

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Industrial

“EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE DUCTOS EN LÁMINAS DE ACERO GALVANIZADO PARA CLIMATIZACIÓN EN LA EMPRESA JK PROJECTS PERÚ”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autor:

Juan Manuel Benites Leyva

Asesor:

Ing. Dr. Mg. Lic. Edwin Apolinario

Lima - Perú

2019

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS

El asesor Edwin Apolinario, docente de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera profesional de **INGENIERÍA INDUSTRIAL**, ha realizado el seguimiento del proceso de formulación y desarrollo de la tesis de los estudiantes:

- Benites Leyva, Juan Manuel

Por cuanto, **CONSIDERA** que la tesis titulada: EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE DUCTOS EN LÁMINAS DE ACERO GALVANIZADO PARA CLIMATIZACIÓN EN LA EMPRESA JK PROJECTS PERÚ para aspirar al título profesional de: Ingeniero Industrial por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas, por lo cual, AUTORIZA al o a los interesados para su presentación.

Ing. /Lic./Mg./Dr. Nombre y Apellidos
Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN



El Jurado Evaluador de Titulación Profesional de: Evaluación y Propuesta de mejora de la productividad en el proceso de fabricación de ductos en láminas de acero galvanizado para climatización en la empresa JK Projects Perú

Que ha sustentado el (la) Bachiller: Juan Manuel Benites Leyva

Acuerda por: Unanimidad Aprobar
(Unanimidad/Mayoría) : (Aprobar/Desaprobar)

Otorgando la calificación de: dieciocho (Excelente)

Este acuerdo se hizo de conocimiento del interesado (a) y del público asistente.

Mg. Ing.	Isoli jaylin Nahely Ruge Gonzalez	
Presidente(a) del Jurado	Nombre y Apellidos	Firma
Mg. Ing.	Christian J. Briceño Weiss	
Miembro del Jurado	Nombre y Apellidos	Firma
Mg. Ing.	Piero Ceneo Maldonado	
Miembro del Jurado	Nombre y Apellidos	Firma

Lima 15 de enero del 2020

Aprobado

- Calificativo:
- Excelente [20 - 18]
 - Sobresaliente [17 - 15]
 - Bueno [14 - 13]
 - Aprobado [12]

Desaprobado

NOTA: En el caso de la desaprobación, al bachiller se le otorga un plazo de 30 días hábiles para una segunda sustentación. Si desaprobara por segunda vez, debe reiniciar el proceso de obtención del Título Profesional. Este incluye el pago integral del derecho respectivo. (Reglamento de Grados y Títulos)

ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS

Los miembros del jurado evaluador asignados han procedido a realizar la evaluación de la tesis del estudiante JUAN MANUEL BENITES LEYVA para aspirar al título profesional con la tesis denominada: EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE DUCTOS EN LÁMINAS DE ACERO GALVANIZADO PARA CLIMATIZACIÓN EN LA EMPRESA JK PROJECTS PERÚ

Luego de la revisión del trabajo, en forma y contenido, los miembros del jurado concuerdan:

Aprobación por unanimidad

Aprobación por mayoría

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Desaprobado

Firman en señal de conformidad:

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos
Jurado
Presidente

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos
Jurado

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos
Jurado

DEDICATORIA

*Dedicado a mi familia, en especial a mi esposa,
Karina Gallo R. A mi madre, Sra. María Modesta
Leyva R por su amor infinito y gran fortaleza, a
mis hijos por inspirarme.*

(Juan Benites)

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento especial a la Universidad Privada del Norte por la oportunidad de alcanzar nuestras metas profesionales.

A nuestros docentes, profesionales de gran sabiduría quienes se esforzaron por ayudarnos al punto que nos encontramos ahora.

Tabla de contenidos

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS	2
ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS	4
DEDICATORIA.....	5
AGRADECIMIENTO	6
ÍNDICE DE TABLAS.....	9
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	11
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	11
ÍNDICE DE ANEXOS	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1. Realidad problemática	14
1.2. Justificación	15
1.2.1. Justificación teórica.....	15
1.2.2. Justificación aplicativa	16
1.2.3. Justificación académica.....	16
1.3. Antecedentes	16
1.3.1. Antecedentes Nacionales.....	16
1.3.2. Antecedentes Internacionales	18
1.4. Bases teóricas.....	20
1.4.1. Productividad	20
1.4.1.1. Productividad Total	20
1.4.1.2. Índice de productividad global	20
1.4.1.3. Productividad Parcial.....	21
1.4.1.3.1 Índice de productividad parcial de mano de obra.....	21
1.4.1.3.2 Índice de productividad parcial de materiales	21
1.4.1.3.3 Índice de productividad parcial de maquinaria	21
1.4.1.3.4 Productividad física.....	21
1.4.1.3.5 Índice de productividad laboral (HH)	22
1.4.2. Metodología DMAIC.	22
1.4.3. Teoría de restricciones (TOC).....	23
1.4.4. Lean Manufacturing.	23
1.4.5. Value Stream Mapping.....	24
1.5. Formulación del problema	24
1.5.1. Problemas Generales	24
1.5.2. Problemas Específicos.....	25
1.6. Limitaciones.....	25
1.7. Objetivos	25
1.7.1. Objetivo general	25
1.7.2. Objetivos específicos.....	26
1.8. Hipótesis	26
1.8.1. Hipótesis general	26
1.8.2. Hipótesis específicas	26
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	27
2.1. Tipo de investigación.....	27
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)	27
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	27
2.4. Procedimiento	28
2.4.1. Definir	28

2.4.2.	Medir.....	28
2.4.3.	Analizar.....	29
2.4.4.	Mejorar.....	29
2.4.5.	Controlar.....	30
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....		31
3.1.	Planteamiento del problema.....	31
3.2.	Desarrollo.....	32
3.2.1.	Evaluación de la productividad actual.	32
3.2.1.1.	Evaluación de la productividad global.	32
3.2.1.1.1	Productividad global en relación al costo unitario.	35
3.2.1.1.2	Evaluación de la productividad parcial.	37
3.2.1.1.2.1	Productividad parcial costo de mano de obra (kg/costo MOD).	37
3.2.1.1.2.2	Productividad laboral (kg/h-h).	39
3.2.1.1.2.3	Productividad laboral (kg/h-h) Mínima aceptable.....	41
3.2.2.	Planteamiento de mejora de proceso para incrementar la productividad.....	42
3.2.2.1.	Planteamiento de mejora de proceso usando la metodología DMAIC.....	42
3.2.2.1.1	Definir.	42
3.2.2.1.1.1	Directriz o declaración del proyecto – Project Charter.	42
3.2.2.1.1.2	Mapa de proceso de la empresa JK Projects Perú E.I.R.L.	43
3.2.2.1.1.3	Layout de planta antes de las mejoras de la empresa JK Projects Perú E.I.R.L.	44
3.2.2.1.1.4	SIPOC del proceso fabricación de ductos metálicos para sistemas HVAC.	45
3.2.2.1.1.5	Diagrama del proceso fabricación de ductos metálicos para sistemas HVAC.	49
3.2.2.1.2	Medir.	51
3.2.2.1.2.1	Resultados de medición del proceso actual.	51
3.2.2.1.2.2	Medición de tiempos del proceso actual.	53
3.2.2.1.2.3	Balance de línea del proceso de fabricación de ductos.	56
3.2.2.1.2.4	Mapa de Cadena de Valor (Value Stream Mapping –VSM).....	59
3.2.2.1.3	Analizar.	60
3.2.2.1.4	Implementar, Mejorar.....	65
3.2.2.1.4.1	Criterio para propuesta de mejora en base a teoría de restricciones (TOC).	65
3.2.2.1.4.2	Plan de mejora de la productividad.	66
3.2.2.1.4.3	Mapa de cadena de valor después de la mejora.....	90
3.2.2.1.5	Controlar.....	91
3.2.2.1.5.1	Análisis de modo y efecto de las fallas del proceso.	92
3.2.3.	Impacto de las mejoras planteadas.	98
3.2.3.1.	Impacto en la productividad.	98
3.2.3.2.	Cálculo de la productividad post mejora.	98
3.2.3.3.	Impacto en el tiempo y el costo.	101
3.2.3.4.	Estado de ganancias y pérdidas del proceso de fabricación e instalación de ductos.	102
3.2.3.5.	Análisis financiero del resultado de la mejora del proceso.	104
3.2.3.5.1	Costos de la implementación de la mejora.	104
3.2.3.5.2	Flujo de efectivo, Valor actual neto (VAN), Tasa interna de retorno (TIR) y Período de recuperación de inversión (PRI).	105
3.2.4.	Prueba de hipótesis.....	108
3.2.4.1.	Hipótesis.....	108

3.2.4.2.	Nivel de significancia (α) = 5%.....	108
3.2.4.3.	Región de rechazo Crítico	108
3.2.4.4.	Estadístico de la Prueba $Z=77.3179339$	109
3.2.4.5.	Conclusión	109
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....		110
4.1.	Discusión.....	110
4.2.	Conclusiones	113
CAPÍTULO 5. BIBLIOGRAFÍA.....		116

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.</i>	<i>Base de Datos – Proyectos ejecutados en el período 2017-2018.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 2.</i>	<i>Productividad global - fabricación (kg/costo).</i>	<i>33</i>
Tabla 3.	Índice de productividad global y costo unitario.	35
Tabla 4.	Productividad parcial de mano de obra (Kg/Costo MOD).....	37
Tabla 5.	Índice de productividad Mano de obra (Kg/h-h).....	39
Tabla 6.	Indicador de productividad mínima aceptable.	41
Tabla 7.	Project Charter evaluación y mejora de la productividad.....	43
Tabla 8.	Resultados de evaluación de la productividad - JKP.....	52
Tabla 9.	Tabla de validación de muestreo de tiempos	54
Tabla 10.	Tabla de precedencia de actividades del proceso de fabricación de ductos.	56
Tabla 11.	Preguntas de Rigor para matriz de ponderación de factores.	62
Tabla 12.	Resultados de la matriz de ponderación - Causa efecto.	63
Tabla 13.	Nuevos tiempos de recorrido de almacén a estación de trazado.	89
Tabla 14.	Criterios de severidad, AMEF.....	93
Tabla 15.	Tabla de calificación - criterio índice de fallas.	94
Tabla 16.	Productividad global post mejora.....	98
Tabla 17.	Productividad parcial costo de mano de obra directa - post mejora.	99
Tabla 18.	Productividad costo de mano de obra - mejorada.	99
Tabla 19.	Resumen- impacto de las mejoras en la productividad.....	100
Tabla 20.	Impacto en el costo y el tiempo de las mejoras.....	101
Tabla 21.	Hoja de costos de la implementación de la mejora.....	104

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1,</i>	<i>Productividad global media ponderada - fabricación.</i>	<i>34</i>
<i>Figura 2,</i>	<i>Productividad global - fabricación- tendencia (kg/costo).....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 3,</i>	<i>Indicador de productividad global de fabricación en relación al costo unitario. ..</i>	<i>36</i>
<i>Figura 4,</i>	<i>Comparación del costo real con el costo Mínimo aceptable.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 5,</i>	<i>Productividad de mano de obra - fabricación de ductos.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 6,</i>	<i>Productividad mano de obra - Fabricación de ductos.</i>	<i>39</i>
<i>Figura 7.</i>	<i>Índice de productividad kg/h-h – Dimensión Productividad Física.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 8.</i>	<i>Índice de productividad kg/h-h – Dimensión Productividad Física.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 9,</i>	<i>Productividad mínima aceptable fabricación de ductos.</i>	<i>42</i>
<i>Figura 10,</i>	<i>Mapa de proceso estratégico -JKP.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 11,</i>	<i>Layout distribución de línea de maquinado.</i>	<i>45</i>
<i>Figura 12,</i>	<i>Proceso de fabricación de ducto, empresa JK Projects Perú E.I.R.L.....</i>	<i>46</i>

<i>Figura 13, Uniones transversales y longitudinales - Tabla SMACNA.</i>	47
<i>Figura 14, Isométrico de Tipo de uniones longitudinales.</i>	48
<i>Figura 15, Isométrico de Tipo de uniones transversales.</i>	48
<i>Figura 16, Actividades del proceso de fabricación de ductos.</i>	49
<i>Figura 17, Flujo del Proceso de fabricación de Ductos.</i>	50
<i>Figura 18, Ficha del proceso de fabricación de ductos.</i>	51
<i>Figura 19, Resultados de la evaluación de la productividad en JKP.</i>	52
<i>Figura 20, Diagrama del proceso actual.</i>	53
<i>Figura 21, Hoja de Observaciones.</i>	54
<i>Figura 22, Gráfico de control de desviación estándar.</i>	55
<i>Figura 23, Tabla de suplementos generales aplicada Fuente: Registro empresa JK Projects Perú E.I.R.L.</i>	55
<i>Figura 24, Diagrama de actividades de Proceso fabricación de ductos.</i>	56
<i>Figura 25, Gráfica de precedencia de actividades, fabricación de ductos.</i>	57
<i>Figura 26, Asignación de actividades, supuesto 1.</i>	58
<i>Figura 27, Asignación y cálculos de operarios.</i>	58
<i>Figura 28, Mapa de Cadena de Valor Proceso de fabricación de ductos.</i>	59
<i>Figura 29, Diagrama de causa - efecto - productividad en el proceso de fabricación de ductos.</i>	61
<i>Figura 30, Matriz de ponderación de factores - Causa - efecto.</i>	62
<i>Figura 31, Diagrama de Pareto.</i>	63
<i>Figura 32, Identificación de restricciones del sistema.</i>	64
<i>Figura 33, Recurso cuello de botella - Proceso de fabricación de ductos.</i>	65
<i>Figura 34, Plan de mejora de estación de doblado de pestañas.</i>	66
<i>Figura 35, Mapa de causalidad - cuello de botella estación doblado de pestañas.</i>	66
<i>Figura 36, Costo beneficio adquisición de lockformer.</i>	69
<i>Figura 37, Costo beneficio - automatización del proceso.</i>	72
<i>Figura 38, Análisis costo beneficios propuestas de mejora, doblado.</i>	73
<i>Figura 39, Antes de la mejora del proceso de doblado.</i>	74
<i>Figura 40, Después de la mejora del proceso de doblado.</i>	75
<i>Figura 41, Toma de tiempos mejora de procesos, en zona de doblado de pestañas.</i>	76
<i>Figura 42, Índice de productividad real y mejorada.</i>	78
<i>Figura 43, Comparación de costos antes y después de la mejora.</i>	78
<i>Figura 44, Recurso restricción, estación Trazado y corte.</i>	79
<i>Figura 45, Los 5 Why para identificar causa raíz - Estación trazado y corte.</i>	79
<i>Figura 46, Antes y después de la mejora del proceso de corte de piezas.</i>	82
<i>Figura 47, Toma de tiempos para el proceso de trazado y corte, después de la mejora.</i>	83
<i>Figura 48, VSM Después de la mejora de la estación trazado y corte.</i>	84
<i>Figura 49, Recurso restricción, traslado de planchas de almacén a trazado y corte.</i>	85
<i>Figura 50, Causa raíz tiempo de recorrido de almacén a trazado.</i>	85
<i>Figura 51, Antes y después de la mejora del proceso de traslado de láminas a corte.</i>	87
<i>Figura 52, Diagrama de recorrido - análisis hombre máquina - almacén a trazo.</i>	88
<i>Figura 53, Mapa de Cadena de Valor después de la mejora.</i>	91
<i>Figura 54, AMEF Proceso de fabricación de ductos.</i>	95
<i>Figura 55, AMEF sub-proceso doblado de pestañas.</i>	96
<i>Figura 56, AMEF Proceso de Trazado y corte JKP.</i>	97
<i>Figura 57, Impacto en costo y tiempo de las mejoras.</i>	102
<i>Figura 58, Estado de ganancias y pérdidas después de la mejora.</i>	103
<i>Figura 59, Estado de ganancias y pérdidas antes de la mejora.</i>	103
<i>Figura 60, Comparativo de Estado de ganancias y pérdidas antes y después de la mejora.</i>	104

<i>Figura 61, Cálculo del interés compuesto.....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 62, Análisis financiero de la implementación de la mejora de procesos.</i>	<i>107</i>

ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1.Productividad Parcial.....</i>	<i>37</i>
--	-----------

ÍNDICE DE IMÁGENES

<i>Imagen 1, Lock Former.....</i>	<i>67</i>
<i>Imagen 2, Doblado de pestañas con Lockformer.</i>	<i>67</i>
<i>Imagen 3, Línea automática de ductos.</i>	<i>70</i>
<i>Imagen 4, Cizalla de corte lineal y curvo.</i>	<i>80</i>
<i>Imagen 5, Cizalla de corte circular.</i>	<i>80</i>
<i>Imagen 6, Layout área de Fabricación de ductos.</i>	<i>86</i>

ÍNDICE DE ANEXOS

<i>Anexo 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA.....</i>	<i>119</i>
<i>Anexo 2. CUADRO DE MANDO INTEGRAL DE LA EMPRESA JK PROJECTS PERÚ....</i>	<i>120</i>
<i>Anexo 3. LISTA DE PROYECTOS JKP 2017-2018.....</i>	<i>121</i>
<i>Anexo 4. REGISTRO HISTÓRICO DE VENTAS 2013-2019</i>	<i>122</i>
<i>Anexo 5. MEDICIÓN DE TIEMPOS.....</i>	<i>123</i>

RESUMEN

Esta investigación tiene como objetivo principal evaluar y mejorar la productividad del proceso de fabricación de ductos de acero galvanizado para sistemas de climatización de la empresa JK Projects Perú E.I.R.L. El sector de aire acondicionado y ventilación mecánica es cada vez más competitivo en el Perú, en ese sentido la empresa JK Projects Perú E.I.R.L tiene la necesidad de mejorar la productividad para ser más competitiva.” Para tener éxito, tu empresa debe ser capaz de articular el beneficio que proporciona a su mercado objetivo que es mejor que la competencia” (Porter, 2017 p. 90). De acuerdo con Peter Drucker la productividad se mejora con la innovación, la mejora continua, la tecnología y administrar adecuadamente a los trabajadores de conocimiento. En esta investigación se describe la implementación de herramientas innovadoras, adquisición de máquinas dotadas de mejor tecnología en los procesos de producción de la empresa JK Projects Perú E.I.R.L, empleando la metodología DMAIC como herramienta robusta para la mejora continua que interactúa con la filosofía Lean Manufacturing y la aplicación de distintas herramientas para incrementar la productividad actual. Se concluye que, implementadas las mejoras descritas en la presente investigación, la Productividad Global se incrementó en 8.8%, la productividad costo mano de obra directa mejora en un 9.35%, la productividad laboral o del trabajo se incrementa en 45.28% y el costo de fabricación se reduce en un 8.8%; partiendo en la evaluación inicial con valores de 0.92 kg/USD para la Productividad Global y de 4.71 kg/USD para la productividad del factor costo mano de obra directa y una productividad laboral de 13.65 kg/h-h..

