. En el propio dispensador hay colocado un motoreductor eléctrico con freno para poder soltar/recoger fleje cuando sea necesario. El fleje es pasado a través de un acumulador de fleje compuesto por unas poleas y un contrapeso. El fleje es guiado a través de las poleas del acumulador hacia la polea superior del bastidor y de allí a la polea del cabezal de la Flejadora. En el propio acumulador hay colocados 4 detectores, los cuales controlan las posiciones de las poleas móviles y la posición del propio fleje a la entrada y salida del acumulador. Por ello con este sistema podremos aprovechar el fleje que pueda quedar en el acumulador cuando no haya fleje en el dispensador.

El cabezal de flejado va montado en el bastidor de la Flejadora y el mismo tiene un movimiento vertical accionado por un cilindro hidráulico, para así poder acercarse a la bobina de alambre a flejar. Para determinar las diferentes posiciones del cabezal, la Flejadora llevara una serie de detectores los cuales sabrán en cada momento la posición del cabezal (arriba, intermedia, abajo y contra la bobina de alambre).

El cabezal dispone de una línea de flejado para realizar los flejados con fleje de acero de 16mm:

- El fleje es alimentado y recogido mediante una rueda de arrastre y un rodillo, los cuales son accionados por un motor hidráulico y un cilindro hidráulico respectivamente. Con el mencionado motor el fleje puede moverse a diferentes velocidades dependiendo de su posición. El motor es activado por una electroválvula proporcional y una tarjeta digital. Después el fleje es tensado a la presión deseada por el cliente utilizando dos cilindros hidráulicos. El cabezal es sencillo. Tiene unas ruedas para guiar el fleje, el cual le da la curvatura necesaria y la mandíbula sella y corta el fleje (mediante entalladura).
- El sellado del fleje de acero es directo, por entalladura, realizándole 3 muescas dobles en un mismo sentido. Las muescas realizadas al fleje quedan profundizadas 2 mm entre el fleje superior e inferior, para garantizar el bloqueo del sellado.

El cabezal lleva consigo dos presostatos analógicos, por lo que los mismos pueden ser ajustados desde la pantalla táctil de pupitre. Uno de los presostatos es utilizado para ajustar la fuerza de recogida del fleje y el otro para ajustar la fuerza de tensado del fleje (este dato debe ser variable ya que dependiendo de las características de las bobinas de alambre es conveniente aplicarle un tensado mayor o menor, para no tener que dañar el material).

El cabezal tiene integrado un sistema de flejado inteligente, el cual sabe en todo momento la posición en que se encuentra el fleje, por lo que en el caso de que sucediese algo anómalo al realizar la alimentación o recogida del fleje, la propia Flejadora trataría de solventarlo de forma automática.

Cada uno de los flejados será realizado en la parte superior de la bobina de alambre.

La Flejadora lleva consigo una lanza horizontal y una lanza vertical, accionadas por dos cilindros neumáticos, para realizar la alimentación del fleje a través del diámetro interior de la bobina de alambre. Las dos lanzas se casarán con el guiado de la mesa de flejado para poder alimentar el fleje por el diámetro interior de la bobina de alambre. Las mencionadas lanzas estarán en su posición inicial cuando la bobina de alambre esté siendo desplazada a la posición de flejado o la misma esté girando a cada una de las posiciones y las lanzas estarán en la posición de adelante cuando haya que realizar la alimentación del fleje.

Posterior a la posición de la mesa de flejado, se oferta una mesa de rodillos para la evacuación de las bobinas. Esta mesa tiene la capacidad de poder almacenar un total de 5 bobinas de alambre. Las bobina de alambre puede ser transportada de estación en

estación (en un paso a paso) o bien llevarla de golpe hasta el final de la Línea. El movimiento de todos los rodillos son accionados mediante un motoreductor eléctrico y las diferentes posiciones de parada mediante unos detectores.

A su vez también se oferta el vallado perimetral tal y como se muestra en la imágenes de la Línea para cubrir el perímetro de la Línea ofertada. Para el acceso a la zona de la Flejadora se incluye una puerta de acceso con enclavamiento eléctrico. Por otro lado como opcional se oferta una barrera fotoeléctrica con su botonera de acceso para la salida de la Línea donde el operario podrá introducirse para poder evacuar las bobinas ya flejadas. Una vez que el operario entrase a través de la barrera fotoeléctrica, los rodillos se detendrían por seguridad del operario.

El PLC de la Línea de BIA ALAMBRES, mediante señales cableadas deberá facilitar al PLC de la Línea automática de flejado la información necesaria acerca de las características de las bobinas de alambre y la orden de marcha.

La Línea dispone de un grupo hidráulico para poder realizar los movimientos hidráulicos de la misma, el cual está colocado al lado del bastidor de la Flejadora.

La Línea dispondrá de un regulador de presión + grupo de filtraje para controlar la presión de aire para los elementos neumáticos de la misma.

El operario tendrá una botonera en el mismo bastidor de la Flejadora, la cual puede ser utilizada para realizar movimientos manuales de la Flejadora dentro de la instalación, pero con la condición de que cambie la posición del selector que tiene en el pupitre. Si el operario está trabajando dentro de la instalación con la botonera, desde el pupitre nadie podrá realizar ningún movimiento de la Flejadora por seguridad del operario. Posteriormente para que pueda trabajar con el pupitre debe de colocar la botonera en posición de automático.

En la parte superior de la Flejadora habrá colocada una baliza luminosa, para saber cuando la Flejadora está en funcionamiento, cuando está lista para trabajar y cuando tiene la misma alguna alarma.

La Línea llevará incorporado un pupitre, el cual estará colocado fuera del área de flejado. El operario podrá realizar movimientos tanto en manual como en automático desde la misma. En la propia pantalla del pupitre se podrán apreciar todas las alarmas acontecidas en cada momento en forma de imagen para que el operario de la máquina pueda solventar cualquier incidencia sin necesidad de tener que llamar al operario de mantenimiento.

Para tener que realizar trabajos de mantenimiento en el cabezal de flejado, el mismo deberá estar colocado en la posición de arriba y habiendo introducido el bulón de seguridad, el cual delimita de realizar cualquier movimiento eléctrico, hidráulico o neumático desde el pupitre o la botonera de la Flejadora.

La Línea tiene elementos mecánicos, eléctricos, hidráulicos y neumáticos.

Es indiferente que marca de fleje de acero templado se meta en la Flejadora automática siempre que se cumplan las medidas y características señaladas en la oferta de 16mm x 0,80/1,00mm, siendo el mismo de High Quality y High Tensile.

Esta Línea es una máquina robusta y a su vez sencilla para cualquier trabajo de mantenimiento y reparación. Los movimientos de la Flejadora son sencillos de asimilar por el maquinista ya que está diseñada para poder dar facilidades al operario en el manejo de la misma.

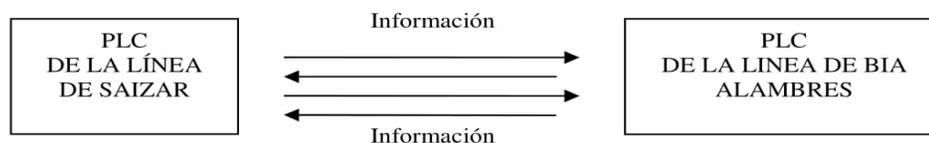
Componentes eléctricos de la Línea

- 1 pupitre eléctrico.
- 1 Pantalla de 7”.
- 1 Autómata Siemens S7 – 1200.
- Modelo de IP del pupitre IP55.
- 1 Fuente de alimentación.
- 6 Disyuntores T.E.E. con sus bloques auxiliares.
- 12 Contactores T.E.E. con sus bloques auxiliares.
- 1 Módulo de parada de emergencia.
- 32 Relés.
- Protecciones magneto térmicas para el equipo.
- 2 Pulsadores T.E.E. completos.
- 3 Pilotos T.E.E. completos.
- 2 Selectores manual/automático.
- 1 Encoder incremental.
- 1 Acoplamiento elástico para el mismo.
- 32 Detectores o finales de carrera
- 3 Conjuntos de cajas de derivación y conectores.
- 1 Botonera para la Flejadora automática.