Palabras clave: Productividad global, productividad Parcial, DMAIC y Lean Manufacturing.

ABSTRACT

This research has as main objective to evaluate and improve the productivity of the manufacturing process of galvanized steel pipelines for air conditioning systems on the JK Projects Perú E.I.R.L. company. The air conditioning and mechanical ventilation sector is increasingly competitive in Perú, in that sense the company JK Projects PERÚ EIRL has the need to improve productivity to be more competitive. "To be successful, your company must be able to articulate the benefit it provides to its target market that is better than the competition" (Porter, 2017 p. 90). According to Peter Drucker, productivity is improved with innovation, continuous improvement, technology and properly managing knowledge workers. This research describes the implementation of innovative tools, acquisition of machines equipped with better technology in the production processes of the JK Projects PERÚ EIRL company, using the DMAIC methodology as a robust tool for continuous improvement that interacts with the Lean Manufacturing philosophy and the application of different tools to increase current productivity. It is concluded that, implemented the improvements described in the present investigation, the Global Productivity increased by 8.8%, the direct labor cost productivity improves by 9.35%, the labor or labor productivity increases by 45.28% and the cost of manufacturing is reduced by 8.8%; starting from the initial evaluation with values of 0.92 kg / USD for Global Productivity and 4.71 kg / USD for the productivity of the direct labor cost factor and a labor productivity of 13.65 kg / h-h.

Keywords: Global productivity, Partial productivity, DMAIC and Lean Manufacturing.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El sector construcción es el quinto componente en orden de importancia del PBI (INEI, 2018), las expectativas de crecimiento de este sector son aún esperanzadoras pese a la desaceleración del crecimiento económico del Perú en los últimos años, según el Ministerio de economía y finanzas (MEF) en su Informe de actualización de proyecciones Macroeconómicas (IAPM) 2019-2022. el crecimiento económico del país en promedio para 2019 será de 4.2%, la construcción crecería 7.1% y la inversión privada 7.6%. (Ministerio de Economía y Finanzas, 2019). Una de las variables que sustentan el crecimiento económico es la productividad, en términos macroeconómicos la productividad total de factores (PTF) de la economía peruana en las dos últimas décadas ha tenido un desempeño positivo, según el Banco Mundial en su informe de 2012, el Perú tuvo un crecimiento anual promedio de 2.6% en el período 2000 – 2010 convirtiéndose en uno de los países con mayor incremento de la productividad en la región solo superado por Panamá, sin embargo, esta tendencia habría cambiado negativamente a partir de 2011, según el Instituto de Economía y Desarrollo Empresarial (IEDEP) y la Cámara de Comercio de Lima (CCL) en su publicación “Perú Programa económico 2016-2021, el desafío es crecer” el índice de PTF experimentó un decrecimiento anual promedio de 2% entre 2011 y 2014. El Problema de productividad no es ajeno al sector construcción y debe hacer frente al desafío que éste supone, la productividad del sector depende en gran medida de todos los actores que participan en las actividades que supone una obra o proyecto en particular, estos participantes que tienen características de clúster participan en el diseño, suministro de diferentes materiales e instalación de las especialidades de cada proyecto. Uno de los actores importantes en el sector es el rubro de aire acondicionado y ventilación mecánica (HVAC, Heating Ventilation and Air Conditioning, por sus siglas en inglés), cuya demanda es cada

vez más creciente sobre todo en la construcción de edificaciones para oficinas, centros comerciales, vivienda y el sector industrial. Uno de los procesos dentro del proceso estratégico de cada empresa que suministra e instala sistema HVAC es el de fabricación e instalación de ductos en plancha de fierro galvanizado para el manejo de aire en cada proyecto. La falta de una adecuada evaluación de productividad en el proceso de fabricación de esta línea de producción podría afectar el desempeño económico de la empresa. La fabricación de ductos en la empresa JK Projects Perú E.I.R.L. se hace en un taller con herramientas manuales tales como dobladoras, cizallas de corte y cortadoras manuales, esto hace que los indicadores de productividad (es decir, resultados/recursos) sea relativamente bajo, por ello se debe hacer una evaluación de la productividad total y parcial, es decir las salidas entre los factores que intervienen en el proceso de fabricación. La empresa JK Projects Perú E.I.R.L actualmente tiene grandes expectativas en el mercado, sin embargo, es consciente que si no mejora sus niveles de productividad corre el riesgo de perder mercado. Buena parte del problema de productividad de la empresa se debe a que su proceso de producción cuenta con maquinaria con bajísima tecnología, sin ningún tipo de automatismo y con poca evaluación de Productividad. La productividad global actual del proceso de fabricación de ductos en láminas de acero galvanizado oscila entre 0.77 y 0.92 kilogramo de ducto fabricado por cada dólar invertido en el proceso, esto implica un costo de entre 1.27 y 1.48 Dólares por kilogramo. El costo objetivo para este proceso establecido por la empresa en su Cuadro de mando integral es de 1.10 dólares americanos por kilogramo.

1.2. Justificación

1.2.1. Justificación teórica.

Dado que no existen muchos estudios que tengan como objetivo la mejora de procesos de producción en el rubro con metodología DMAIC interrelacionando diversas herramientas de

la filosofía Lean Manufacturing se espera hacer un aporte práctico y de conocimiento que sirva al sector aire acondicionado y ventilación mecánica en el proceso de fabricación de conductos metálicos.

1.2.2. Justificación aplicativa

Su aplicación es de utilidad para que en futuros proyectos se cuente con una ratio de productividad lo cual permita a una mejor toma de decisiones que contribuyan con el crecimiento de la empresa. Este trabajo servirá para resolver un problema práctico, es decir, que al contar con una evaluación en el proceso de fabricación de ductos en planchas de fierro galvanizado podamos costear con mayor certeza futuros proyectos.

1.2.3. Justificación académica

Servirá a su vez a otras empresas del sector construcción para evaluar su productividad y finalmente sirve de consulta para estudiantes interesados en conocer como evaluar la productividad en procesos de fabricación en instalación de ductos en fierro galvanizado en empresas dedicadas a instalación de sistemas HVAC

1.3. Antecedentes

Para la presente investigación se ha tenido en cuenta estudios y tesis de investigación similares cuya variable común es la productividad en un proceso de producción, así tenemos:

1.3.1. Antecedentes Nacionales

Dávila, Alejandro (2015), en su investigación titulada: “Análisis y propuesta de mejora de procesos en una empresa productora de jaulas para gallinas ponedoras” siendo su objetivo general de la investigación “ Mejorar los procesos de producción de una empresa dedicada a la fabricación de jaulas para gallinas ponedoras para sus clientes actuales y potenciales, de

acuerdo a sus requerimientos y estándares de los productos”, El autor hace un diagnóstico situacional de la empresa, usando la técnica de lluvia de ideas, elabora un diagrama de causa-efecto e identifica las oportunidades de mejora. Para el diagnóstico situacional se hizo un estudio de métodos y tiempos así mismo para el planteamiento de mejora ha desarrollado la aplicación las 5S. La razón por la que tomamos como antecedente esta investigación es porque ha desarrollado de manera pormenorizada el estudio de métodos, base importante para el diagnóstico y análisis para proponer mejoras de un proceso.

Silva, Lidonil (2017), en su investigación titulada: “Mejora del proceso de producción de tiradores de acero inoxidable para incrementar la productividad en la empresa metalmeccánica Industrias Higinio E.I.R.L; Lima 2017” siendo su objetivo general de la investigación “Determinar de qué manera la mejora del proceso de producción de tiradores de acero inoxidable incrementa la productividad en la empresa metalmeccánica Industrias Higinio E.I.R.L”. utilizando una metodología de uso método científico basado en el estudio de campo, cuasi experimental y transversal, tipo aplicada, nivel descriptivo y aplicativo. Consideran dos variables de operacionalización: Mejora de procesos y productividad, teniendo como dimensiones: Procedimiento y mantenimiento para la primera variable y eficiencia y eficacia para la segunda. Mediante la investigación se contrastó la hipótesis y se concluyó que existe una mejora después de la aplicación de la variable independiente: Mejora de proceso sobre la variable dependiente: Productividad en la empresa Metalmeccánica Higinio E.I.R.L. Lima, 2017, ya que se obtuvo un incremento de 11.19%. Y recomienda “continuar la línea de investigación del presente trabajo en empresas metalmeccánica y de condiciones similares, y debido a que su aplicación fue solo al proceso de producción de tiradores, seria idóneo continuar con esta investigación como un ejemplo para otros procesos, poniendo en práctica los indicadores como tiempo estándar y el cumplimiento del plan de mantenimiento para

mejorar la situación de la empresa investigada”. Esta investigación aporta a nuestro trabajo la metodología empleada.

Alvarado, Miguel; Gerónimo, Edgard. (2016), en su investigación titulada: “Influencia de la disposición de planta en la productividad de spools de la empresa metalmecánica FIMA S.A., 2016” siendo su objetivo general de la investigación “Determinar la correlación e influencia de la disposición de planta en la productividad del área de spool en la empresa metalmecánica FIMA S.A. en el año 2016”; utilizando una metodología de Planificación Sistemática de la Distribución de Planta (System Layout Planning) así como algunas herramientas de manufactura esbelta como 5S. Concluye que hay una estrecha correlación que existe entre la disposición de planta (DP) y la productividad. El incremento de la productividad después de la mejora es de 12.6%. Se recomienda que todas las personas involucradas directa o indirectamente en el proyecto de implementación de la nueva DP deban saber que este proceso necesita de atención constante y sujeto a un mejoramiento continuo. Esta investigación nos sirvió como referencia para los cálculos de productividad y la aplicación de la herramienta de distribución de planta SLP.

1.3.2. Antecedentes Internacionales

Mayorga, Alexis (2017), en su investigación titulada: “Investigación del incremento de productividad en la fábrica de pernos en la empresa Galo G. Orbea O. Cia. Ltda. Mediante el análisis de disponibilidad en las etapas de su proceso productivo”. Teniendo como objetivo general de la investigación: “Investigar el incremento de productividad en la fábrica de pernos en la empresa GALO G. ORBEA O. Cía. Ltda. mediante el análisis de disponibilidad en las etapas de su proceso productivo”; utilizando una metodología de análisis de la disponibilidad en las etapas del proceso, la aplicación de técnicas de mantenimiento tales como TPM y RCM se logró un incremento en la productividad, Los investigadores concluyen que “mediante el

análisis de disponibilidad, se puede denotar de mejor manera las oportunidades de mejora que existan dentro de un proceso productivo, en este trabajo de investigación las mayores oportunidades de mejora en todos los sistemas se dan en la etapa del preformado, se observó que al aumentar la disponibilidad operacional de esta etapa aumenta la disponibilidad del sistema y consecuentemente la productividad de la misma”. Esta investigación nos servirá como referencia en la aplicación de técnicas de mantenimiento tipo TPM y RCM.

Ayala, Iván (2016), en su investigación titulada: “Propuesta de mejora del proceso de fabricación de mostradores y vitrinas” Teniendo como objetivo general de la investigación “diseñar una propuesta de mejoramiento de productividad en el proceso de fabricación de exhibidores y vitrinas”; para la cual se utilizó una metodología de análisis de Método, distribución de planta, control de procesos y filosofía de las 5S. Se concluye que, “al aplicarse mejoras de procesos se obtiene mayor eficiencia en el proceso de producción contribuyendo a mejores niveles de competitividad en el mercado actual”. Esta investigación nos sirve como referencia en la aplicación de indicadores por proceso.

Acosta, Fernando; Vera, Mario (2016), en su investigación titulada: “Productividad en la minería chilena y análisis de sus principales factores explicativos a nivel de firma” Teniendo como objetivo general de la investigación “Cuantificar la evolución de la productividad de la industria de la gran minería del cobre en Chile, analizando las diferencias causantes de las variaciones de productividad en los últimos 15 años”; para la cual se utilizó una metodología de recolección y análisis de datos con planteamiento del modelo y variables de interés. Concluye que, “La especificación de un modelo de producción basado en una función Cobb-Douglas ampliada permite realizar una estimación de la productividad del sector. Además, los datos son suficientes para obtener una función de producción estimada estadísticamente

significativa a nivel global y por factor productivo”. Esta investigación tiene un enfoque amplio sobre la productividad, lo más resaltante es la aplicación de un modelo de producción de acuerdo a la variable de interés de la investigación.

1.4. Bases teóricas

1.4.1. Productividad

En términos generales cuando hablamos de productividad, nos referimos a la relación entre las salidas (Producto) y entradas (factores de producción o recurso), para nuestro caso de estudio nos referiremos a kilogramos de ductos en plancha de fierro galvanizado como producto dividido entre los recursos utilizados para su elaboración dentro del proceso de producción. La productividad como categoría económica se usa para evaluar la eficiencia de un factor de producción cuando el resto de factores que participan en el mismo proceso se mantienen constantes y la técnica de producción es la misma (Medianero, 2016).

1.4.1.1. Productividad Total

La productividad Total está referida al rendimiento de todos los factores de producción que participan en un proceso, es decir el producto dividido entre los factores tales como trabajo, capital, tierra, etc. Los índices de productividad total son más rigurosos en la evaluación del nivel de eficiencia alcanzado. Sus resultados se explican en función del desarrollo tecnológico y de la evolución del entorno económico-social (Medianero, 2016).

1.4.1.2. Índice de productividad global

Se expresa en forma de relación geométrica para obtener un coeficiente de productividad (Q/F) en donde el numerador es la variable producto y el denominador es la variable que represente a todos los factores de producción (Medianero, 2016).

1.4.1.3. Productividad Parcial

La productividad parcial está referida al rendimiento de uno de los factores que interviene en un proceso de producción, el más común es el factor del trabajo, la productividad parcial se ve afectada cuando hay cambios de tecnología productiva o administrativa o evolución favorable del entorno social. Para el cálculo de la productividad se considera como numerador el producto o salida total entre una entrada. (Biasca, 2009)

1.4.1.3.1 Índice de productividad parcial de mano de obra

Este índice se obtiene al dividir la salida total del sistema entre el recurso mano de obra como entrada.