- 1 Motoreductor eléctrico con freno para el dispensador de fleje.
- 1 Motoreductor eléctrico para los rodillos de la mesa de entrada.
- 1 Motoreductor eléctrico para los rodillos de la mesa de flejado.
- 1 Motoreductor eléctrico para la rotación de la mesa de flejado.
- 1 Motoreductor eléctrico para los rodillos de la mesa de salida.
- 1 Motor eléctrico para el grupo hidráulico.
- 1 Baliza luminosa.
- 1 Enclavamiento eléctrico para la puerta de acceso con su botonera de acceso.
- 1 Barrera fotoeléctrica para el paso del operario con su botonera de acceso.
- Comunicación mediante señales cableadas.

Esquema de interfaz entre el PLC de la Línea y el PLC de la línea de BIA ALAMBRES

No tenemos ninguna información sobre el pupitre de la línea de BIA ALAMBRES, por lo que SAIZAR da y debe recibir esta información sobre el mismo.



BIA ALAMBRES facilitará la información sobre las características de las bobinas de alambre y la orden de marcha de ciclo. Dicha información deberá estar metida en el pupitre de la línea de BIA ALAMBRES para que mediante señales cableadas, el pupitre de la Línea sepa esa información.

El PLC de SAIZAR informara al PLC de BIA ALAMBRES lo siguiente:

- Bobina alcanzado su peso requerido.
- Bobina de alambre al final de la Línea preparada para ser evacuada.
- Línea automática de flejado trabajando.
- Línea automática de flejado en posición de espera lista para comenzar a trabajar.
- Diferentes alarmas que puedan haber.
- Todas las demás señales que solicite BIA ALAMBRES mediante señales cableadas.

El PLC de la línea de BIA ALAMBRES informará al PLC de SAIZAR lo siguiente:

- Características de las bobinas a flejar.
- Peso requerido de la bobina
- Orden de marcha.
- Bobina de alambre evacuada desde el final de la Línea.
- Todas las demás señales que solicite SAIZAR mediante señales cableadas.

En caso de que el cliente no disponga de una comunicación mediante señales cableadas, esa información deberá introducirse manualmente en la pantalla del pupitre.

Componentes hidráulicos de la Línea

- 1 Central oleohidráulica.
- 1 Bloque unidad de fleje.
- 1 Bloque de retención unidad de fleje.
- 6 Cilindros hidráulicos para los movimientos de los elementos del cabezal.
- 1 motor hidráulico para el avance-retroceso de fleje.
- 1 Cilindro hidráulico para el movimiento vertical del cabezal.
- 1 Cilindro hidráulico para el movimiento vertical del sistema de pesaje.
- 1 Cilindro hidráulico para el corte del alambre.
- 2 Presostatos analógicos.
- 9 Electroválvulas.
- 1 Electroválvula proporcional.
- Reguladores de presión.
- Reguladores de caudal.
- Refrigerador de aire.
- Tubería, racores, manómetro y materiales.

Componentes neumáticos de la Línea

- 1 Cilindro neumático para la lanza vertical.
- 1 Cilindro neumático para la lanza horizontal.
- 1 Cilindro neumático para la clapeta.
- 2 Cilindros neumáticos para el sistema de corte del alambre.
- 5 Electroválvulas.
- 1 Regulador de presión + grupo de filtraje.
- Racorería.
- Mangueras
- Materiales.

Proveedores habituales de los elementos de la Línea

- Elementos eléctricos
Autómata: SIEMENS
Motoreductores: BONFIGLIOLI o NORD o LENZE o SIEMENS
Detectores: TELEMECANIQUE (SCHNEIDER)
- Elementos hidráulicos
Electroválvulas: PARKER o REXROTH
Motores hidráulicos: DANFOSS
- Elementos neumáticos
Electroválvulas / cilindros: SMC o PNEUMAX

NOTA: En caso de estar interesado en algún otro proveedor eléctrico, hidráulico o neumático, consultar con el Dto. Ingeniería de SAIZAR para saber si es factible y si por ello se incrementa el precio de la Flejadora.

E - Funcionamiento de la Línea

La bobina de alambre será formada en la mesa de rodillos de entrada. Es indispensable que la bobina de alambre siempre sea formada en el mismo punto de referencia, es decir, que el centro de la bobina de alambre siempre sea el mismo independientemente de las características del mismo.

El cliente deberá facilitar la información antes mencionada (en el apartado eléctrico) mediante señales cableadas al PLC de la Línea o bien introducir la misma manualmente en la pantalla del pupitre de la Línea, para que la misma pueda realizar cada uno de los flejados. Este es el proceso de flejado una vez recibida toda la información solicitada y estando la bobina detenida en la mesa de rodillos con sistema de pesaje:

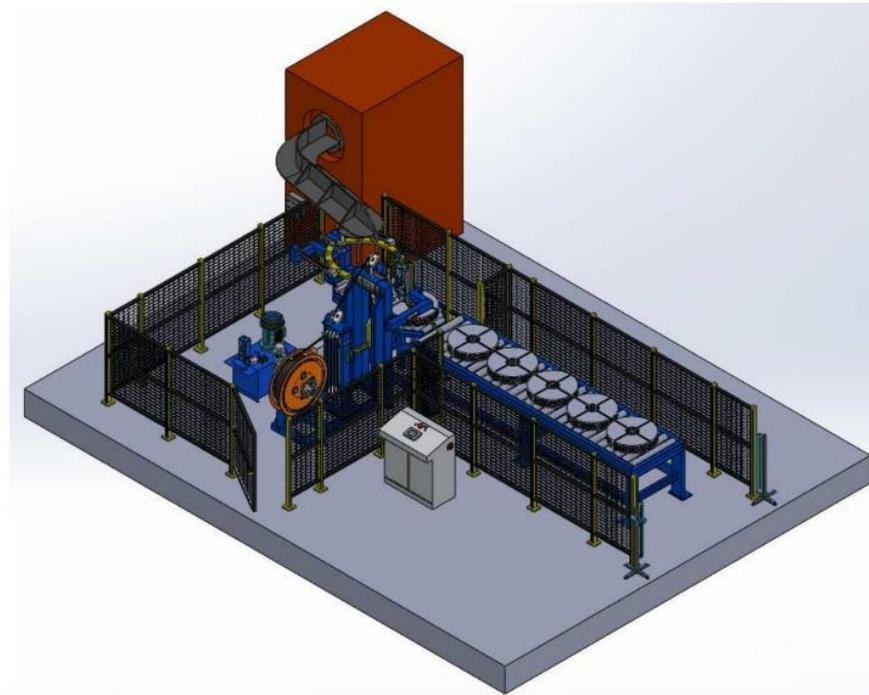
1. Mientras la bobina de alambre está siendo formada el sistema de pesaje se elevará para separar la bobina de alambre de los rodillos de la propia mesa y de este modo, cuando la bobina de alambre llegué al peso determinado por el operario es cuando mandara una señal para que se detenga la alimentación del alambre. Es entonces cuando el alambre deberá ser cortado bien en modo automático o en modo manual, en función de la opción escogida por el cliente.
2. Una vez la bobina de alambre esté completamente formada y cortada, la misma descenderá sobre los rodillos y será desplazada a la posición de flejado y es cuando las dos lanzas se casarán con el guiado de la mesa de flejado para poder alimentar el fleje por el diámetro interior de la bobina de alambre.
3. Estando el fleje alimentado, es cuando la punta del mismo será bloqueada y comenzara la recogida del fleje mientras el cabezal desciende contra la parte alta de la bobina de alambre.
4. Tras realizar la recogida del fleje y estando el cabezal contra la bobina de alambre, es cuando se realiza el tensado, sellado y corte del fleje.
5. Habiendo realizado el flejado y estando las lanzas en sus posiciones iniciales, la mesa de flejado girará la bobina de alambre a la siguiente posición de flejado.
6. Para poder realizar los siguientes flejados se llevará a cabo el mismo procedimiento explicado en el primer flejado.
7. Una vez la bobina de alambre haya sido flejada completamente y la Flejadora esté en su posición inicial, la bobina de alambre será desplazada sobre los rodillos hacia el final de la Línea donde el operario podrá evacuar la misma mediante sus medios habituales.