1.4.1.3.2 Índice de productividad parcial de materiales

Este índice se obtiene al dividir la salida total del sistema entre el recurso materiales como entrada.

1.4.1.3.3 Índice de productividad parcial de maquinaria

Este índice se obtiene al dividir la salida total del sistema entre el costo de fijo de maquinaria utilizado en planta.

1.4.1.3.4 Productividad física

La productividad física de un factor de producción o insumo es el cociente entre la cantidad física de la salida o producto y la cantidad necesaria de la entrada para producir la salida o producto mencionado. Los productos pueden expresarse en toneladas, m², etc. (Biasca, 2006)

1.4.1.3.5 Índice de productividad laboral (HH)

Este índice nos permite calcular el recurso horas hombre para la fabricación e instalación de ducto en plancha de fierro galvanizado. Este índice nos permite calcular el recurso horas hombre para la fabricación e instalación de ducto en plancha de fierro galvanizado.

1.4.2. Metodología DMAIC.

También conocida como la metodología de los 5 pasos, fue desarrollada e implementada por Motorola, consiste en el desarrollo de 5 fases conectadas de manera lógica entre sí. DMAIC viene del acrónimo en inglés: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. Cada fase puede hacer uso de las diferentes herramientas de gestión de la filosofía Lean Manufacturing (Ocampo & Pavón, 2012)

Definir (define): Es la fase inicial, se identifican los proyectos de mejora, se hace un análisis detallado de las entradas y salidas del proceso, métricas e indicadores claves de rendimiento, retroalimentación, capacidad del proceso. o estudio.

Medir (measure): Son las variables de calidad que el cliente valora, se miden y fijan las metas. En esta fase del proceso se establece el rendimiento del proceso actual, se definen los defectos del proceso actual, se recopilan información del proceso. El propósito es identificar y documentar los parámetros del proceso que afectan el rendimiento del sistema.

Analizar (analyze): Se listan las causas raíz de los niveles actuales de defectos. Se analizan los datos de rendimiento actual con los objetivos

Mejorar (improve): Se modifica el proceso y se inspecciona para proponer mejoras.

Control (control): se busca garantizar que se efectúe el mejoramiento del proceso a través del tiempo.

1.4.3. Teoría de restricciones (TOC).

La teoría de restricciones o TOC por sus siglas en inglés (Theory of constraints) fue formulada por el físico israelí Eliyahu Goldratt en 1980. Esta teoría postula que, en un proceso multitarea, sin importar el ámbito, el sistema puede ser tan fuerte como su eslabón más débil, este eslabón se le conoce como cuello de botella o como restricción. TOC propone los siguientes pasos para enfocarse en la mejora:

- ✓ **Identificar** las restricciones o cuellos de botella del sistema o proceso multitarea.
- ✓ **Explotar** las restricciones.
- ✓ **Subordinar** todas las demás decisiones a la explotación.
- ✓ **Elevar**, aumentar la capacidad de los cuellos de botella.
- ✓ **Repetir**, para comprobar que no se han creado nuevos cuellos de botella.

1.4.4. Lean Manufacturing.

La producción Esbelta (Lean Manufacturing) tiene sus orígenes en el sistema de producción de Toyota conocido como TPS (Toyota Production System, por sus siglas en Inglés) y nace como respuesta al sistema de manufactura Estadounidense cuya producción de altos volúmenes la hacía con tecnología repetitivas de manufactura, Los ingenieros de Toyota que habían estudiado detenidamente el sistema americano encontraron la clave: el despilfarro en el proceso, los más comunes: Desperdicios de materiales, reprocesos, inventarios, etc. Así la Manufactura Esbelta se convierte en un sistema con un conjunto de herramientas y técnicas que se aplican para optimizar y mejorar los procesos de las operaciones en cualquier empresa industrial (Escuela de Organización Industrial - EOI, 2013).

Los autores Roger Schroeder, Susan Meyer y Johnny Rungtusanathan, en su libro “Administración de operaciones identifican los 5 principios fundamentales del sistema de Producción Esbelta: a) “Especificar precisamente qué es aquello acerca de un producto o servicio que crea valor desde la perspectiva del cliente”, es decir, el cliente está dispuesto a

pagar por algo que valora; b) “Identificar, estudiar y mejorar la corriente del valor del proceso para cada producto o servicio”, creando Mapas de cadenas de Valor (VSM); c) “Asegurarse de que el flujo de un proceso sea simple, uniforme y libre de errores, evitando con ello el desperdicio”, Estudio de las 7 mudas; d) “Producir solo lo que el cliente requiere” y finalmente e) “Esforzarse en la perfección”, lo que implica mejoramiento continuo (Schroeder, Meyer, & Rungtusanathan, 2011).

1.4.5. Value Stream Mapping.

El Value Stream Mapping (VSM) es un diagrama que muestra el flujo de materiales e información desde el momento en que el cliente ordena el producto hasta la entrega. El objetivo de elaborar un VSM es graficar de manera sencilla y clara todas las actividades operativas para identificar la cadena de valor y así poder ubicar en qué parte del proceso se generan los mayores desperdicios. (Cruelles Ruiz, 2013). El VSM se grafica para línea o familia de productos, los datos deben ser recogidos del campo donde se realizan las operaciones reflejando lo que realmente está pasando. La clave del VSM está en el recojo de una línea de tiempos “VA” en los que se genera valor agregado y el resto de tiempos “NVA” o de “no valor añadido” (Escuela de Organización Industrial - EOI, 2013). Actualmente existen varios softwares que sirven como herramientas para graficar el VSM como el Smartdraw que utiliza simbología normalizada

1.5. Formulación del problema

Esta investigación busca resolver las siguientes interrogantes:

1.5.1. Problemas Generales

¿Cuánto es el valor de la productividad en el proceso de fabricación de ductos metálicos para climatización en la empresa JK Projects Perú E.I.R.L?

¿Cómo incrementar la productividad del proceso de fabricación de ductos metálicos en la empresa JK Projects Perú E.I.R.L?

1.5.2. Problemas Específicos

- ✓ ¿Cuánto es la productividad global en el proceso de fabricación de ductos metálicos para climatización en la empresa JK Projects Perú E.I.R.L, sector Construcción?
- ✓ ¿Cuánto es la productividad parcial en el proceso de fabricación de ductos metálicos para climatización en la empresa JK Projects Perú E.I.R.L, sector Construcción?
- ✓ ¿Cuáles son los costos en el proceso de fabricación de ductos metálicos para climatización en la empresa JK Projects Perú E.I.R.L, sector Construcción?
- ✓ ¿Cómo y en cuánto en términos porcentuales se puede incrementar la productividad y reducir los costos en el proceso de fabricación de conductos en la empresa JK Projects Perú E.I.R.L, usando herramientas de mejora continua?

1.6. Limitaciones

Entre las limitaciones para el desarrollo de la investigación se tienen:

- ✓ Falta de Información acerca de productividad actualizada del proceso de fabricación de conductos para ventilación y aire acondicionado en sector y en la misma empresa, puesto que no se lleva un control adecuado de ratios de productividad.
- ✓ Falta de estadísticas de productividad del sector aire acondicionado.

Sin embargo, se cuenta con una base datos de las principales entradas y salidas del proceso que permiten hacer los cálculos históricos respectivos, dicha información sirvió para elaborar los indicadores preliminares que nos permitan evaluar las dimensiones planteadas.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo general

- ✓ Evaluar la productividad en el proceso de fabricación de ductos metálicos para climatización en la empresa JK Projects Perú E.I.R.L, sector Construcción.

- ✓ Incrementar la productividad a través de la mejora de su proceso de fabricación de ductos metálicos para climatización en la empresa JK Projects Perú, sector construcción utilizando herramientas Lean Six Sigma.

1.7.2. Objetivos específicos

- ✓ Determinar la productividad global en el proceso de fabricación de ductos metálicos para climatización en la empresa JK Projects Perú E.I.R.L, sector Construcción.
- ✓ Determinar la productividad parcial en el proceso de fabricación de ductos metálicos para climatización en la empresa JK Projects Perú E.I.R.L, sector Construcción.
- ✓ Optimizar el costo del proceso de fabricación de ductos metálicos para climatización en la empresa JK Projects Perú E.I.R.L, sector Construcción.
- ✓ Reducir los tiempos del proceso de fabricación de ductos metálicos para climatización en la empresa JK Projects Perú E.I.R.L, sector Construcción.

1.8. Hipótesis

1.8.1. Hipótesis general

La aplicación de metodologías y herramientas que forman parte de la filosofía Lean Six Sigma servirá para mejorar la productividad en el proceso de fabricación

1.8.2. Hipótesis específicas

- ✓ La aplicación de la metodología DMAIC conjuntamente con herramientas de Lean Manufacturing en el proceso de fabricación de ductos metálicos contribuye a incrementar su productividad global y parcial.
- ✓ La aplicación de la metodología DMAIC conjuntamente con herramientas de Lean Manufacturing en el proceso de fabricación de ductos metálicos contribuye a optimizar los costos unitarios de fabricación y los costos de mano de obra.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La investigación es de corte no experimental, diseño transversal de nivel aplicativo descriptivo/cuantitativo.

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

La presente investigación se trabajó con la población: sector construcción, especialidad sistemas de aire acondicionado y ventilación mecánica, empresa JK Projects Perú E.I.R.L, “Proyectos de sistema de aire acondicionado y ventilación mecánica – Fabricación e instalación de ductos en plancha de fierro galvanizado ejecutados en los años 2017 y 2018 en la ciudad de Lima, Perú. La unidad de análisis es: Cantidad en kilogramos del producto “Fabricación de ductos en plancha de fierro galvanizado”. Se considera como criterio de inclusión a todos los procesos de fabricación de ductos única y exclusivamente para los proyectos que forman parte de la población y que están listados en la presente investigación.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Para la presente investigación se utilizarán datos estadísticos de: Tiempo de ciclo por sub-proceso, cantidad de producción por sub-proceso, movimientos, materiales utilizados por sub-proceso, método empleado y ergonomía. Se hizo uso de estadísticas de la empresa, para ello se cuenta con una base de datos con la información de 10 proyectos ejecutados en los años 2017 y 2018. Se usaron de observación en campo para aquellos subprocesos que necesiten de mayor detalle, para medir tiempos y evaluar métodos actuales. Para la validez de la información se tomará la opinión de especialistas en el rubro, el tesista es actualmente directivo de la empresa en la que se hace la presente investigación y es el encargado de la gestión de las operaciones, por lo que tiene amplia experiencia en la materia de análisis. Para la evaluación de la productividad se utilizarán ecuaciones y formulas propuesta por David Medianero en su libro productividad total, teorías y métodos de medición. Para el análisis de métodos y tiempos se

tendrá en cuenta el procedimiento de la OIT en su publicación denominada “Introducción I estudio de Trabajo”, cuarta edición Detalla los métodos, técnicas e instrumentos para recolectar y analizar los datos.

2.4. Procedimiento

El desarrollo de evaluación y propuesta de mejora que se plantea en la presente investigación seguirá los lineamientos de la metodología DMAIC, y se describen a continuación:

2.4.1. Definir

“Definir problemas y métricas, señalar cómo afecta al cliente y precisar los beneficios esperados del proyecto”. (Gutierrez Pulido & de La Vara Salazar, 2013)

En esta etapa de la investigación se elaboró el marco o Chárter del proyecto, se describen el mapa del proceso estratégico y misional de la empresa; se elaboró el layout de distribución actual del taller; se identificaron los SIPOC (proveedores, entradas, procesos, salidas y clientes) del proceso de fabricación de ductos en láminas de acero galvanizado; se hizo un diagrama del proceso de fabricación de ductos y se hicieron las fichas del proceso actual.

2.4.2. Medir.

“El objetivo general de esta segunda fase es entender y cuantificar mejor la magnitud del problema o situación que se aborda con el proyecto. Por ello, el proceso se define a un nivel más detallado para entender el flujo del trabajo, los puntos de decisión y los detalles de su funcionamiento”. (Gutiérrez Pulido & de La Vara Salazar, 2004)

Con la información de 10 proyectos se determinó: La productividad global, productividad parcial, productividad de la mano de obra, costo unitario de fabricación y el costo de mano de obra por unidad de producción. Se hace una comparación entre la productividad real y la productividad mínima aceptable, del mismo modo se compara el costo unitario real versus costo mínimo aceptable. Se hizo una medición del tiempo estándar del proceso para actividad para hacer un balance de línea a fin de encontrar cuellos de botella del proceso. Los tiempos

estándares del proceso resultantes se plasman en un mapa de cadena de valor (VMS), a fin de encontrar los tiempos que generan valor agregado (VA) y los tiempos que no generan valor. (NVA).

2.4.3. Analizar.

La meta de esta fase es identificar la(s) causa(s) raíz del problema (identificar las X vitales), entender cómo es que éstas generan el problema y confirmar las causas con datos. Entonces, se trata de entender cómo y por qué genera el problema, buscando llegar hasta las causas más profundas y confirmarlas con datos”. (Gutierrez Pulido & de La Vara Salazar, 2013).

Con el uso del diagrama causa efecto y pareto de identificó las causas raíz del problema del proceso, se graficaron las restricciones del sistema en el mapa de cadena de Valor como oportunidades de mejora.

2.4.4. Mejorar.

Identificadas las restricciones del sistema se hace uso de la metodología de teoría de restricciones (TOC). La teoría de restricciones o TOC por sus siglas en inglés (Theory of constraints) fue formulada por el físico israelí Eliyahu Goldratt en 1980. Esta teoría postula que, en un proceso multitarea, sin importar el ámbito, el sistema puede ser tan fuerte como su eslabón más débil, este eslabón se le conoce como cuello de botella o como restricción.

Se siguieron los siguientes pasos:

- ✓ Se trabaja con las restricciones **identificadas** en la fase de análisis del DMAIC.
- ✓ **Se explotaron** las restricciones, es decir, se trabajaron como proyectos de mejora.
- ✓ **Todas las decisiones se subordinaron** a la restricción explotada
- ✓ **Se elevaron las restricciones**, es decir, se aumentó la capacidad del proceso.
- ✓ Finalmente se **repite** la revisión para comprobar que no se han creado nuevos cuellos de botella.

Para la selección de propuestas de mejora se consideró un mapa de causalidad en donde se consideran objetivos, barreras y posibles soluciones. Las propuestas son sometidas a un análisis de sensibilidad de costo beneficio. Finalmente se hace una evaluación del impacto económico de productividad de las mejoras.

2.4.5. Controlar.

En esta etapa se diseña un sistema que permita monitorear los resultados alcanzados de modo que se pueda:

- ✓ Prevenir que los problemas o restricciones que tenía el proceso se repitan. El objetivo es mantener las ganancias.
- ✓ Mantener el desempeño del proceso.
- ✓ Alentar la mejora continua.

Un método que nos permitió lograr este es objetivo es AMEF (Análisis de modo y efecto de las fallas). Esta metodología nos permitirá identificar las fallas potenciales del proceso a partir de un análisis de probabilidad de ocurrencia, formas de detección y el efecto que provocan. (Gutierrez Pulido & de La Vara Salazar, 2013).

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Planteamiento del problema.

Los indicadores de productividad de mano de obra de la empresa JK Projects Perú E.I.R.L están por debajo de los KPI (key performance indicator, por sus siglas en inglés) o indicadores claves de desempeño planteado como objetivos estratégico por la dirección en el cuadro de mando integral de la empresa, estos inciden directamente en el incremento de los costos afectando seriamente la competitividad de la empresa frente a sus pares, el costo de fabricación en promedio oscila entre 1.27 y 1.48 USD/KG de ducto producido frente a los 1.10 USD/KG considerado en los objetivos estratégicos como aceptables. Este valor es fijado en función del mercado. La productividad de mano obra está por debajo de 14 kg/h-h, mientras que la competencia logra 15 kg/h-h. Este trabajo se plantea evaluar y proponer mejoras en el proceso de fabricación de ductos, para ellos se tomó en cuenta información histórica de 10 proyectos ejecutados en los últimos años (2017-2018), la información se refiere a la producción de ducto fabricado expresado en kilogramos (Salidas), y entradas como: materiales y mano de obra. Además de la evaluación de la productividad, se considera un estudio de tiempos de los subprocesos: trazado, corte y doblado, mediante el método de observación con la finalidad de hallar el tiempo de ciclo de estos subprocesos y se examinarán cada subproceso, para proponer mejoras. Siendo la mejora de la productividad el proyecto que se plantea con la metodología DMAIC o metodología de cinco fases: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (en inglés DMAIC: Define, Measure, Analyze, Improve and Control) (Gutiérrez Pulido & de La Vara Salazar, 2013).

3.2. Desarrollo.

3.2.1. Evaluación de la productividad actual.

En base a la información de 10 proyectos ejecutados en el período 2017 -2018 por la empresa JK Projects Perú E.I.R.L, (tabla 1), se procedió a evaluar la productividad global y productividad de mano de obra, la data más relevante es como sigue:

- ✓ Salidas: Producción de ductos fabricados en plancha de acero galvanizado expresada en kilogramos y el precio de venta expresada en unidades monetarias – Dólares americanos (USD).
- ✓ Entradas: Costo de materiales (Principalmente plancha de acero galvanizado, consumibles, etc.).

Tabla 1.

Base de Datos – Proyectos ejecutados en el período 2017-2018.

ID	NOMBRE DEL PROYECTO	PRODUCTO	U.M	SALIDAS			ENTRADAS		
				UNIDADES PRODUCIDAS (Kg)	PREC. UNIT (USD)	TOTAL (USD)	H-H FABRICACION	MATERIALES (USD)	COSTO. M O (USD)
Proyecto 1	Financiera Confianza	Ducto de P.G	Kg	2,180.00	3.00	6,540.00	271.20	1,853.00	786.48
Proyecto 2	IFB San Juan de Lurigancho	Ducto de P.G	Kg	19,690.00	2.75	54,147.50	1,681.50	16,736.50	4,876.35
Proyecto 3	Autoland - Benavides	Ducto de P.G	Kg	15,790.00	2.99	47,172.63	790.20	13,421.50	2,291.58
Proyecto 4	Cibertec - Rambla Breña	Ducto de P.G	Kg	5,460.00	2.81	15,342.60	576.00	4,641.00	1,670.40
Proyecto 5	Oficinas Gilat - San Isidro	Ducto de P.G	Kg	1,000.00	2.75	2,750.00	115.80	850.00	335.82
Proyecto 6	Edificio Multifamiliar Beneser	Ducto de P.G	Kg	1,600.00	2.93	4,688.00	280.80	1,360.00	814.32
Proyecto 7	Edificio Suchi Bar - Surquillo	Ducto de P.G	Kg	800.00	3.14	2,512.00	90.00	680.00	261.00
Proyecto 8	Hapag Lloid	Ducto de P.G	Kg	1,200.00	2.59	3,108.00	108.00	1,020.00	313.20
Proyecto 9	OHL - Miraflores	Ducto de P.G	Kg	1,013.00	2.81	2,846.53	72.00	861.05	208.80
Proyecto 10	Orange Theory	Ducto de P.G	Kg	920.00	2.93	2,695.60	84.00	782.00	243.60

Fuente: Registro empresa JK Projects Perú E.I.R.L.

Elaboración: Propia

3.2.1.1. Evaluación de la productividad global.

A continuación, se calcula la productividad global de fabricación de ductos en plancha de acero galvanizado, siendo las salidas: Planchas cortadas y dobladas lista para ser armadas en obra en kilogramos como unidad de medida. Las entradas de este proceso son: Planchas de acero galvanizado en kilogramos como unidad de medida y mano de obra. El costo de materiales y mano de obra se muestra en la tabla 2.

Tabla 2.
Productividad global - fabricación (kg/costo).

PROYECTOS	Kilogramos de ducto FG Fabricados	Costo de materiales y Mano de obra (USD)	Índice de productividad global (kg/costo USD)
Financiera Confianza	2,180.00	2,639.48	0.83
IFB San Juan de Lurigancho	19,690.00	21,612.85	0.91
Autoland - Benavides	15,790.00	15,713.08	1.00
Cibertec - Rambla Breña	5,460.00	6,311.40	0.87
Oficinas Gilat - San Isidro	1,000.00	1,185.82	0.84
Edificio Multifamiliar Benesere	1,600.00	2,174.32	0.74
Edificio Suchi Bar - Surquillo	800.00	941.00	0.85
Hapag Lloid	1,200.00	1,333.20	0.90
OHL - Miraflores	1,013.00	1,069.85	0.95
Orange Theory	920.00	1,025.60	0.90
TOTAL	49,653.00	54,006.60	
Productividad media ponderada	0.92 Kg/costo USD		

Fuente: Registro empresa JK Projects Perú E.I.R.L.

Elaboración: Propia

La figura 01 muestra el promedio ponderado de la productividad, (0.92 kilogramos de ducto fabricado por dólar invertido en los costos (Mano de obra y Materiales) y el índice de productividad de cada uno de los proyectos que muestra la tabla 2.

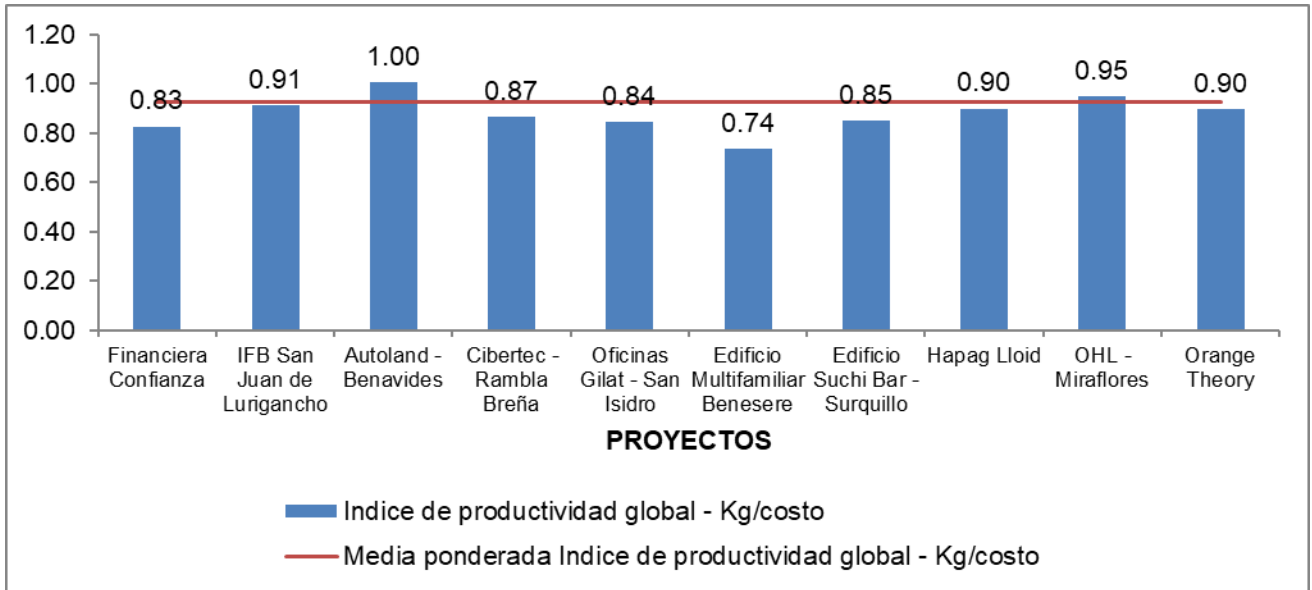


Figura 1, Productividad global media ponderada - fabricación.

Fuente: Registro empresa JK Projects Perú E.I.R.L.

Elaboración: Propia

El mayor índice de productividad global en fabricación de ductos se da en el proyecto “Autoland – Benavides”, 1 kilogramos de ducto fabricado por dólar invertido, explicado básicamente por el volumen del proyecto.

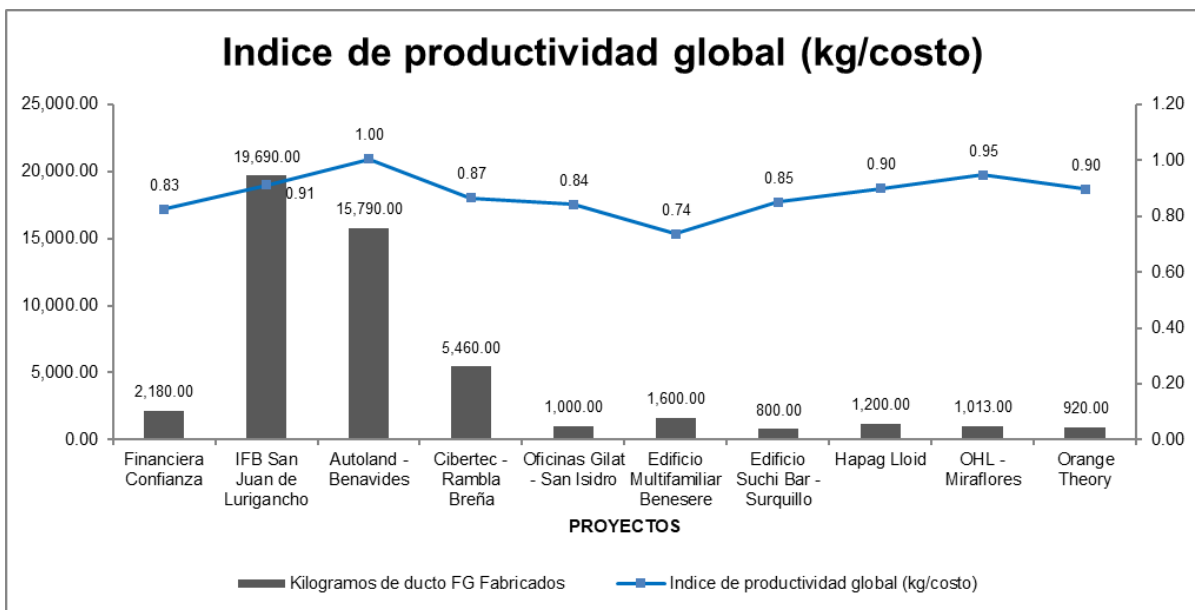


Figura 2, Productividad global - fabricación- tendencia (kg/costo)

Fuente: Registro empresa JK Projects Perú E.I.R.L.

Elaboración: Propia.

3.2.1.1.1 Productividad global en relación al costo unitario.

La tabla 3 muestra las entradas, salidas e indicadores como: Productividad y costo unitario real de fabricación por cada proyecto. El costo mínimo aceptable es definido por la empresa dentro de sus KPIs del cuadro de mando integral (CMI) en la perspectiva interna, es tomado en cuenta a partir de un estudio de mercado de costos de fabricación en empresas similares. Es añadido a esta tabla para hacer una comparación entre el As-is (Tal como es) del proceso con el To-be (Debe ser) del mismo, la empresa dentro de sus objetivos estratégicos ha trazado como uno de sus principales indicadores estratégicos un costo como uno de sus principales indicadores el costo a un valor no mayor de 1.10 USD/kg de ducto producido.

Tabla 3.

Índice de productividad global y costo unitario.

PROYECTOS	Kilogramos de ducto FG Fabricados	Costo de materiales y mano de obra (USD)	Índice de productividad real (Kg/USD)	Costo de fabricación (USD/kg)
Financiera Confianza	2,180.00	2,639.48	0.83	1.21
IFB San Juan de Lurigancho	19,690.00	21,612.85	0.91	1.10
Autoland - Benavides	15,790.00	15,713.08	1.00	1.00
Cibertec - Rambla Breña	5,460.00	6,311.40	0.87	1.16
Oficinas Gilat - San Isidro	1,000.00	1,185.82	0.84	1.19
Edificio Multifamiliar Benesere	1,600.00	2,174.32	0.74	1.36
Edificio Suchi Bar - Surquillo	800.00	941.00	0.85	1.18
Hapag Lloid	1,200.00	1,333.20	0.90	1.11
OHL - Miraflores	1,013.00	1,069.85	0.95	1.06
Orange Theory	920.00	1,025.60	0.90	1.11
TOTAL	49,653.00	54,006.60		
	índice de Valor ponderado de la productividad		0.92	

Fuente: Registro empresa JK Projects Perú E.I.R.L.

Elaboración: Propia

El índice de valor ponderado de la productividad de la población evaluada alcanza el 0.92 kilogramos producidos por unidad monetaria, ver tabla 3.

La línea roja (costo unitario de fabricación) traza el comportamiento del costo en relación a la productividad o viceversa, ambas líneas son paralelas. Cada punto perdido o ganado de productividad afecta directamente al costo unitario. Ver figura 03.

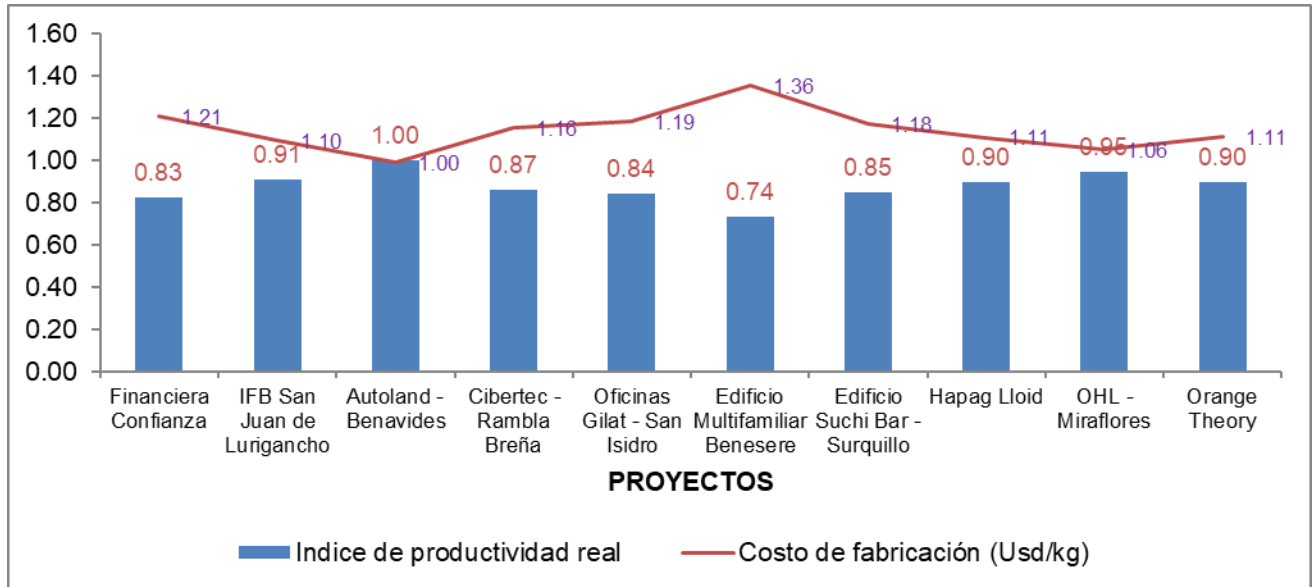


Figura 3, Indicador de productividad global de fabricación en relación al costo unitario.

Fuente: Registro empresa JK Projects Perú E.I.R.L.

Elaboración: Propia.

El costo real en la mayoría de los casos está por encima del costo mínimo aceptable, tres de los 10 proyectos logran un costo inferior al costo mínimo aceptable. Los proyectos con mejor indicador son aquellos con mayor volumen de producción. El menor costo logrado es de 1.00 dólares para un volumen de producción de 19 690 kg.

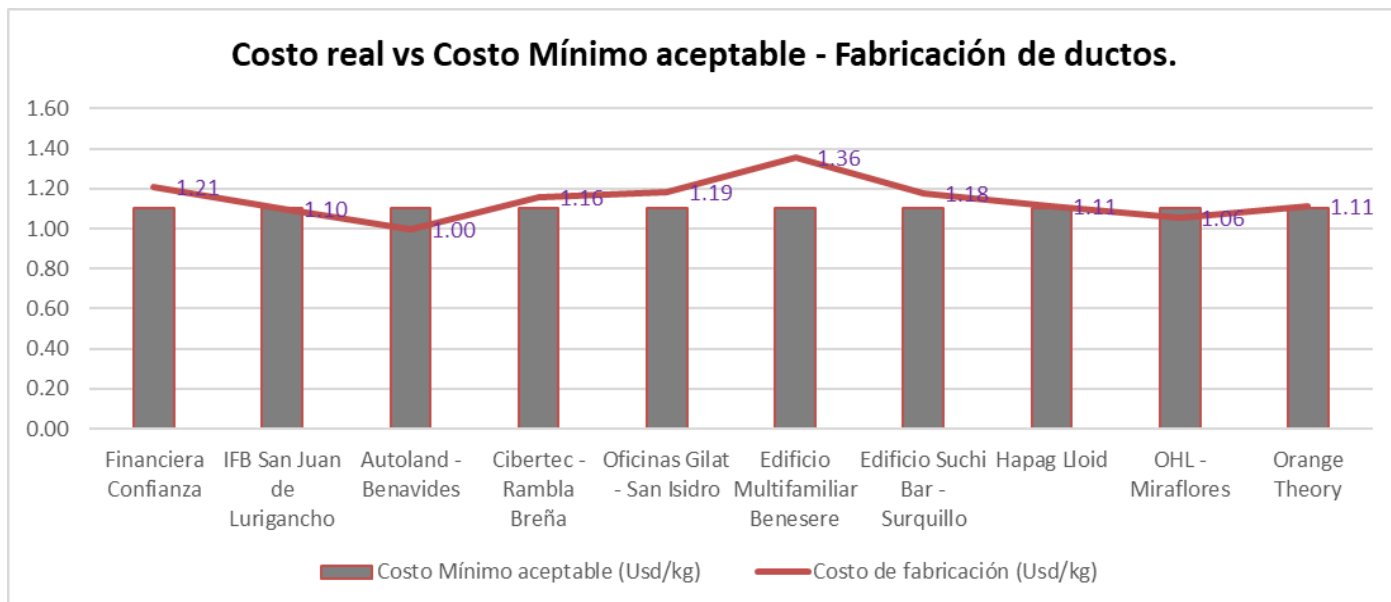


Figura 4, Comparación del costo real con el costo Mínimo aceptable.