Todo el proceso de flejado se realizará de forma automática por la Línea con todos las bobinas de alambre posicionadas en la mesa de rodillos de entrada con sistema de pesaje.

SAIZAR SL

2. Planos de la Línea

Vista en 3D de la Línea de flejado

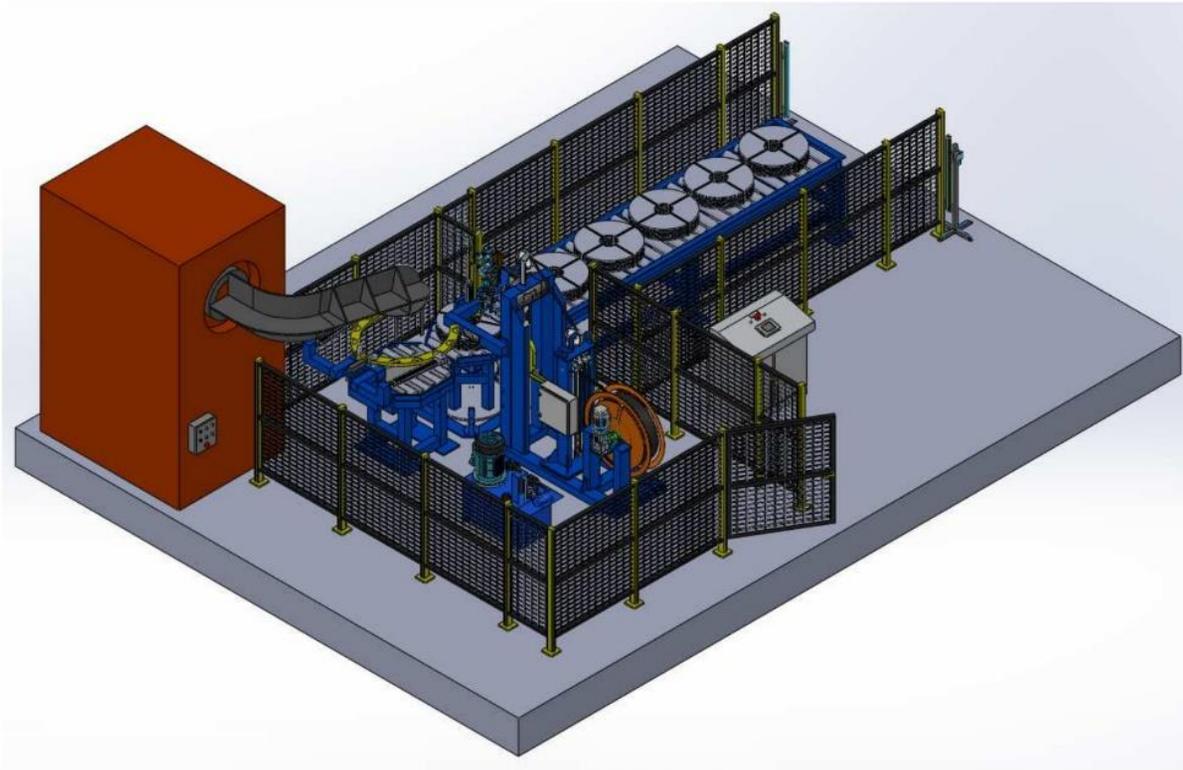


SAIZAR Strapping Machines, Pol. Beotibar N° 4 – 20491 Belauntza – Guipúzcoa -Spain
Tel. +34 943 67 50 68
www.saizar-sl.com

15

SAIZAR SL

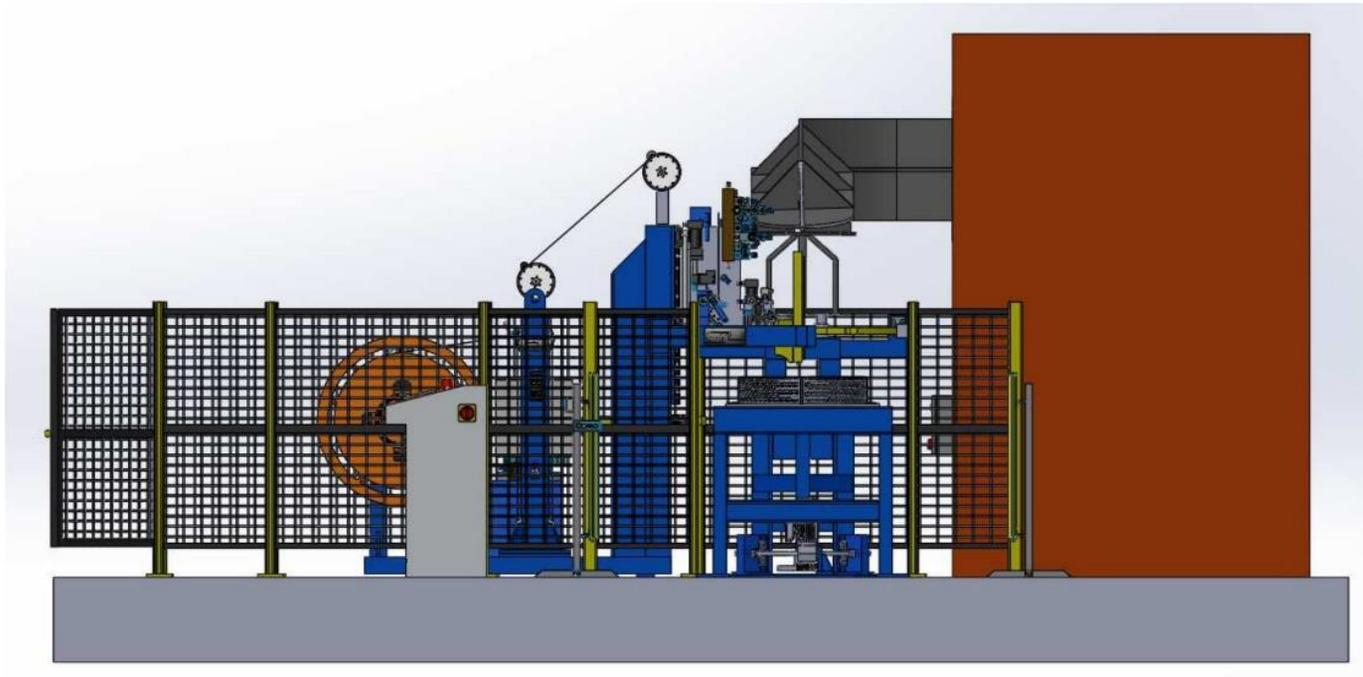
Vista en 3D de la Línea de flejado



SAIZAR Strapping Machines, Pol. Beotibar Nº 4 – 20491 Belauntza – Guipúzcoa -Spain
Tel. +34 943 67 50 68
www.saizarsl.com

SAIZAR SL

Vista lateral de la Línea de flejado



SAIZAR Strapping Machines, Pol. Beotibar Nº 4 – 20491 Belauntza – Guipúzcoa -Spain
Tel. +34 943 67 50 68
www.saizarsl.com

17

SAIZAR SL

Vista lateral de la Línea de flejado

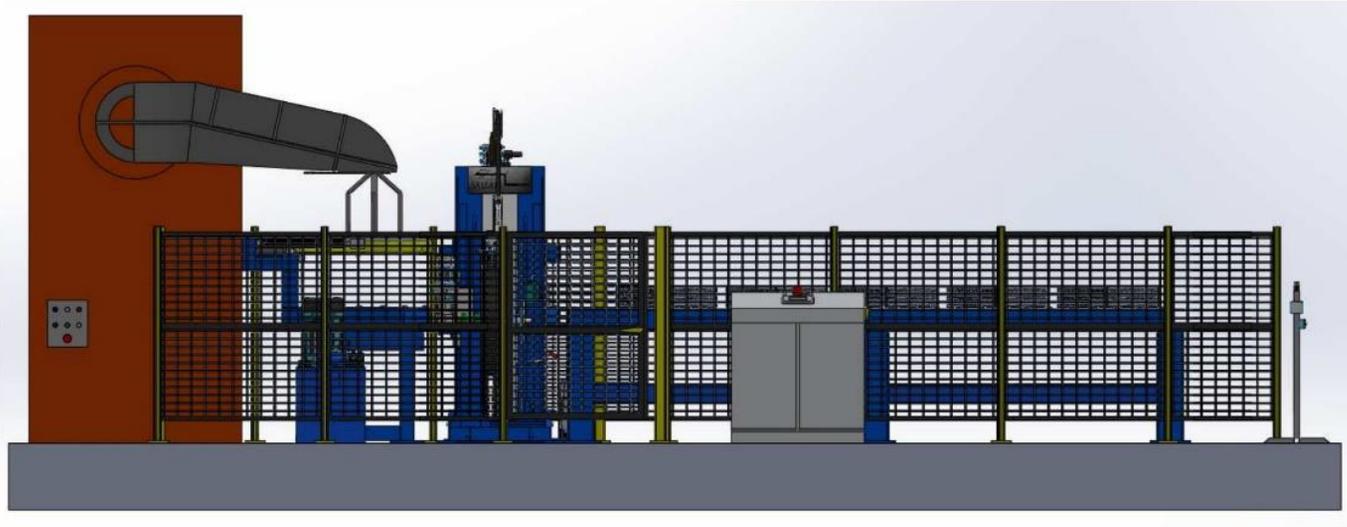


SAIZAR Strapping Machines, Pol. Beotibar N° 4 – 20491 Belauntza – Guipúzcoa -Spain
Tel. +34 943 67 50 68
www.saizarsl.com

18

SAIZAR SL

Vista posterior de la Línea de flejado

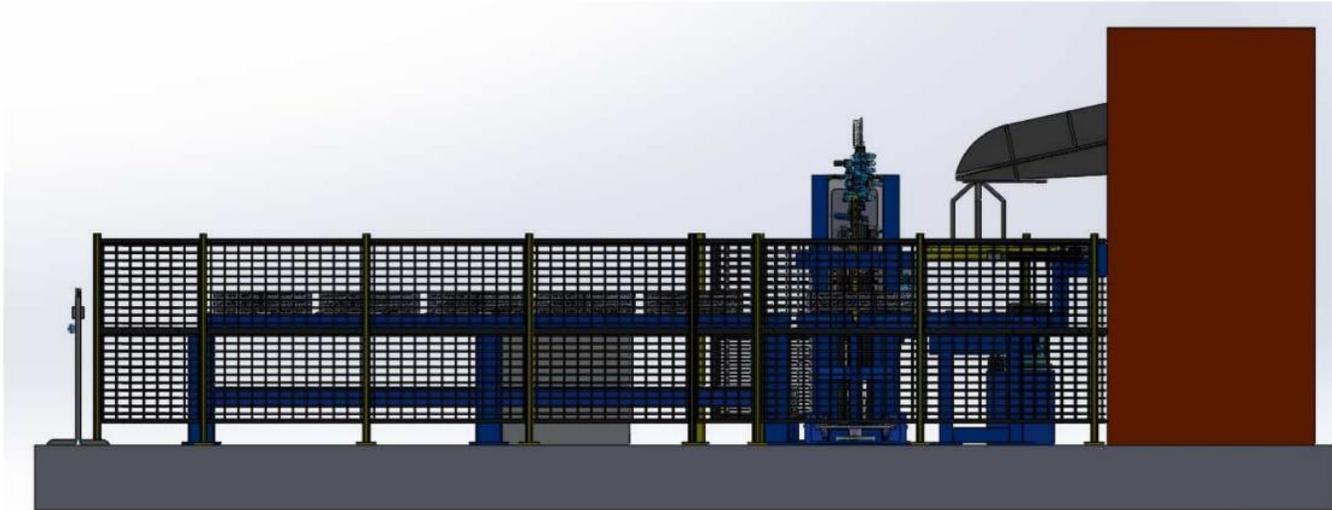


SAIZAR Strapping Machines, Pol. Beotibar N° 4 – 20491 Belauntza – Guipúzcoa -Spain
Tel. +34 943 67 50 68
www.saizarsl.com

19

SAIZAR SL

Vista frontal de la Línea de flejado

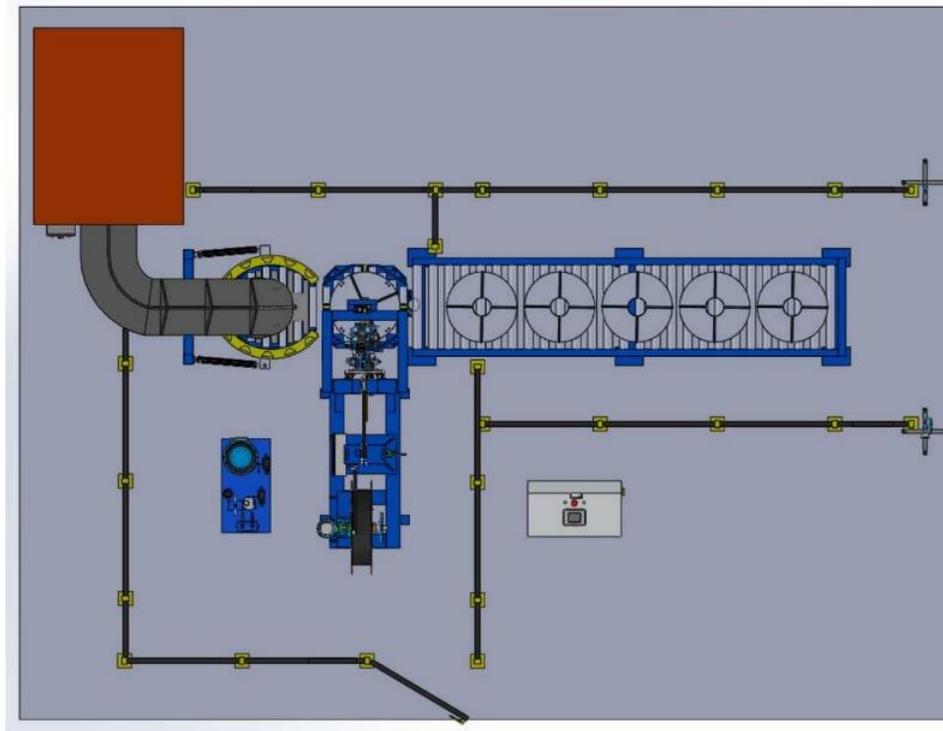


SAIZAR Strapping Machines, Pol. Beotibar Nº 4 – 20491 Belauntza – Guipúzcoa -Spain
Tel. +34 943 67 50 68
www.saizar-sl.com