Fuente: Registro empresa JK Projects Perú E.I.R.L.

Elaboración: Propia.

3.2.1.2. Evaluación de la productividad parcial.

Los indicadores parciales de productividad nos permitirán evaluar el desempeño de productividad del factor de producción más importante del proceso, El trabajo en función del rendimiento de mano de obra y en función del costo. La fórmula de cálculo utilizada para este fin se expresa en la ecuación 2 y es el resultado obtenido de producción - Kilogramos de ducto fabricado entre recursos invertidos (Horas hombre invertidas en el proceso y costo de la mano de obra).

Ecuación 1.Productividad Parcial.

$$\text{Productividad Parcial} = \frac{\text{Producción}}{\text{Recurso parcial}}$$

Fuente: Medianero, David

3.2.1.2.1 Productividad parcial costo de mano de obra (kg/costo MOD).

Las entradas y salidas contenidas en la tabla 4, son referidas a la fabricación de ductos en planchas de fierro galvanizado, así como los dos indicadores de productividad por cada proyecto.

Tabla 4.

Productividad parcial de mano de obra (Kg/Costo MOD).

PROYECTOS	Kilogramos de ducto FG - Fabricación	Costo de Mano de Obra (USD)	Indice de productividad de mano de obra (Kg/Costo MOD).
Financiera Confianza	2,180.00	786.48	2.77
IFB San Juan de Lurigancho	19,690.00	4,876.35	4.04
Autoland - Benavides	15,790.00	2,291.58	6.89
Cibertec - Rambla Breña	5,460.00	1,670.40	3.27
Oficinas Gilat - San Isidro	1,000.00	335.82	2.98
Edificio Multifamiliar Benesere	1,600.00	814.32	1.96
Edificio Suchi Bar - Surquillo	800.00	261.00	3.07
Hapag Lloid	1,200.00	313.20	3.83
OHL - Miraflores	1,013.00	208.80	4.85
Orange Theory	920.00	243.60	3.78
TOTAL	49,653.00	11,801.55	
Productividad Mano de obra - Media ponderada		4.71 kg/Costo	

En la figura 5 se muestra la productividad de mano de obra en función de su costo como recurso de entrada, la línea roja indica el promedio ponderado (por cada dólar invertido en este factor de producción se producen 4.71 kilogramos de ducto).

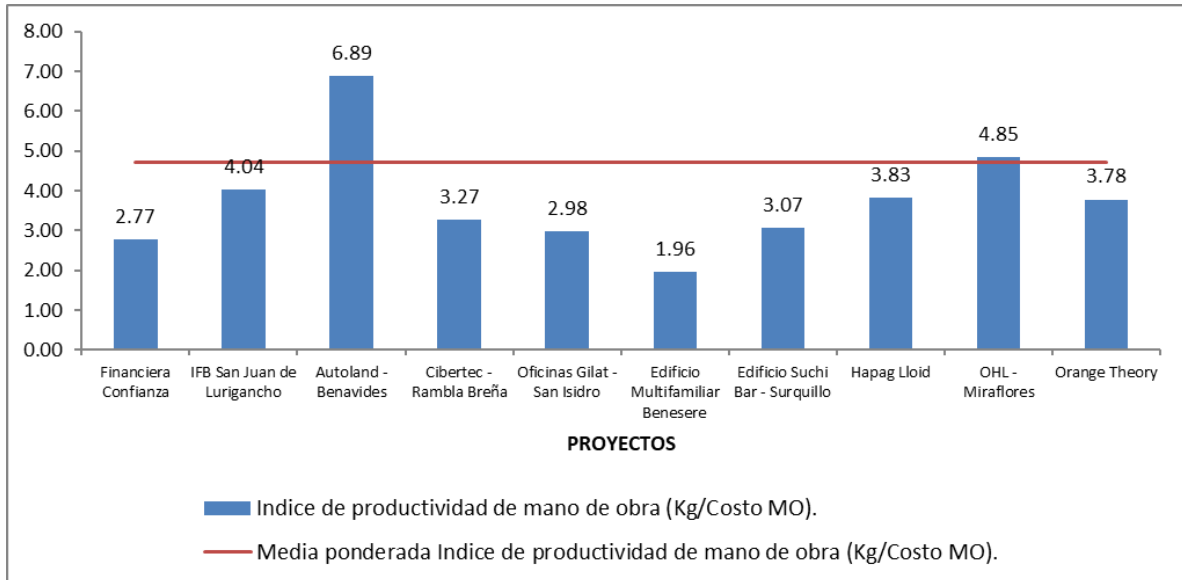


Figura 5, Productividad de mano de obra - fabricación de ductos.

Fuente: Registro empresa JK Projects Perú E.I.R.L.

Elaboración: Propia

El mejor nivel de desempeño de la mano de se da en el proyecto Autoland Benavides con 6.89 kilogramos de ducto fabricado por cada dólar invertido en mano de obra.

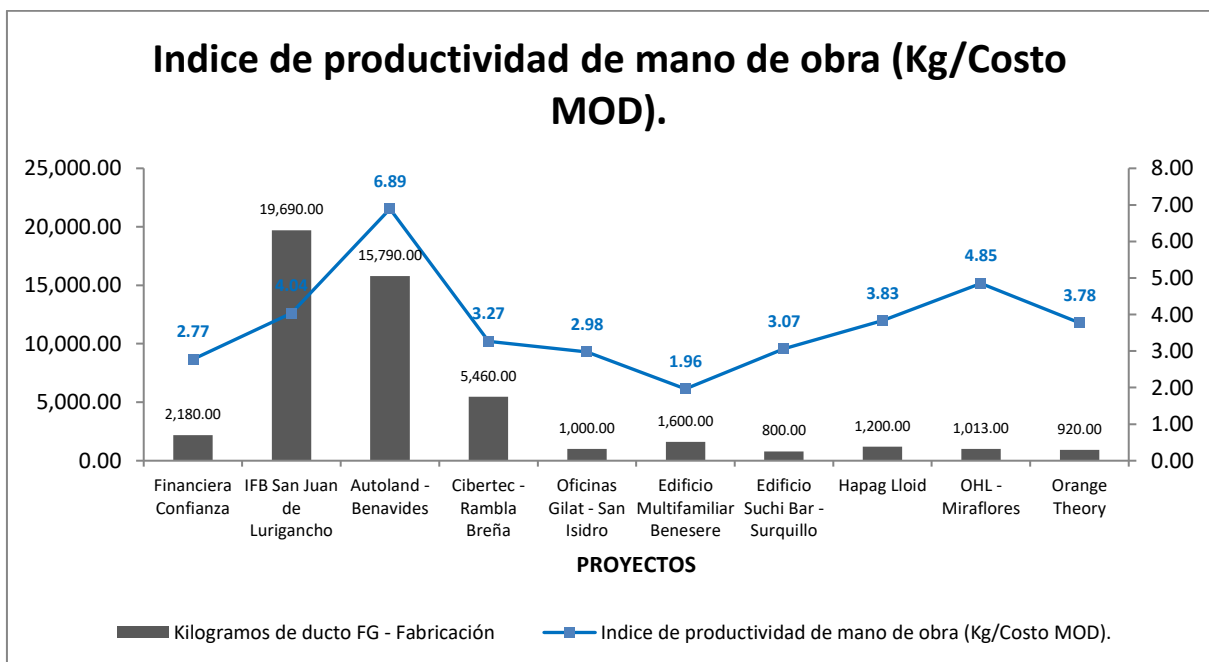


Figura 6, Productividad mano de obra - Fabricación de ductos.

Fuente: Registro empresa JK Projects Perú E.I.R.L.

Elaboración: Propia

3.2.1.2.2 Productividad laboral (kg/h-h).

En la tabla 5, El denominador de la productividad laboral se expresa en horas hombre (h-h), el objetivo de esta medición es obtener la relación entre kilogramo de ducto producido por cada hora hombre invertida en el proceso.

Tabla 5.

Índice de productividad Mano de obra (Kg/h-h)

PROYECTOS	Kilogramos de ducto FG fabricados.	H-H Consumidas	Índice de Productividad laboral (kg/h-h).
Financiera Confianza	2,180.00	271.20	8.04
IFB San Juan de Lurigancho	19,690.00	1,681.50	11.71
Autoland - Benavides	15,790.00	790.20	19.98
Cibertec - Rambla Breña	5,460.00	576.00	9.48
Oficinas Gilat - San Isidro	1,000.00	115.80	8.64
Edificio Multifamiliar Benesere	1,600.00	280.80	5.70
Edificio Suchi Bar - Surquillo	800.00	90.00	8.89
Hapag Lloid	1,200.00	108.00	11.11
OHL - Miraflores	1,013.00	72.00	14.07
Orange Theory	920.00	84.00	10.95
TOTAL	49,653.00		
Productividad laboral - media ponderada		13.65 Kg/h-h	

Fuente: Registro empresa JK Projects Perú E.I.R.L.

Elaboración: Propia

El indicador de Productividad laboral o de mano de obra, kilogramos de ducto por cada hora hombre invertido en el proceso de fabricación de ducto, para el caso es de 13.65 Kg/h-h como promedio ponderado.

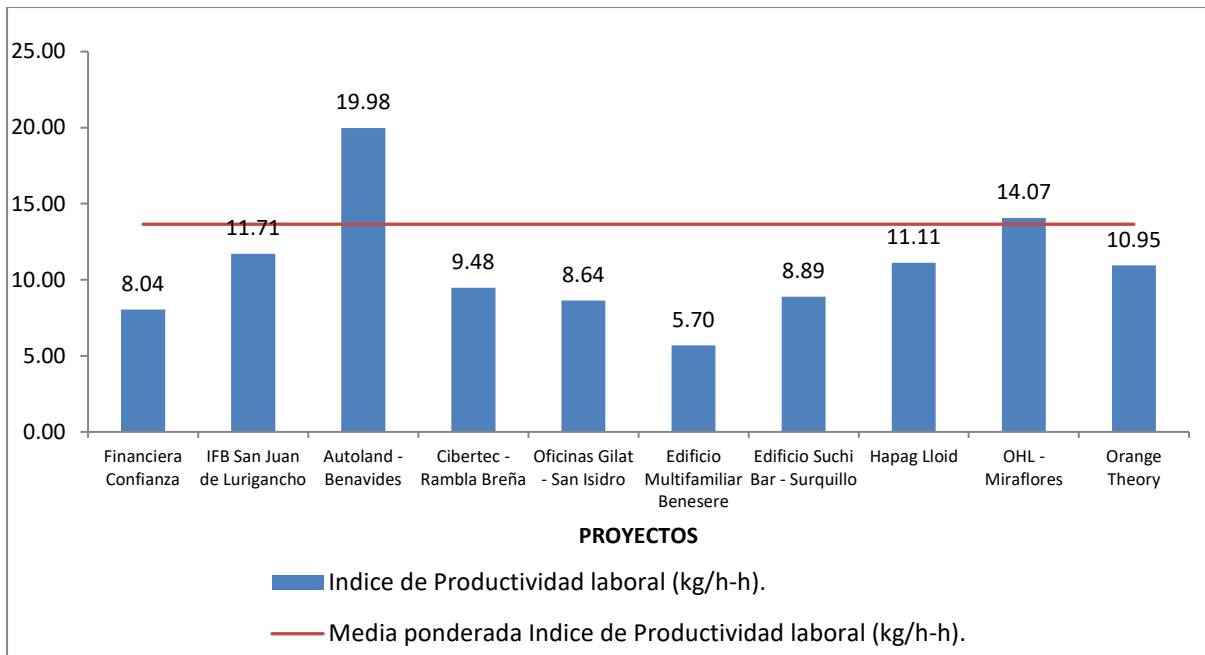


Figura 7. Índice de productividad kg/h-h – Dimensión Productividad Física.

Fuente: Registro empresa JK Projects Perú E.I.R.L.

Elaboración: Propia

El mejor desempeño de la mano de obra es de 19.98 kg/h-h y es lograda en el proyecto Autoland.

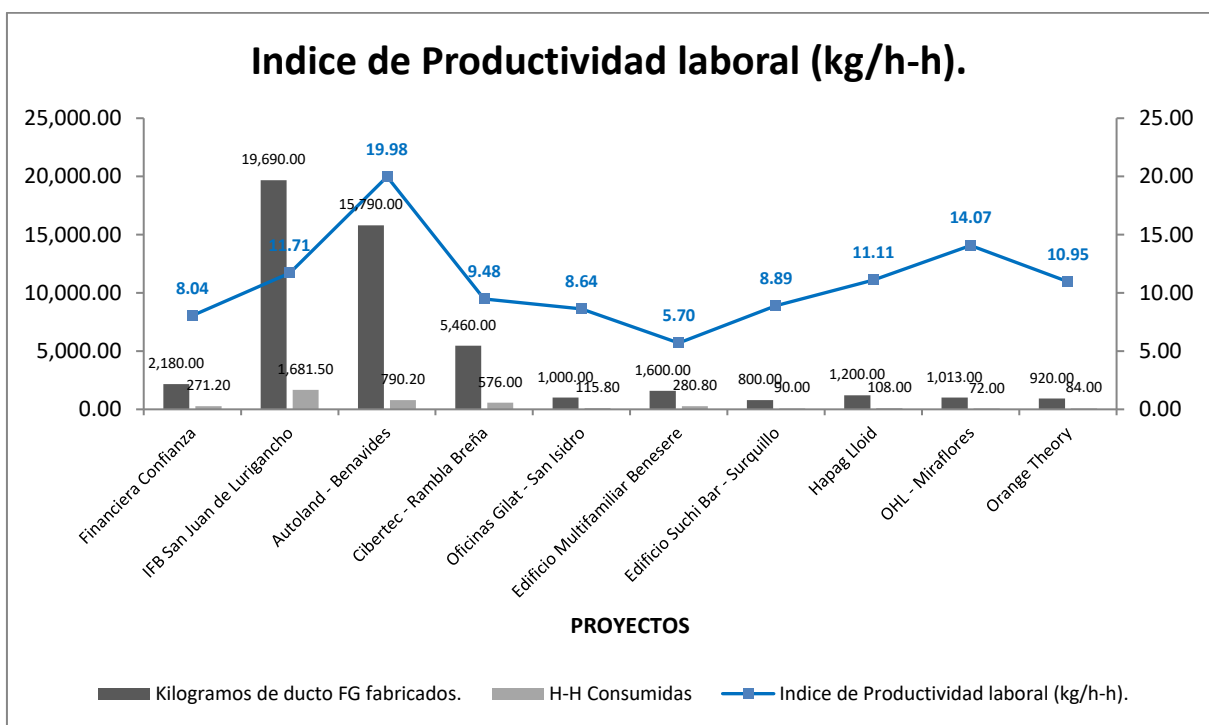


Figura 8. Índice de productividad kg/h-h – Dimensión Productividad Física.

Fuente: Registro empresa JK Projects Perú E.I.R.L.

Elaboración: Propia

3.2.1.2.3 Productividad laboral (kg/h-h) Mínima aceptable.

La tabla 6, muestra la productividad laboral del proceso (Kg/h-h) comparada con la productividad mínima aceptable definida por la dirección de la empresa.

Tabla 6.

Indicador de productividad mínima aceptable.