20

SAIZAR SL

Vista en planta de la Línea de flejado



SAIZAR Strapping Machines, Pol. Beotibar Nº 4 – 20491 Belauntza – Guipúzcoa -Spain
Tel. +34 943 67 50 68
www.saizarsl.com

3. Garantías de rendimiento

- Viabilidad de la Línea: 98%.
- La Flejadora necesita aproximadamente alrededor de 20 segundos para realizar un flejado radial a una bobina de alambre, estando el fleje sin alimentar por el diámetro interior de la bobina de alambre.
- La eficiencia del sellado realizado será del 75% aproximadamente la carga de rotura del fleje utilizando el sistema de 3 entallas dobles en el mismo sentido.

Para obtener estos valores se ha tenido en cuenta el fleje de alta calidad señalado en la oferta. Si la máquina no funciona en correcto estado y si las partes de la misma no están en correctas condiciones, la eficiencia puede ser disminuida. En el manual de instrucciones que acompañara a la Flejadora, se podrá observar los tipos de mantenimientos que deben realizarse a la Flejadora.

- Esta Flejadora puede trabajar con el fleje de acero de cualquiera de las principales compañías fabricantes de fleje de acero. Debiéndose cumplir el requisito de que el fleje debe ser de 16mm x 0,80 / 1,00mm y que el mismo sea de alta calidad y alta resistencia.
- La tensión aplicada a cada flejado: 7000N – 16000N (ajustable dependiendo del material).
- Esta Línea está fabricada para trabajar las 24 horas del día durante los 7 días de la semana.

3.1 Información adicional de las Garantías de rendimiento

- Condiciones para poder cumplir un 98% de eficiencia:
 - BIA ALAMBRES debe realizar los mantenimientos preventivos de la máquina en las fechas especificadas en el manual de instrucciones. El personal de BIA ALAMBRES deberá estar instruido en el funcionamiento de la Línea a través de la formación dada en las instalaciones de SAIZAR y en las instalaciones de BIA ALAMBRES (como opcional).
 - Las revisiones y sustituciones de las piezas deberán realizarse según lo señalado en el manual. Por lo que el cliente deberá tener en consideración lo mencionado en el manual de instrucciones para asegurar el correcto funcionamiento de la Línea.
 - En caso de detectar que algún elemento haya sido roto o dañado, se deberá realizar la sustitución del mismo, debiendo ser realizado este trabajo por los operarios de BIA ALAMBRES, para que la Línea funcione en correctas condiciones.
 - El aceite a utilizar para los componentes hidráulicos deberá ser el señalado en el manual de instrucciones.
 - El aceite de engrase y la grasa a utilizar deberá ser el mencionado en el manual de instrucciones.
 - La garantía de la Línea se ofrece con las piezas originales de SAIZAR.
 - Las bobinas de fleje de acero a utilizar en la Flejadora deben ser las especificadas en el manual de instrucciones, siendo las mismas de alta calidad y alta resistencia.
 - Las revisiones para la limpieza y engrase de la máquina, deberán ser realizadas según el manual de instrucciones.
 - El flejado no debe sufrir ningún golpe para garantizar la fiabilidad del sellado. Además el mismo no se debe mover de su posición.
 - La Línea trabajara según las condiciones requeridas por SAIZAR en el manual de instrucciones.
 - Las características de las bobinas de alambre que deben ser flejadas, deben ser las mencionadas en esta oferta, ya que otras posibilidades no se han tenido en cuenta.

- El cliente debe tener en cuenta que independientemente de las características de las bobinas de alambre, el centro del mismo debe ser el mismo para el correcto funcionamiento de la Línea automática de flejado. Además de ello el alambre deberá estar completamente recogido para no entorpecer el proceso de flejado.
- El área donde la Línea debe trabajar, debe estar limpio y sin ningún obstáculo para no dañar a ningún elemento de la Línea.
- Todos los elementos de la Línea deben trabajar en temperaturas normales, tal y como se describe en la oferta y manual de instrucciones.
- Cualquier modificación, sustitución, etc. que se le haga a la Línea, deberá ser comunicado al equipo de SAIZAR.
- La Línea será ajustada por SAIZAR para trabajar en ciertas velocidades, por lo que esas velocidades no pueden ser manipuladas por los operarios de BIA ALAMBRES.
- Todas las condiciones comentadas en el apartado eléctrico para que comience el proceso de flejado, deberán ser introducidas de forma manual en la pantalla del pupitre o bien deberán ser comunicadas al autómatas mediante una comunicación de señales cableadas.
- Todos los elementos que están fuera de la Línea automática, tales como camino de cadenas, etc. no son responsabilidad de SAIZAR, por lo que si algún elemento ajeno intercepta el funcionamiento de la Línea, no será responsabilidad de SAIZAR.
- Cuando la bobina de fleje de acero se haya finalizado en el dispensador, mandará una señal al PLC comunicando al operario dicho fallo, por lo que el operario deberá sustituir el mismo.
- SAIZAR no es responsable de cómo este fijada la 1ª vuelta del fleje en el propio mandrino de la bobina de fleje de acero. Para que el fleje pueda pasar sin ningún problema por el acumulador, es necesario que el fleje este liso y que el mismo este sin ninguna curvatura.
- La sustitución de los elementos de la Línea es muy sencilla. Personal de SAIZAR puede instruir al personal de BIA ALAMBRES. En el manual de instrucciones aparecen todos los puntos necesarios a tener en cuenta para garantizar el correcto funcionamiento de la Línea.
- Mantenimiento preventivo de la Línea:
Semanal
 - Limpieza de los detectores de la Línea.
 - Limpieza con aire de las zonas de alimentación, recogida, tensado y sellado del fleje.
 - Limpieza de la partes de la Línea.

Mensual

- Comprobar el nivel de aceite del grupo hidráulico de la Línea.
- Revisar el engrase de las partes móviles de la Línea automática.

Cuatrimestral

- Revisar el estado de la cuchilla móvil.
- Revisar el estado de la cuchilla fija.
- Revisar el estado de las mordazas principales.
- Revisar el estado de la rueda de arrastre.
- Revisar el estado del rodillo.
- Revisar el estado del troquel.
- Revisar el estado del plato de tensado.
- Revisar el estado de los puentes intermedios.
- Revisar el estado de las bielas de tensado.
- Revisar el estado de los pasadores de tensado.
- Revisar el estado de la clapeta.