PROYECTOS	Kilogramos de ducto FG producidos e instalados	Productividad laboral (kg/h-h).	Mínimo Aceptable Productividad laboral (kg/h-h).
Financiera Confianza	2,180.00	8.04	14.50
IFB San Juan de Lurigancho	19,690.00	11.71	14.50
Autoland - Benavides	15,790.00	19.98	14.50
Cibertec - Rambla Breña	5,460.00	9.48	14.50
Oficinas Gilat - San Isidro	1,000.00	8.64	14.50
Edificio Multifamiliar Benesere	1,600.00	5.70	14.50
Edificio Suchi Bar - Surquillo	800.00	8.89	14.50
Hapag Lloid	1,200.00	11.11	14.50
OHL - Miraflores	1,013.00	14.07	14.50
Orange Theory	920.00	10.95	14.50

La empresa se ha propuesto como objetivo tener una productividad parcial de MOD ponderada igual o mayor a los 14.5 kg/h-h. Tres de los 10 proyectos logran superarla, sin embargo, el resto están por debajo de la línea promedio, esto podría deberse a que los proyectos medianos consumen demasiado tiempo para lograr la curva de aprendizaje.

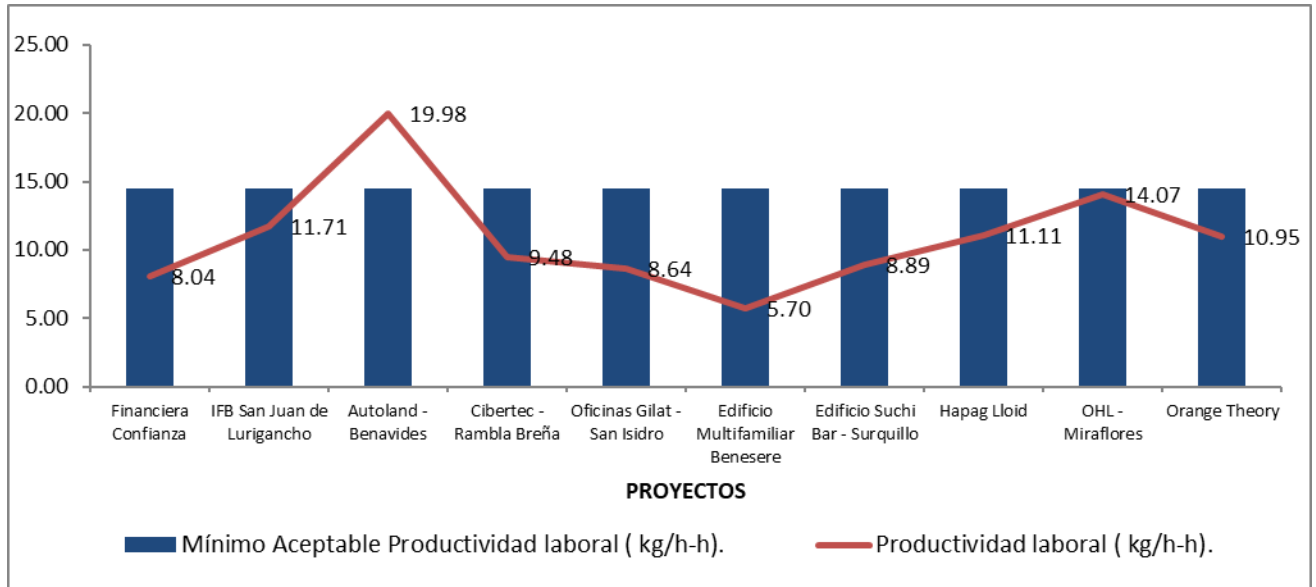


Figura 9, Productividad mínima aceptable fabricación de ductos.

Fuente: Registro empresa JK Projects Perú E.I.R.L.

Elaboración: Propia

3.2.2. Planteamiento de mejora de proceso para incrementar la productividad.

Evaluada la productividad actual del proceso de fabricación de ductos se procede a plantear propuestas de mejora del proceso actual con la ayuda del método de mejora continua DMAIC utilizado por la filosofía Six Sigma.

3.2.2.1. Planteamiento de mejora de proceso usando la metodología DMAIC.

A continuación, se desarrollan las 5 fases de la metodología DMAIC.


3.2.2.1.1 Definir.

3.2.2.1.1.1 Directriz o declaración del proyecto – Project Charter.

El Project Charter o acta de constitución de proyecto sintetiza los aspectos fundamentales de todo proyecto, plantea el problema como oportunidad de mejora, se definen los objetivos, se establecen los entregables y se establecen responsabilidades. (VARAS ACUÑA, 2010)

Tabla 7.

Project Charter evaluación y mejora de la productividad.

Project Title:	Evaluación y mejora de la productividad del proceso de fabricación de ductos en la empresa JK Projects Perú.	Annual SAVINGS (USD)	7881.6 1er año	
			20163.2 A partir del 2do año	
Project Leader:	Juan Benites (Dir. de Operaciones)	Team Members:		
Problem Statement/planteamiento del problema		Department	Name	
			Time	
	 <p>Los indicadores de productividad de mano del proceso de fabricación de ductos en plancha de fierro galvanizado de la empresa JK Projects Perú están por debajo de la productividad mínima aceptable, ocasionando mayores tiempos de proceso y costos, de mantenerse estos niveles de productividad la empresa reduciría su participación del mercado (12% actualmente). Afectan al lead time de los proyectos y al tiempo de ciclo de este proceso.</p>	Producción (Taller). Bach. Ing. Henry Vergara Rupay	T	12%
		Gerencia General. Bach. Ing. Juan Benites L	GG	7%
		Logística. Bach. John Zúñiga Aelman	L	7%
		Calidad. Fernando Perales	C	10%
		Operaciones. Bach. Ing. Juan Benites L	O	10%
Business Case (Importance)	Goal Statement (Declaración de la meta)			
La producción de ductos de fierros galvanizado de la empresa JK Projects en el período 2018 fueron de 96,000 kg, considerando la proyección de crecimiento del sector construcción de 7.1% según el MEF, se proyecta una producción de ductos de 102,816 kg. Así la empresa podría mantener su posicionamiento en el mercado pasando largamente el 12% al término de 2019.	Incrementar la productividad de mano de obra en 40% del proceso de fabricación reduciendo tiempos en tareas o actividades restricción o cuello de botella. Ahorro anual de 7,881 USD en el primer año y un acumulado de 20,000 USD en el segundo año.			
Project Scope (Constraints) - alcance - restricciones	Deliverables/Entregables			
Las principales limitaciones del proceso son la maquinaria actual y la falta de espacio.	Definir : Lead Time, tiempo estandar por actividad, Tiempo de ciclo, Costo Unitario de fabricación, Costo de mano de obra, Indicadores de productividad global y parcial.			
Resources				
Equipo interdisciplinario con tiempos asignados al proyecto. Recursos financieros para la inversión.				
Preliminary Plan:				
PHASE	MILESTONES/HITOS	TARGET START DATE	TARGET COMPLETION DATE	
Definir	Objetivos claros y responsabilidades.	15 de enero de 2019	30 de enero de 2019	
Medir	Productividad y costo actual	01 de febrero de 2019	28 de febrero de 2019	
Analizar	Causas raíz	04 de marzo de 2019	25 de marzo de 2019	
Mejorar	Adquirir Lockformer, Cizalla eléctrica y mejorar recorridos.	27 de marzo de 2019	01 de junio de 2019	
Controlar	Operatividad del sistema	02 de junio de 2019	12 de julio de 2019	

3.2.2.1.1.2 Mapa de proceso de la empresa JK Projects Perú E.I.R.L.

En la figura 10 se muestra el mapa de proceso de la empresa JK Projects Perú E.I.R.L en donde interactúan el proceso estratégico, quien define los lineamientos y políticas generales de la organización, estrategias de desarrollo y expansión, con los procesos: Misional, de apoyo, de seguimiento y control; y finalmente de mejora continua. Para el caso el estudio se enfoca en

el sub-proceso Fabricación de ductos dentro del proceso de Transformación o producción en taller.



Figura 10, Mapa de proceso estratégico -JKP.

Fuente: JK Projects Perú E.I.R.L.

Nota: Para la investigación se toma el proceso de fabricación de ductos en el área de taller.

La empresa tiene entre sus procesos claves la fabricación e instalación de ductos metálicos para sistemas de aire acondicionado y ventilación mecánica. El proceso de fabricación se realiza en el taller, el principal input del proceso son las planchas de fierro galvanizado, material con el que se fabrican los ductos en diferentes medidas. Se tiene como salida piezas de ductos para ser armadas e instaladas en obra.

3.2.2.1.1.3 Layout de planta antes de las mejoras de la empresa JK Projects Perú

E.I.R.L.

En la figura 11 se muestra el layout actual de la línea de producción de maquinado de ductos metálicos para sistemas de ventilación y aire acondicionado que va desde el almacén de materia prima hasta el almacenaje del producto terminado. Para este proceso se cuenta con dos

dobladoras mecánicas, una mesa de corte y trazado, una cizalla mecánica y herramientas de Mano.

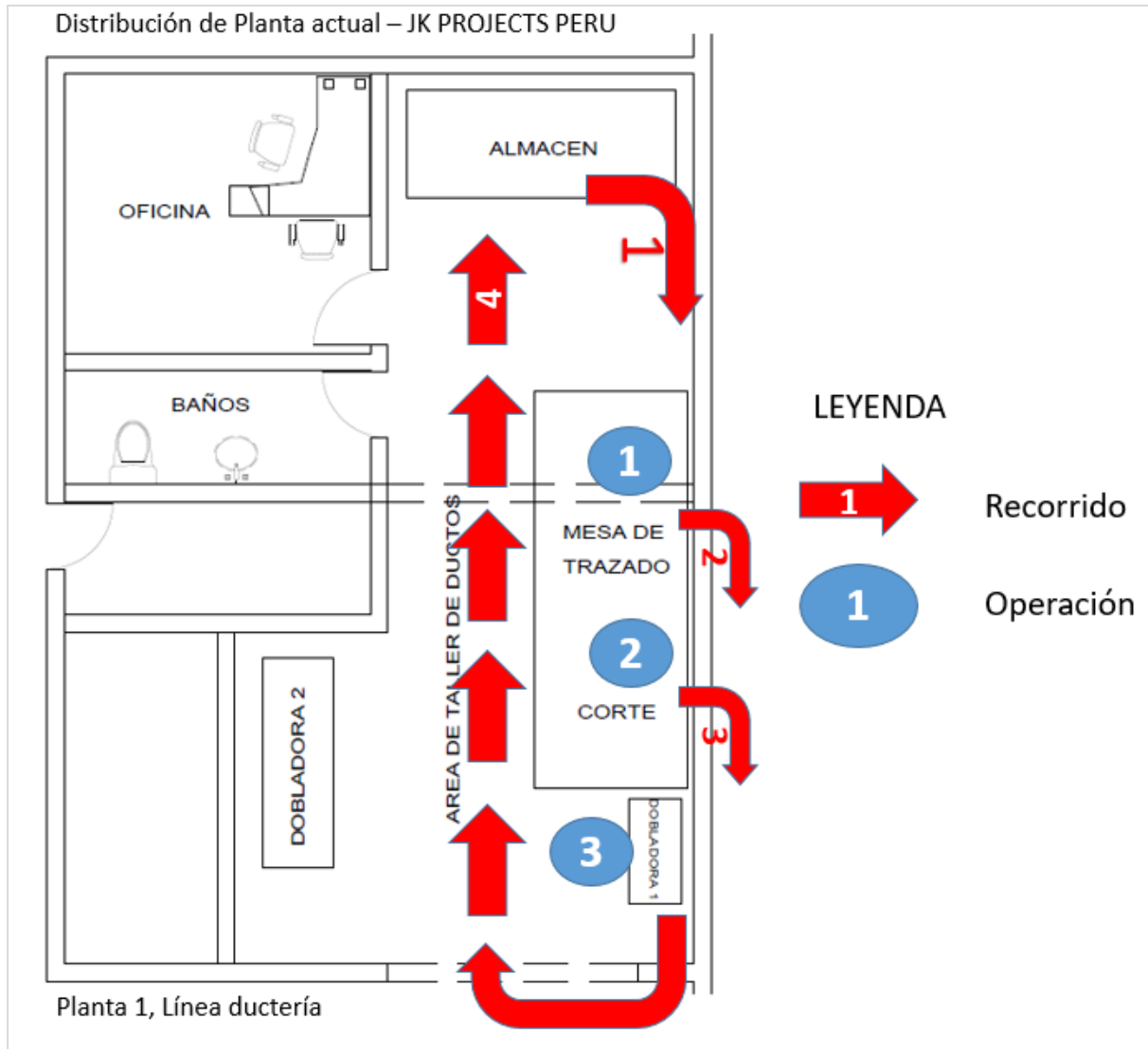


Figura 11, Layout distribución de línea de maquinado.

Fuente: JK Projects Perú E.I.R.L.

3.2.2.1.1.4 SIPOC del proceso fabricación de ductos metálicos para sistemas HVAC.

En la figura 12, SIPOC del proceso de fabricación de ductos, se grafican los inputs, outputs y límites del proceso de fabricación de ductos metálicos en plancha de fierro galvanizado. El Principal Input del proceso es la plancha de fierro galvanizada. La salida: Ducto doblado y cortado listo para armar y montar en obra.

SIPOC PROCESO DE FABRICACIÓN DE DUCTOS.

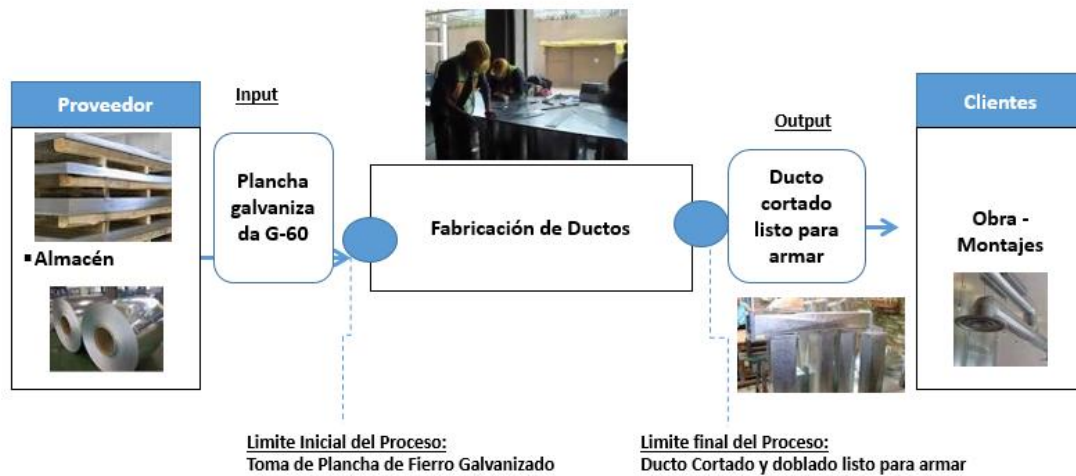


Figura 12, Proceso de fabricación de ducto, empresa JK Projects Perú E.I.R.L.

Fuente: JK Projects Perú E.I.R.L.

El proceso de fabricación de ductos tiene tres sub- procesos (Jerarquía del proceso, ver figura 4):

Trazado, cuyo input es la plancha de hierro galvanizado que llega del proveedor en formatos de 1.22 m x 2.44 m en diferentes espesores, la selección del espesor de la plancha se hace teniendo en cuenta el manual de buenas prácticas para fabricación e instalación de conductos de aire para sistema de aire acondicionado y ventilación mecánica – SMACNA (Sheet Metal Air Conditioning Contractors´ National Association, por sus siglas en inglés) con salidas de plancha trazada lista para el siguiente sub-proceso.

En el proceso de Corte, se recibe la plancha seleccionada y trazada. El corte de la plancha se hace con una cizalla industrial y/o con una cortadora manual, se hace teniendo en cuenta la disponibilidad de la herramienta y/o la dificultad del trazo en la plancha, el operario toma la decisión en base a lo anterior. Las salidas del proceso de corte son: Partes o piezas planas cortadas para ductos que pueden ser rectos, codos, niples, cuellos para empalmes, desviaciones tipo “S” y cajas para difusores y rejillas.

El siguiente proceso es el más importante del **maquinado** o doblado de ducto, este proceso recibe las piezas planas cortadas y codificadas. El proceso consiste en plegar la lámina de acero

para formar bridas, engargolados, dobleces en ángulos obtusos, rebordeados y pestañas para unir longitudinal y transversalmente las planchas haciendo posible la formación de conductos rectangulares o circulares según sea el caso.