Anual

- Revisar el estado de las poleas del acumulador.
 - Revisar el estado del filtro del grupo hidráulico.
-
- Todos los elementos de la Línea son fáciles de asimilar por el operario de mantenimiento, ya que está diseñada para dar las máximas facilidades posibles. Todos los elementos de la Línea son comerciales pudiendo ser conseguidos fácilmente. Estos son los elementos de la Línea que deberán ser suministrados exclusivamente por SAIZAR:
 - Plato de tensado.
 - Bielas de tensado.
 - Pasadores de tensado.
 - Rueda de arrastre.
 - Mordazas principales.
 - Rodillo.
 - Troquel.
 - Cuchilla móvil.
 - Cuchilla fija.
 - Puentes intermedios.
 - Clapeta.
 - Mandíbula completa.
 - Cabezal completo.

El resto de los elementos son comerciales: cilindros, electroválvulas, encoder, motores, etc. que pueden ser conseguidos por el cliente por sus proveedores habituales.

4. Listado de repuestos recomendados

Este es el listado de repuestos que recomendamos para garantizar el correcto funcionamiento de la Línea automática.

REPUESTOS PARA EL SISTEMA DE SELLADO POR ENTALLADURA	
DESCRIPCION	CANTIDAD
Poleas	3
Bielas de tensado	4
Pasadores de tensado	4
Plato de tensado	1
Rueda de arrastre	1
Cuchilla móvil	1
Cuchilla fija	1
Puentes intermedios	2
Mordazas principales	2
Rodillo	1
Troquel	1

5. Calendario del proyecto

Cada mes está dividido en 2 semanas, partiendo de la base de que BIA ALAMBRES aceptase la oferta a principios de Marzo del 2019.

ID	Descripción	2019													
		Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	Aceptación de la oferta	█													
2	BIA ALAMBRES facilitará la máxima información posible de la planta	█													
3	Visita a realizar a la planta de BIA ALAMBRES para coger las medidas definitivas, etc.	█													
4	Fabricación & Montaje del cabezal automático de flejado	█	█												
5	Diseño de la Línea automática	█	█												
6	Comienza la fabricación y el montaje de los elementos de la Línea		█	█	█	█	█	█	█	█	█				
7	Línea preparada para pruebas en nuestras instalaciones de SAIZAR											█	█		
8	Personal de BIA ALAMBRES comprobaba en nuestras instalaciones de SAIZAR, que la Línea cumple con todas las especificaciones descritas en la oferta												█		
9	Durante la visita del personal de BIA ALAMBRES a nuestras instalaciones, se les instruirá en el manejo de la misma												█		
10	Línea embalada preparada para el envío														█

6. Condiciones comerciales

Formas de pago

- 30% a la aceptación de la oferta mediante transferencia bancaria. A su vez SAIZAR en los siguientes días de recibir el Pedido junto con la oferta firmada y el pago mencionado, entregara un aval por el mismo importe con una validez de 6 meses, hasta la fecha de salida de la Línea de las instalaciones de SAIZAR.
- 65% mediante transferencia bancaria antes del envío de la Línea a las instalaciones de BIA ALAMBRES y tras la aprobación de la Línea en nuestras instalaciones de SAIZAR o nunca más tarde de 6 meses tras la aceptación de la oferta.
- 5% mediante transferencia bancaria a los 30 días de haber realizado SAIZAR la supervisión del montaje, puesta en marcha y formación de la Línea en las instalaciones de BIA ALAMBRES o nunca más tarde de 60 días de la fecha de envío de la Línea a las instalaciones de BIA ALAMBRES.

Nota: Todos gastos bancarios de las transferencias a realizar serán a cargo del comprador. A su vez en caso de que hubiera algún Crédito Documentario para los pagos mencionados, todos los gastos del mismo correrían a cuenta del comprador (incluido el gasto por confirmación).

Plazo de entrega

- 6 meses tras recibir la aceptación de la oferta (oferta firmada, Pedido emitido y pago del 30%).

Precio de la Línea

- #1 Mesa de rodillos de entrada con sistema de pesaje integrado.
- #1 Mesa de flejado con sistema de giro integrado.
- #1 Flejadora automática modelo FASA-16, con sistema de sellado por entalladura para el flejado radial de bobinas de alambre, compuesto por:
 - #1 dispensador de fleje.
 - #1 acumulador de fleje.
 - #1 cabezal de flejado.
 - #1 sistema para el movimiento vertical del cabezal.
 - #1 lanza vertical.
 - #1 lanza horizontal.
 - Bastidores correspondientes.

- #1 Mesa de rodillos de salida para la evacuación de las bobinas de alambre.
 - #1 Cerramiento de seguridad con una puerta de acceso.
 - # Instalación eléctrica, neumática e hidráulica de los elementos mencionados.
 - Documentación y planos.
 - Exwork en las instalaciones de SAIZAR + embalaje para transporte marítimo.
 - Otros elementos mencionados en la oferta.
- SUMA..... 161.500 €

Elementos opcionales ofertados

- Repuestos.
SUMA..... 4.600 €
- Supervisión del montaje, puesta en marcha y formación de la Línea ofertada en las instalaciones de BIA ALAMBRES en Costa Rica.
SUMA..... 9.900 €
(9 días x 2 técnicos x 550 euros/día).

En este precio no se incluyen los gastos de desplazamiento (tiempo empleado por los operarios así como los gastos logísticos ya sea coche, avión, etc.), dietas, estancias en destino, siendo estos gastos asumidos por el cliente.

Dichos gastos se deberán pagar antes de que los técnicos de SAIZAR se desplacen hasta las instalaciones de BIA ALAMBRES en Costa Rica.
- Transporte 2 opciones:
CIF Puerto de Moín – Limón - Costa Rica.
SUMA..... 4.500 €

DDP Orotina – Alajuela – Costa Rica
SUMA..... 34.200 €

SAIZAR SL

- #1 Sistema automático para el corte del alambre.
SUMA..... 6.000 €
- #1 Barrera fotoeléctrica para la zona de evacuación de las bobinas.
SUMA..... 3.900 €

Validez de la oferta

- 2 meses.

7. Garantía

- Formación a los trabajadores de BIA ALAMBRES en las instalaciones de SAIZAR para explicar el funcionamiento de la Línea y a su vez al maquinista se le entregara un manual de instrucciones de la Línea.
- La supervisión del montaje, puesta en marcha y formación de la Línea y de los demás componentes ofertados en las instalaciones de BIA ALAMBRES es de aprox. 9 días laborables y este trabajo no está incluido en el precio de la Línea.
- La Línea tiene una garantía de 1 año, con las piezas originales de SAIZAR. Dicha garantía se ofrece en las instalaciones de SAIZAR.
- En caso de avería se deberá de comunicar exclusivamente a Flejadoras SAIZAR
- Cambio gratuito de las piezas defectuosas de fabricación, durante un año desde la puesta en marcha (no estando incluido las piezas desgastadas por su uso).
- La garantía no cubre los desperfectos causados por mal uso de la máquina o por motivos de imprudencia o defectuoso mantenimiento de la misma o colocación de las piezas no originales de SAIZAR.
- Suministro de repuestos de la Línea en 2 días en nuestras instalaciones de Belauntza (Guipúzcoa), teniendo los mismos en stock.
- SAIZAR ofrece un servicio de asistencia tecnica para poder asistir a la planta de BIA ALAMBRES en Costa Rica, para poder realizar los mantenimientos preventivos – correctivos de la Línea.
- SAIZAR facilitará un manual en el que recomendara los tipos de mantenimientos preventivos y correctivos a realizar a la Línea. Para garantizar el buen funcionamiento de la máquina, BIA ALAMBRES deberá realizar los mismos.
- Si desean realizar revisiones periódicas a la Línea, el precio es el que ya tenemos estipulado en el año 2019 (el cual se ira actualizando año por año) con el Departamento de Compras, en cuanto a las horas de trabajo y las salidas por persona.