La figura 13, corresponde a un ducto en plancha de acero galvanizado, en la imagen se muestran 02 tipo de uniones necesarias para su armado. Las uniones longitudinales se hacen con dobleces en ángulo obtuso, cierres y pestañas, ver figura 14. Las uniones transversales se hacen con uniones mostradas en la figura 15.

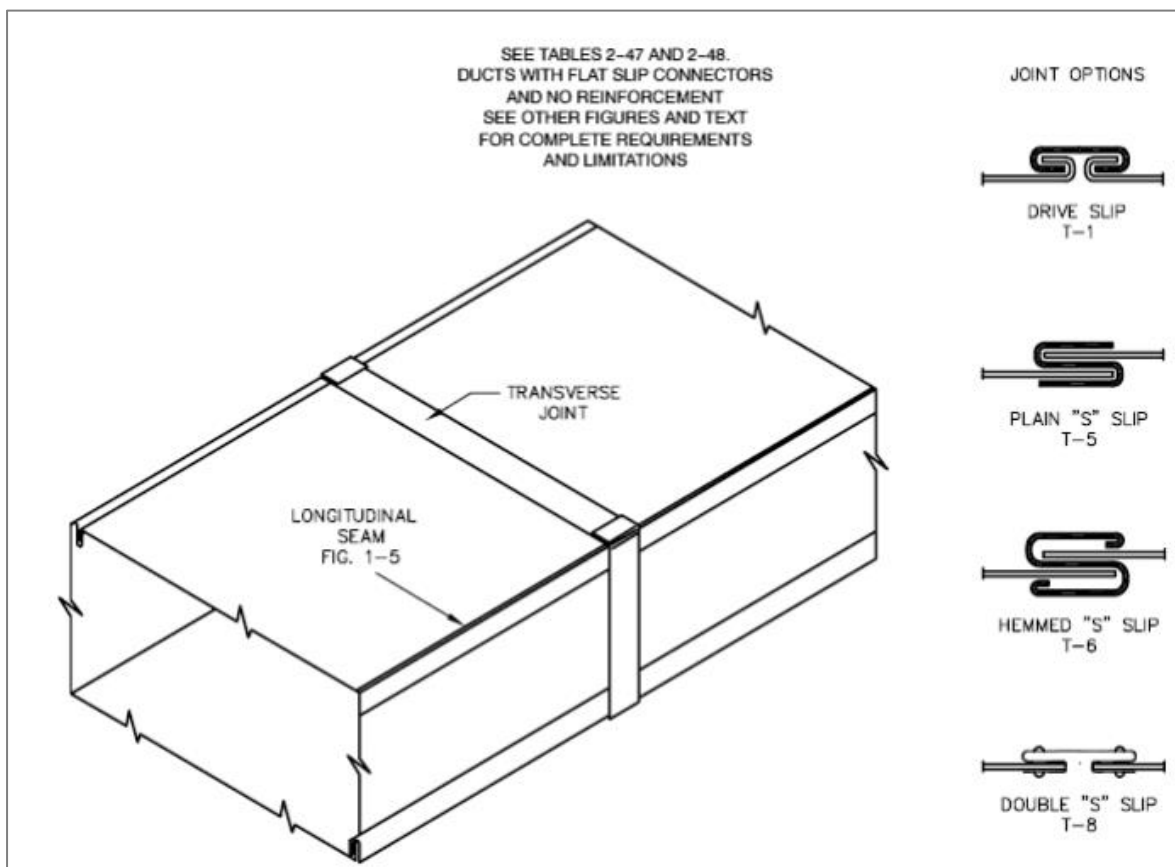


Figura 13, Uniones transversales y longitudinales - Tabla SMACNA.

Fuente: ANSI/SMACNA 006-2006

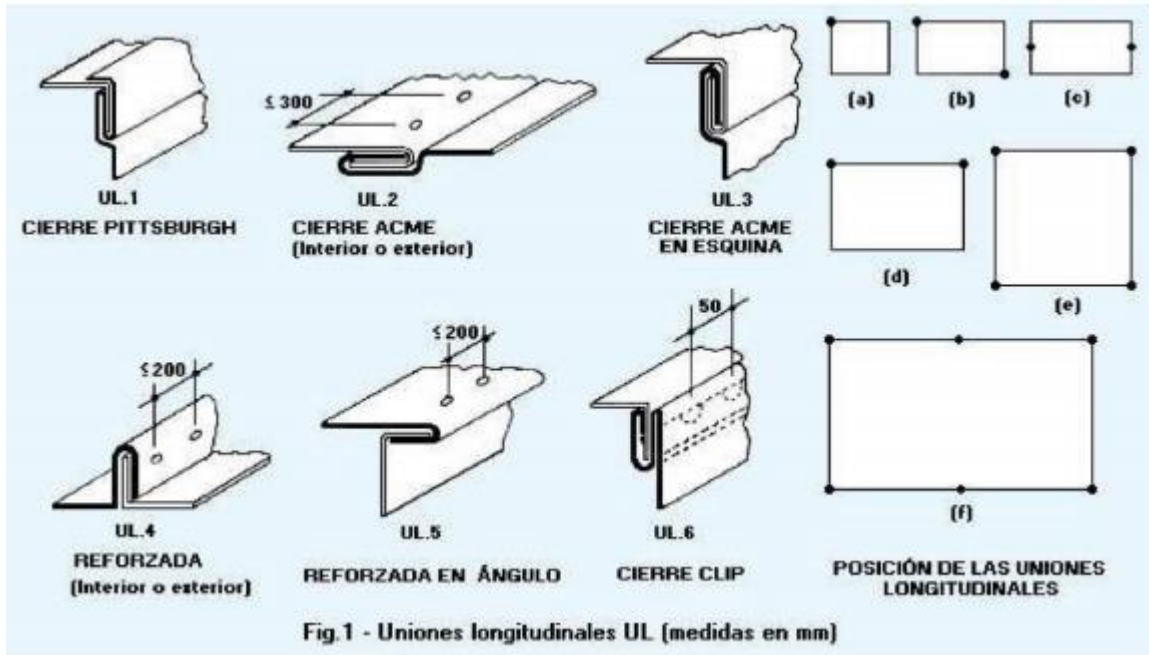


Figura 14, Isométrico de Tipo de uniones longitudinales.
 Fuente: ANSI/SMACNA 006-2006

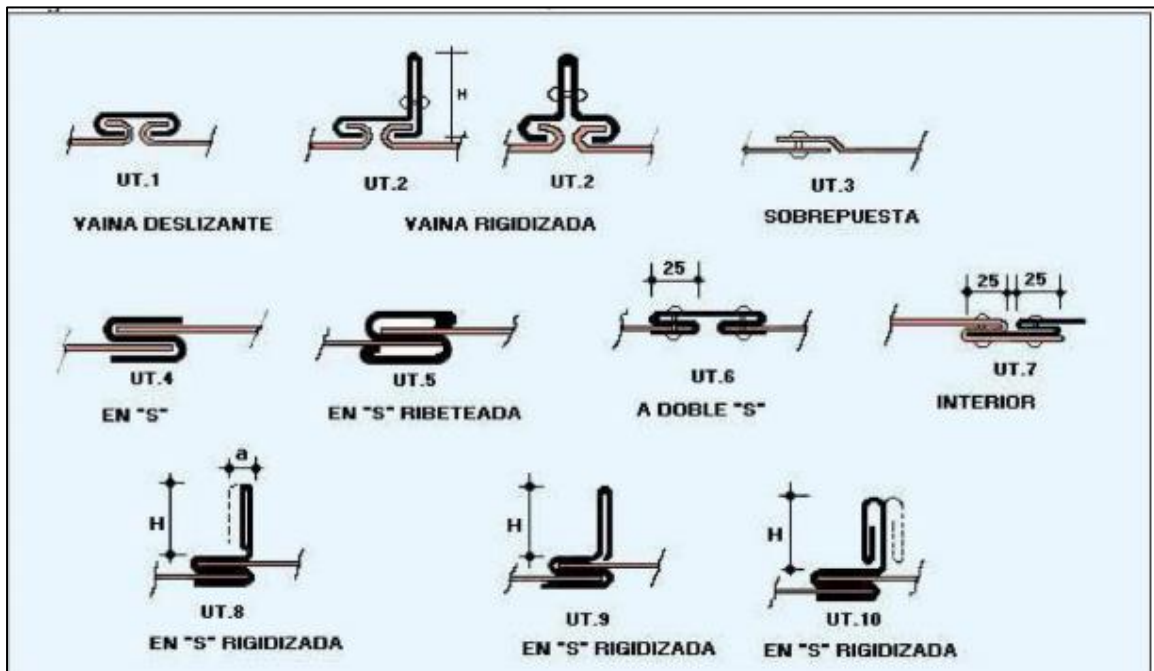


Figura 15, Isométrico de Tipo de uniones transversales.
 Fuente: ANSI/SMACNA 006-2006

El proceso de fabricación de ductos sigue las siguientes actividades (Ver figura 16)

ACTIVIDADES DEL SUB PROCESO: FABRICACION DE DUCTOS.



Figura 16, Actividades del proceso de fabricación de ductos.

3.2.2.1.1.5 Diagrama del proceso fabricación de ductos metálicos para sistemas HVAC.

La figura 17, muestra el flujo que sigue el subproceso fabricación de ductos, considerándose como punto de inicio el área de Proyectos y/o ventas en donde se hace el presupuesto y la ingeniería de ser el caso; si la propuesta es aceptada por el cliente se elabora na orden de ejecución de proyectos y es enviada a operaciones en donde se asigna a un jefe de proyectos, éste tiene la responsabilidad de ejecutar el proyecto con los alcances recibidos en un file denominado “Ejecución de proyectos”. El JP (Jefe de proyecto, en adelante) debe hacer una visita a la obra para hacer las compatibilizaciones y replanteos; terminada esta etapa éste genera las órdenes de fabricación para producción. En producción se sigue el procedimiento según diagrama, ver figura 17. Terminada la fabricación, las piezas son enviadas a obra para su

montaje, siguen los pasos descritos en la misma figura. Finalmente, el JP entrega el producto al cliente final.

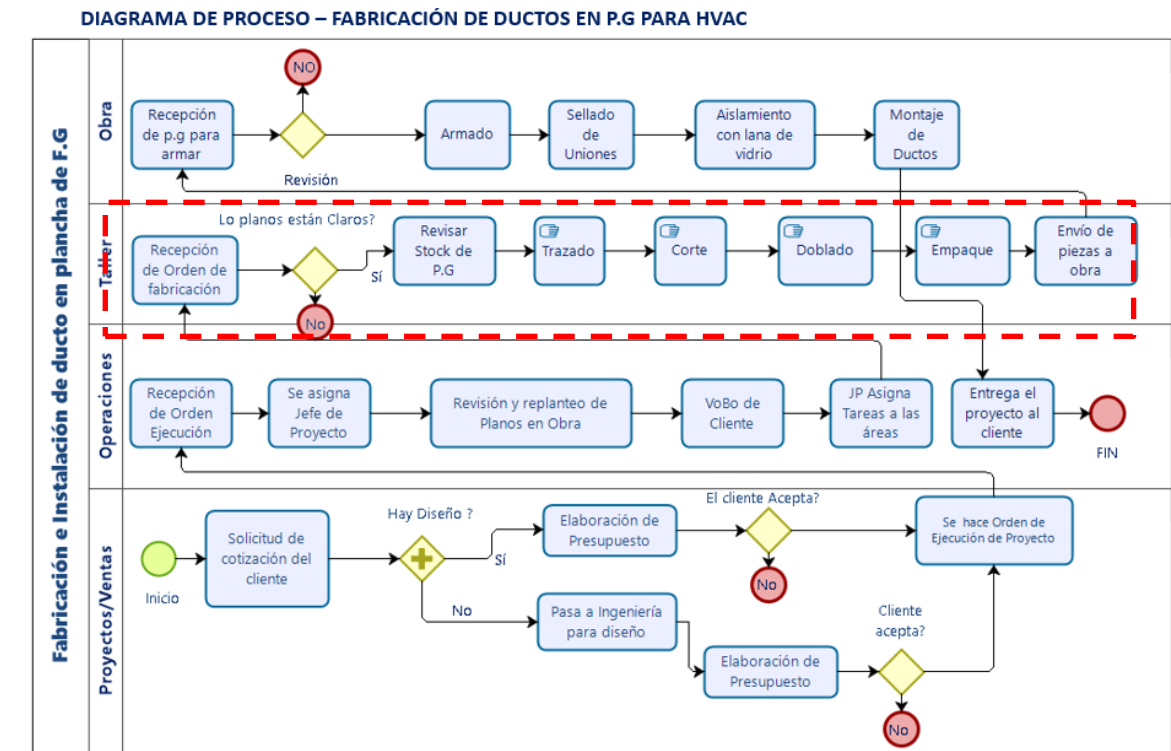


Figura 17. Flujo del Proceso de fabricación de Ductos.

Fuente: JK Projects Perú E.I.R.L

La ficha de procesos, Figura 18, Sintetiza las entradas, salidas, límites del proceso, procesos de entrada y salida vinculados, inspecciones de calidad, registros de producción, variables e indicadores del proceso.

		FICHA DEL PROCESO:		
		FABRICACIÓN DE DUCTOS DE PLANCHA DE FIERRO GALVANIZADO.		
		PRO0903		
		Edición:	03	
		Fecha:	24/12/2018	
PROCESOS				PROPIETARIO:
PROCESO DE FABRICACIÓN DE DUCTOS DE PLANCHA DE FIERRO GALVANIZADO.				Operaciones
MISION				DOCUMENTACIÓN:
FABRICAR DUCTOS DE PLANCHA DE FIERRO GALVANIZADO CUMPLIENDO LOS ESTANDARES DE CALIDAD				
ALCANCE				
EMPIEZA:	Toma de Plancha de Fierro Galvanizado			
INCLUYE:	Fabricación de Plancha			
TERMINA:	Ducto Cortado y doblado listo para armar			
ENTRADAS:			SALIDAS:	
ALMACÉN				
PROVEEDORES			CLIENTES	
			OBRA DE MONTAJE	
PROCESOS DE ENTRADA VINCULADOS:			PROCESOS DE SALIDA VINCULADOS:	
Plancha galvanizada G-60			Ducto cortado listo para armar	
INSPECCIONES:			REGISTROS:	
• Reporte diario de trabajo			Registro de producción or obra	
VARIABLES			INDICADORES	
Productividad Global			kg fabricado/(Materiales + MO)	
Productividad costo de mano de obra			Kg fabricado/(costo MO)	
Productividad laboral			Kg fabricado/(h-h)	
OBSERVACIONES:				
Elaborado por:			Aprobado por:	
Firma			Firma	

Figura 18, Ficha del proceso de fabricación de ductos.

Fuente: JK Projects Perú E.I.R.L

3.2.2.1.2 Medir.

“En esta fase de la metodología DMAIC, es donde se entiende y cuantifica mejor la magnitud del problema. Además, se debe mostrar evidencia de que se tiene un sistema de medición adecuado”. (Gutierrez Pulido & de La Vara Salazar, 2013).

3.2.2.1.2.1 Resultados de medición del proceso actual.

En el apartado 3.2.1 de esta investigación se hizo una evaluación de la productividad global y parcial del proceso denominado Fabricación de ductos para sistemas de ventilación y aire acondicionado en láminas de acero galvanizado, teniéndose los siguientes resultados:

Tabla 8.

Resultados de evaluación de la productividad - JKP.

Tipo	IP Actual (Promedio ponderado)
Productividad global (Kg/costo Mo-Materiales)	0.92
Productividad parcial costo de mano de Obra (Kg/costo MO)	4.71
Productividad laboral (Kg/h-h)	13.65



Figura 19. Resultados de la evaluación de la productividad en JKP.

Fuente: JK Projects Perú E.I.R.L

Se calcularon la productividad total de factores para el proceso, productividad parcial de los recursos mano de obra en horas hombre como unidades y en costos en unidades monetarias. El proceso actual tiene una productividad global de 0.92 kg por cada dólar invertido, la productividad parcial de mano de obra en términos de costo tiene una productividad de 4.71 kg por cada dólar consumido y finalmente la productividad laboral o del trabajo es de 13.65 kg por cada hora hombre. Los valores de productividad kg/h-h resultan por debajo de la productividad esperada (Mayor a 14.5 kg/h-h, planteado en los objetivos estratégicos de la empresa) Los valores de la productividad en este caso se refieren a promedios ponderados.