En esta oferta no se incluyen los siguientes conceptos:

- En caso de requerir tener que realizar la obra civil, la misma no está incluida en el precio de la Línea.
- Los elementos de fijación de la Línea y de los demás elementos ofertados al suelo del cliente no están incluidos en la oferta.
- Los repuestos de la Línea no están incluidos en esta oferta, a menos que se trate de una pieza defectuosa de fabricación. Las mismas se ofertan por separado al precio de la Línea.
- La supervisión del montaje, puesta en marcha y formación de la Línea no está incluido en la oferta, habiéndose ofertado este concepto por separado.
- El transporte de la Línea desde las instalaciones de SAIZAR a las instalaciones de BIA ALAMBRES se oferta por separado en dos modalidades diferentes CIF Puerto de Moín / DDP Orotina Alajuela.
- El sistema de corte del alambre se ha ofertado por separado al precio de la Línea, no estando incluido dentro del precio de la Línea.
- La barrera fotoeléctrica para la entrada del operario desde la salida de la Línea, se ha ofertado por separado al precio de la Línea, no estando incluido dentro del precio de la Línea.
- Los movimientos de la grúa, etc. es decir, todo lo ajeno a la Línea ofertada por SAIZAR, quedan exentos de responsabilidad por parte de SAIZAR. Todos los elementos móviles ajenos a SAIZAR, deberán estar fuera de la zona de flejado o bien detenidos mientras la Línea esté realizando los flejados.
- Será responsabilidad de BIA ALAMBRES el hecho de formar centrados las bobinas de alambre independientemente de las características de los mismos. A su vez el alambre deberá estar completamente recogido para no entorpecer el proceso de flejado.
- En caso de haber una comunicación mediante señales cableadas entre la Línea automática de flejado y la Línea de BIA ALAMBRES, es indispensable que en un máximo de 30 días tras la aceptación de la oferta, se le comunique a SAIZAR todas las señales de comunicación para realizar esos trabajos en las instalaciones de SAIZAR y antes del envío de la Línea a las instalaciones de BIA ALAMBRES. En caso de no disponerlo en ese plazo, dicho trabajo sería ofertado aparte al precio de la Línea.
- En caso de adquirir la Línea automática para una medida de fleje determinada y el cliente quisiera sustituir la medida del fleje a utilizar en la Flejadora (estando la Flejadora fabricada), tanto la mano de obra como las piezas necesarias para dicho cambio no están incluidas en la oferta. El cliente deberá definir antes de aceptar la oferta que medida de fleje se pretende utilizar en la Flejadora.

- Las bobinas de fleje de acero de 16mm para realizar la puesta en marcha en las instalaciones de SAIZAR y de BIA ALAMBRES.
- La colocación de la bobina de fleje en el dispensador será realizado manualmente por el operario.
- El aceite hidráulico y la grasa no están incluidos en la oferta.
- El cableado eléctrico con una corriente de 240V, la toma de aire con una presión de 6 bares y la toma de aire hasta la posición de la Línea.
- En caso de requerir de la grúa para la descarga de la Línea, no está incluido en la oferta. SAIZAR necesitara la grúa disponible de la empresa BIA ALAMBRES poder colocar la Línea en la posición de flejado.
- En caso de requerir de personal mecánico, eléctrico o electrónico para realizar los trabajos de supervisión del montaje y puesta en marcha de la Línea en las instalaciones de BIA ALAMBRES, el cliente lo debe de facilitar sin ningún problema.
- En caso de que al tener que realizar la supervisión de la puesta en marcha en las instalaciones del cliente, SAIZAR tuviera que estar esperando por algún concepto ajeno a SAIZAR (temas de comunicación, no disponibilidad del material, etc.), dicho tiempo de espera se facturaría por administración.
- Las bobinas de alambre y las bobinas de fleje de acero deberán ser facilitados por BIA ALAMBRES así como la línea de fabricación del alambre, para poder acometer los trabajos de supervisión del montaje y puesta en marcha en las instalaciones de BIA ALAMBRES. Para acometer esos trabajos es necesario tener la disponibilidad total de la Línea para así evitar posibles demoras.
- Para realizar los trabajos de puesta en marcha en las instalaciones de SAIZAR, es necesario que el cliente envíe bobinas de alambre y bobinas de fleje de acero de diferentes medidas para así probar la Línea con los elementos que el cliente dispone en su planta de producción.
- Las protecciones para disminuir el nivel de ruido.

NOTA

En caso de que BIA ALAMBRES quisiese modificar alguno de los conceptos contemplados en la oferta, podemos estudiar lo requerido por el cliente y ajustarnos a las necesidades técnicas que requiera el cliente. Por lo que esta oferta puede ser revisada en función de las necesidades del cliente. En principio se ha estimado que la mejor opción de cara a automatizar el proceso de flejado radial de las bobinas de alambre, es fabricando los elementos ofertados en la oferta.

FLEJADORAS SAIZAR se reserva el derecho a realizar posibles modificaciones a cualquiera de las partes (piezas, diseño, etc.) de los elementos ofertados así como de los proveedores, para garantizar el correcto funcionamiento de la Línea.

El funcionamiento de la Línea, se probará en FLEJADORAS SAIZAR con algunos de las bobinas de alambre de similares características a las de BIA ALAMBRES. Personal de la empresa BIA ALAMBRES dará el visto bueno de la Línea en nuestras instalaciones, antes de enviar la misma a la planta de BIA ALAMBRES.

Para que esta oferta tenga validez la misma deberá ser firmada por el cliente a la aceptación de la misma. SAIZAR comenzara con la fabricación de la máquina una vez recibido el 30% inicial del proyecto.

Una vez el cliente haya pagado el 100% del valor de las máquinas, las mismas serán propiedad del cliente. Mientras no pague el 100% del valor, las máquinas serán propiedad de SAIZAR.

Las condiciones anotadas en esta oferta prevalecen ante cualquier condición anotada en cualquier otro documento.

En caso de litigio ambas partes acuerdan acogerse al Juzgado de San Sebastián para poder reclamar cualquier concepto que pueda repercutir al comprador y al vendedor.

Una vez recibido el cobro del 30% inicial, BIA ALAMBRES adquiere el compromiso de adquirir la Línea aceptada. En caso de que el cliente quisiese suspender la adquisición de la Línea, un perito valoraría el estado en el que se encuentra la fabricación de la Línea en ese momento, para así tener que pagar los gastos ocasionados a SAIZAR en la fabricación de la misma. Los gastos del perito correrían a cargo del comprador por querer suspender la entrega del equipo.

Firmado
FLEJADORAS SAIZAR
JOSE SAIZAR

Firmado
BIA ALAMBRES



Anexo 2. Propuesta Servicios Técnicos del Pacífico



SERVICIOS TÉCNICOS DEL PACÍFICO

CONTACTO

Actual Roble Puntarenas
Puntarenas y Guanacaste
japeraltam@yahoo.es
elianrp81@gmail.com

BIA ALAMBRES/BEKAERT COSTA RICA

Puntarenas Marzo de 2019.

COT: STP-00201

Adjunto encontrará la cotización solicitada, misma que esperamos sea de su entera satisfacción. En caso de tener alguna consulta o requerir alguna modificación, por favor no dude en comunicarse con el suscrito a los Tel.: (506) 26634881

Servicios técnicos del Pacífico le agradece la preferencia por nuestros productos y servicios.

Atentamente

Ing. Javier Fco Peralta M.
IME-8204

Elián Rivera Porras
603270868

CORREO ELECTRÓNICO

NOMBRE DE USUARIO DE
TWITTER

TELÉFONO

DIRECCIÓN URL DE
LINKEDIN



SERVICIOS TÉCNICOS DEL PACÍFICO

Rogamos revisar detalladamente esta cotización y corroborar que corresponde satisfactoriamente a la solución requeridas. La presente oferta es el resultado de nuestra interpretación de la información recibida, por lo cual el servicio técnico se limita al suministro de los productos y servicios en los términos que se detallan en esta cotización:

Forma de pago: 25% por adelantado contra orden de compra.
50% del pago sobre 50% de avance de la obra.
25% al entregar la obra según contrato.

Tiempo de entrega:

El tiempo de entrega se indica en cada partida y es contado a partir de la fecha de inicio de la obra

Revisión de precios:

Los precios de esta oferta pueden variar si cambia cualquiera de las siguientes condiciones:
-Si su orden de compra ingresa superados los 30 días de la fecha de entrega de la misma.
-Si el cliente solicita modificaciones de características y/o cantidades.

Valor Total de la oferta:

CTO	\$ 237 775
IVI	

Valor Total	\$ 237 775

CORREO ELECTRÓNICO

NOMBRE DE USUARIO DE
TWITTER

TELÉFONO

DIRECCIÓN URL DE
LINKEDIN

2



SERVICIOS TÉCNICOS DEL PACIFICO

DETALLE

1. SISTEMA ELECTRICO

Interconexión y puesta en marcha de sistema pesado, corte y marrado (automatización de proceso de trefilado) para la línea de la maquina número 9 de la compañía BIA Alambres/Bekaert Costa Rica

2. MAQUINA CORTADORA DE ALAMBRE ACERO

Suministro e instalación de Maquina VOORTMAN-----, de 480 V y 0.25 kW

3. BASCULA DE MESA CON SISTEMA DE RODILLOS

Suministro e instalación de Maquina pesadora marca BALLAR. de 480 V y 1.25 kW

4. FLEJADORA AUTOMATICA MOSCA

Suministro e instalación de Maquina de 480 V y 5 kW

5. MESA DE RODILLOS

Suministro e instalación de 480 V y 1.5 kW

DESCRIPCION DEL PROCESO AUTOMATICO

El proceso inicia con la colocación del alambre sobre la báscula de pesaje del peso requerido según las necesidades del cliente, se envía una señal para el corte del alambre, posteriormente, mediante un sistema de rodillos se pasa a la flejadora que tarda aproximadamente 40 segundos para realizar el proceso, por último, los rollos formados caen a una bahía con espacio para 8 rollos de alambre.

CORREO ELECTRÓNICO

**NOMBRE DE USUARIO DE
TWITTER**

TELÉFONO

**DIRECCIÓN URL DE
LINKEDIN**

3



SERVICIOS TÉCNICOS DEL PACIFICO

Todo el sistema se entregará probado, y con la respectiva garantía, y asesoramiento, lo mismo que la capacitación requerida para uso de todos los equipos que componen el sistema (no incluye formación de uso).

ITEM	DESCRIPCION	RUBRO
1	- Sistema de fleje y peso	\$ 192 600
2	- Repuestos	\$ 8 350
3	- Puesta en planta	\$ 1 250
4	- Barrera de seguridad	\$ 9 475
5	- Sistema de corte	\$ 14 600
6	- Capacitación de uso y puesta en marcha	\$ 6 700
7	- Bahía de almacenaje	\$ 4800

Costo Total	\$ 237 775
Costo con IVI	\$ 237 775

NOTAS:

El sistema de peso tiene una precisión de 50 gramos por lo tanto este sistema tiene una eficiencia del 100% en los cálculos de peso.

Impuestos incluidos en el precio.

Garantía: 24 meses

Los precios unitarios son para efectos de referencia y solo aplican para la compra del total del paquete descrito en la cotización. Cualquier variación en las líneas o cantidades puede implicar un cambio en los precios por lo que debe ser consultado

Favor de revisar la lista de materiales y confirmar que ésta cumpla con sus requerimientos. La oferta está basada en nuestra interpretación de la información suministrada y está limitada a los equipos descritos.

CORREO ELECTRÓNICO

NOMBRE DE USUARIO DE
TWITTER

TELÉFONO

DIRECCIÓN URL DE
LINKEDIN

4

Anexo 3. Propuesta Ficmams



Fabricación Industrial Comercial MAMS S.A.
Cédula Jurídica: 3-101-667856
San Sebastian, San Jose
Costa Rica

Cotización

Oferta #: OFV-002127

Cliente:
BIA ALAMBRES COSTA RICA
Puntarenas centro Contacto:

Fecha : 21 feb 2019
Validez : 07 mar 2019

#	Artículo & Descripción	Cant.	Precio Unit.	Total Linea
1	BOBINADORA DE ALAMBRE, SEGUN REQUERIMIENTO DEL CLIENTE. DETALLES: -Maquina bobinadora de Alambre -Para uno pesado capacidad 1 tonelada -Estructura construida con acero ASTM-A36 -Estructura protegida con anticorrosivo y esmalte industrial -Requerimientos electricos : 240/480 V , 3 fases PRINCIPALES FUNCIONES: -Bobinado y Corte de alambre. -Con sistema contador segun los metros requeridos de cable .	1.00	77,356.00	77,356.00
2.	Sistema de amarrado	1.00	22,500.00	22,500.00
3.	Repuestos	1.00	14,035.00	14,035.00
4.	Capacitacion y montaje	1.00	8,500.00	8,500.00
5.	Bahía de almacenaje	1.00	10,350.00	10,350.00
6.	Sistema de seguridad perimetral	1.00	12,500.00	12,500.00

Total \$145,241.00

Notas

Se prevee una eficiencia del 75% sobre las actuales condiciones. Debido a que se recomienda 450 g mas de producto (10% de incertidumbre) esto para evitar futuros inconvenientes legales. (Aproximadamente 24 m)
El precio del Sistema incluye puesta en marcha.
Se prevee un costo eléctrico aproximado de 15 kW.
Vida útil 15 años.

Términos y condiciones

- Validez de la Oferta: 15 días.
- Tiempo de entrega: de: 06 semanas.
- Forma de Pago: 60% contra orden de compra y 40% contra entrega.
- Garantía: 6 meses contra defectos de fabricación, en condiciones optimas de instalación, uso, y siguiendo las recomendaciones de mantenimiento.



HISTORIA

Somos una empresa costarricense fundada en 2013 por los ingenieros Guillermo Castro Sánchez y Marco Monge Sanabria, ambos con una amplia experiencia profesional en diseño, construcción, instalación e implementación de proyectos industriales. En nuestro desempeño profesional hemos servido en países como Colombia, Costa Rica, Nicaragua, Guatemala, Honduras, Panamá, y Brasil.

El objetivo de nuestra empresa es suplir las necesidades técnicas e inventivas, proporcionando soluciones eficientes y efectivas a nuestros clientes. Para eso nos concentramos en ofrecer los mejores productos, y contar con un equipo de colaboradores entusiastas, lo que asegura la confianza de nuestros clientes.

MISIÓN

Suplir las necesidades técnicas e inventivas, proporcionando soluciones eficientes y efectivas a nuestros clientes.

VISIÓN

Ser una empresa líder en nuestros campos de aplicación, basados en el crecimiento y la excelencia como equipo de trabajo.