Luego de medir la productividad, en base a data histórica, se hizo una medición de tiempos para determinar tiempo estándar y tiempo de ciclo del producto. Para hallar la principal

restricción del sistema se hizo un balance de línea y un mapeo de la cadena de valor – VSM (Value Stream Mapping, por sus siglas en inglés) para detectar tiempos que no generan Valor agregado y convertirlos en oportunidades de mejora.

3.2.2.1.2.2 Medición de tiempos del proceso actual.

Establecida la productividad actual es necesario conocer los tiempos estándar de cada una las actividades del proceso para encontrar las principales restricciones o cuellos de botella del sistema. Esta información nos servirá como base para elaborar un mapa de cadena de valor o Value Stream Mapping (VSM)


DESGLOSE Y LIMITACIÓN DE PRODUCTIVIDAD			
Tarea:	Fabricación de ductos de planchas de fierro galvanizado	Empresa:	JK Projects Perú
Fecha:	12/05/2018	Proceso:	Producción
Analista:	Pablo Illesca / Juan Benites	Área:	Taller de Fabricación
Operativo:	Miguel Espinoza / Edwin Espinoza		
 Climatización y Sistemas Contra Incendio			
Descripción de la Operación	Tipo	Hito Inicial	Hito Final
1 Revisión de planos con las especificaciones de los ductos a elaborar.	○	Verificación de especificaciones del plano	Determinación la cantidad piezas y sus dimensiones.
2 Colocar plancha de fierro galvanizado en mesa de trabajo.	⇒	Inicio de desplazamiento de plancha desde almacén.	Plancha puesta en mesa de trabajo.
3 Trazado y corte de pieza.	○	Trazado de pieza en la plancha de fierro galvanizado	Corte de pieza según trazado realizado.
4 Codificación de pieza.	○	Rotulación de pieza.	Colocar pieza en zona de doblado.
5 Traslado a zona de doblado	⇒	Se toma pieza codificada	Se coloca la pieza en piso a lado de la dobladora
6 Doblado de pieza (pestaña inglesa).	○	Coger pieza de zona de doblado.	Generar pestaña inglesa con maquina dobladora.
7 Doblado de pieza (doblado de bordes y dar forma al ducto)	○	Colocar pieza en dobladora.	Retirar pieza de dobladora.
8 Traslado de pieza a zona de PT	⇒	Coger pieza terminada	Dejar pieza terminada en zona de PT.

Figura 20, Diagrama del proceso actual.

Fuente: Registro empresa JK Projects Perú E.I.R.L.

La figura 20, Diagrama de actividades del proceso, muestra las actividades de las operaciones del proceso en estudio. Con esta información se realizó un estudio de tiempos en

campo con el fin determinar el tiempo estándar del ciclo de producción por kilogramos fabricado por cada proceso realizado durante la producción de ductos en plancha de fierro galvanizado.

HOJA DE CRONOMETRAJE													
Tarea:	Fabricación de ductos de planchas de fierro galvanizado	Empresa:	JK Projects Perú										
Fecha:	12/05/2018	Proceso:	Producción										
Analista:	Pablo Illesca / Juan Benites	Área:	Taller de Fabricación										
Operativo:	Miguel Espinoza / Edwin Espinoza	Tipo:	DUCTOS SIMPLES										
Descripción de la Operación		Tipo	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	PROM
1	Revisión de planos con las especificaciones de los ductos a elaborar.	T	0.46	0.40	0.52	0.30	0.23	0.36	0.43	0.30	0.32	0.31	0.36
		L	0.46	0.40	0.52	0.30	0.23	0.36	0.43	0.30	0.32	0.31	0.36
2	Colocar plancha de fierro galvanizado en mesa de trabajo.	T	0.16	0.13	0.18	0.10	0.08	0.12	0.16	0.10	0.11	0.11	0.13
		L	0.62	0.53	0.70	0.39	0.31	0.48	0.59	0.40	0.43	0.42	0.49
3	Trazado y corte de pieza.	T	0.18	0.16	0.21	0.74	0.60	0.61	0.54	0.34	0.37	0.47	0.42
		L	0.80	0.69	0.91	1.14	0.92	1.09	1.13	0.74	0.80	0.88	0.91
4	Codificación de pieza.	T	0.10	0.09	0.13	0.08	0.05	0.08	0.10	0.08	0.07	0.08	0.09
		L	0.90	0.78	1.04	1.21	0.97	1.17	1.23	0.82	0.87	0.97	1.00
5	Traslado a zona de doblado	T	0.07	0.07	0.06	0.07	0.07	0.06	0.07	0.07	0.06	0.06	0.07
		L	0.97	0.85	1.10	1.28	1.04	1.23	1.62	0.89	0.93	1.03	1.09
6	Doblado de pieza (pestaña inglesa).	T	0.71	0.51	0.70	0.41	0.31	0.51	0.64	0.40	0.46	0.43	0.51
		L	1.68	1.36	1.80	1.69	1.35	1.74	1.87	1.29	1.39	1.46	1.56
7	Doblado de pieza (doblado de bordes y dar forma al ducto)	T	0.11	0.31	0.33	0.25	0.19	0.28	0.40	0.25	0.29	0.22	0.26
		L	1.78	1.67	2.13	1.94	1.54	2.02	2.26	1.53	1.68	1.67	1.82
8	Traslado de pieza a zona de PT	T	0.07	0.06	0.08	0.04	0.04	0.05	0.07	0.04	0.04	0.04	0.05
		L	1.85	1.73	2.22	1.98	1.57	2.08	2.33	1.58	1.72	1.72	1.88

Figura 21. Hoja de Observaciones.

Fuente: Registro empresa JK Projects Perú E.I.R.L.

Elaboración: Propia

Se comprobó la fiabilidad de los datos obtenidos dándole como margen un 33% de desviación estándar tanto superior como inferior, respecto a la media de los tiempos normalizados.

Tabla 9.

Tabla de validación de muestreo de tiempos

Categoría	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
T. Normal	1.85	1.73	2.22	1.98	1.57	2.08	2.33	1.58	1.72	1.72
Desviación Sup.	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26
Media	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88
Desviación Inf.	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50

Fuente: Registro empresa JK Projects Perú E.I.R.L.

Elaboración: Propia

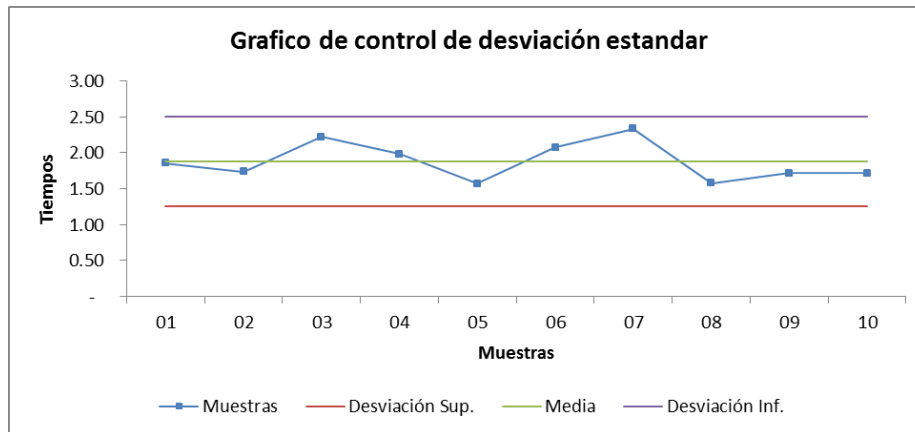


Figura 22. Gráfico de control de desviación estándar.
Fuente: Registro empresa JK Projects Perú E.I.R.L.
Elaboración: Propia

Con ello tenemos el tiempo normal de cada actividad realizada durante la producción.

Luego se aplican los suplementos que intervienen durante la ejecución de cada actividad tal como se detalla en la siguiente figura.

SUPLEMENTOS GENERALES	
Suplmentos de Descanso	Cant
Necesidades Personales	5%
Fatiga	4%
Estar de pie	2%
Total suplementos de descanso	11%
Suplmentos por imprevisos	Cant
Imprevistos	2%
Total suplementos de descanso	2%
Suplmentos por imprevisos	Cant
Inicio y fin de la jornada	2%
Total suplementos por imprevisos	2%
Total de suplmentos generales	15%

Figura 23. Tabla de suplementos generales aplicada
Fuente: Registro empresa JK Projects Perú E.I.R.L.
Elaboración: Propia

POROCESO	Descripción de la Operación	Tipo	Distancia (m)	T. Normal	Total Suplemnto	T. Estandar
TRAZADO Y CORTE	Revisión de planos con las especificaciones de los ductos a elaborar.	○		0.36	15%	0.42
	Colocar plancha de fierro galvanizado en mesa de trabajo.	○		0.13	15%	0.15
	Trazado y corte de pieza.	⇒	3.50	0.42	15%	0.49
	Codificación de pieza.	○		0.09	15%	0.10
DOBLADO	Traslado a zona de doblado	⇒	2.10	0.07	15%	0.08
	Doblado de pieza (pestaña inglesa).	○		0.51	15%	0.58
	Doblado de pieza (doblado de bordes y dar forma al ducto)	○		0.26	15%	0.30
	Traslado de pieza a zona de PT	⇒	8.60	0.05	15%	0.06
Tiempo de Ciclo						2.17 MIN
Resumen						
Tiempo Normal = TN.FC				2.17 MIN		
Tolerancia				100.00 MIN		
$S = (40\text{min}/\text{dia}) / ((480-40)/0.22685)$				0.57 MIN		
TS=TN+S				2.74 MIN		
PS=Produccion estandar de kg. de ducto de p.g				161 Kg de ducto de p.g		

Figura 24. Diagrama de actividades de Proceso fabricación de ductos.

Fuente: Registro empresa JK Projects Perú E.I.R.L.

Elaboración: Propia

La figura 24 muestra el diagrama de actividades proceso con los tiempos estándares de cada sub-proceso, esto nos permitirá a continuación elaborar una tabla de precedencia del proceso.

3.2.2.1.2.3 Balance de línea del proceso de fabricación de ductos.

Tabla 10.

Tabla de precedencia de actividades del proceso de fabricación de ductos.

Tabla de precedencia, proceso de fabricación de ductos.

PROCESO	Descripción de la Operación	Código de tarea	TS	Precedentes
TRAZADO Y CORTE	Revisión de planos con las especificaciones de los ductos	A	0.52	
	Colocar plancha de fierro galvanizado en mesa de trabajo.	B	0.18	A
	Trazado y corte de pieza.	C	0.61	A,B
	Codificación de pieza.	D	0.12	C
DOBLADO	Traslado a zona de doblado	E	0.10	D
	Doblado de pieza (pestaña inglesa).	F	0.74	E
	Doblado de pieza (doblado de bordes y dar forma al ducto)	G	0.38	F
	Traslado de pieza a zona de PT	H	0.08	G

2.74 MIN

Fuente: Registro empresa JK Projects Perú E.I.R.L.

Elaboración: Propia

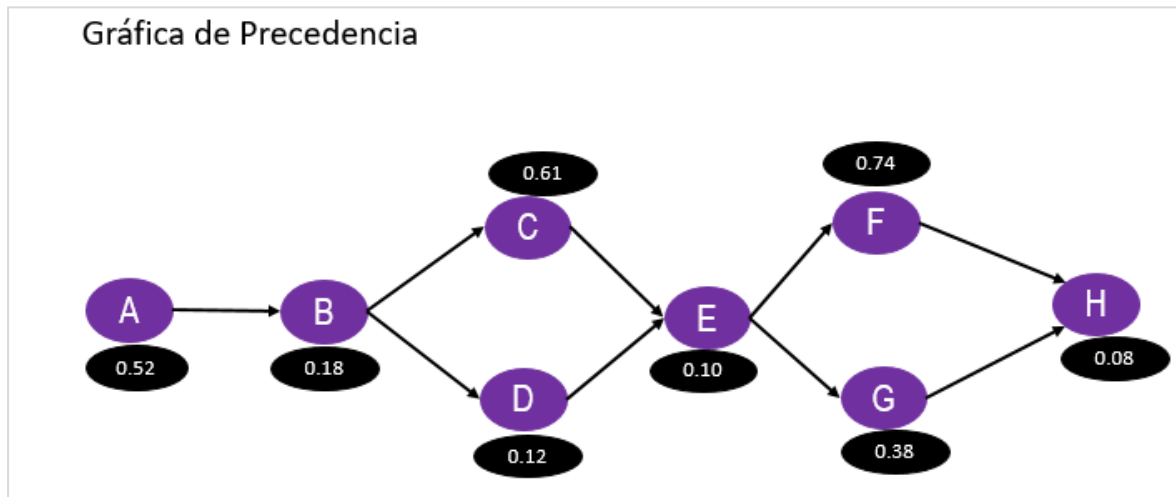


Figura 25. Gráfica de precedencia de actividades, fabricación de ductos.

Fuente: Registro empresa JK Projects Perú E.I.R.L.

Elaboración: Propia

Establecida la tabla y el diagrama de precedencia de actividades que intervienen en el proceso de fabricación de ductos se ha elaborado un balance de línea a fin de encontrar las estaciones o actividades en donde se generan cuellos de botellas y mapear los puntos críticos, además de identificar la mejora de procesos con el Value Stream Mapping (ver figura 29)

A continuación, se ha elaborado el balance de línea del proceso actual:

Datos de entrada

Producción diaria : 330 kg.
Tiempo disponible : 480 Minutos (8 horas x 60)

3.2.2.1.2.3.1 Cálculo de Tiempo de ciclo.

Se utilizó la siguiente fórmula: $C = \text{Tiempo de producción diaria} / \text{Producción diaria}$

$$\frac{480 \text{ min}}{330 \text{ kg}} = 1.45 \text{ min/kg.}$$

3.2.2.1.2.3.2 Cálculo de estaciones teóricas y reales.

Se utilizó la siguiente fórmula: $N_e = \text{Sumatoria de tiempos de todas las tareas} / \text{Tiempo de ciclo}$

Se tomaron todos los tiempos de las actividades de la tabla 10 y se dividió entre el tiempo de ciclo resultante del apartado 3.2.2.1.2.3 $N_e = \frac{2.74 \text{ min}}{1.45 \text{ min/kg}} = 1.89$ estaciones teóricas. El número de estaciones haciendo el redondeo resulta 2.

E.T	Tarea Candidata	Asiganda	Tiempo	Tiempo no Asignado	No asignados
1	A	A	0.52	0.93 Min	
	B	B	0.18	0.75 Min	
	CD	C	0.61	0.14 Min	
	D	D	0.12	0.02 Min	0.02 Min
2	E	E	0.10	1.35 Min	
	F,G	F	0.74	0.61 Min	
	G	G	0.38	0.23 Min	
	H	H	0.08	0.15 Min	0.15 Min
			2.73		0.18

Figura 26. Asignación de actividades, supuesto 1.

Fuente: Registro empresa JK Projects Perú E.I.R.L.

Elaboración: Propia.

Se asignaron las actividades a cada estación de trabajo resultante.

E.T	ASIG.	(S)	T.E	LP	No Operarios	NOR	Tardanza (T)
1	A	0.52				2	
	B	0.18					
	C	0.61					
	D	0.12	1.43	0.69	1.05 Op		0.72 Min
2	E	0.10				1	
	F	0.74					
	G	0.38					
	H	0.08	1.30	0.688	0.95 Op		1.30 Min
		2.73	2.73		1.995 Oper	3.000 Oper	2.02 Min

Figura 27. Asignación y cálculos de operarios.

Fuente: Registro empresa JK Projects Perú E.I.R.L.

Elaboración: Propia.

Determinado el tiempo de ciclo (1.45 min/kg) se calculó el número de estaciones teórica y reales (02 para el caso) se concluye que la estación cuello de botella es el área de doblado (estación 2, doblado de pestaña inglesa) con una tardanza con respecto al resto de actividades de 1.30 min, se requieren 02 operarios y el balance de línea del sistema tiene una eficiencia de 94.07%. el cálculo de eficiencia se hizo de la manera siguiente:

Eficiencia: $T/(Nr \cdot C)$.

En donde:

T= Suma de tiempo de todas las actividades del proceso.

Nr= Número de estacione reales

C= Tiempo de ciclo.

Así se procedió al cálculo de la eficiencia del balance de Línea del sistema.

$$\text{Eficiencia} = \frac{2.74 \text{ min}}{(2 * 1.45 \frac{\text{min}}{\text{kg}})} = 0.9448$$

3.2.2.1.2.4 Mapa de Cadena de Valor (Value Stream Mapping –VSM).

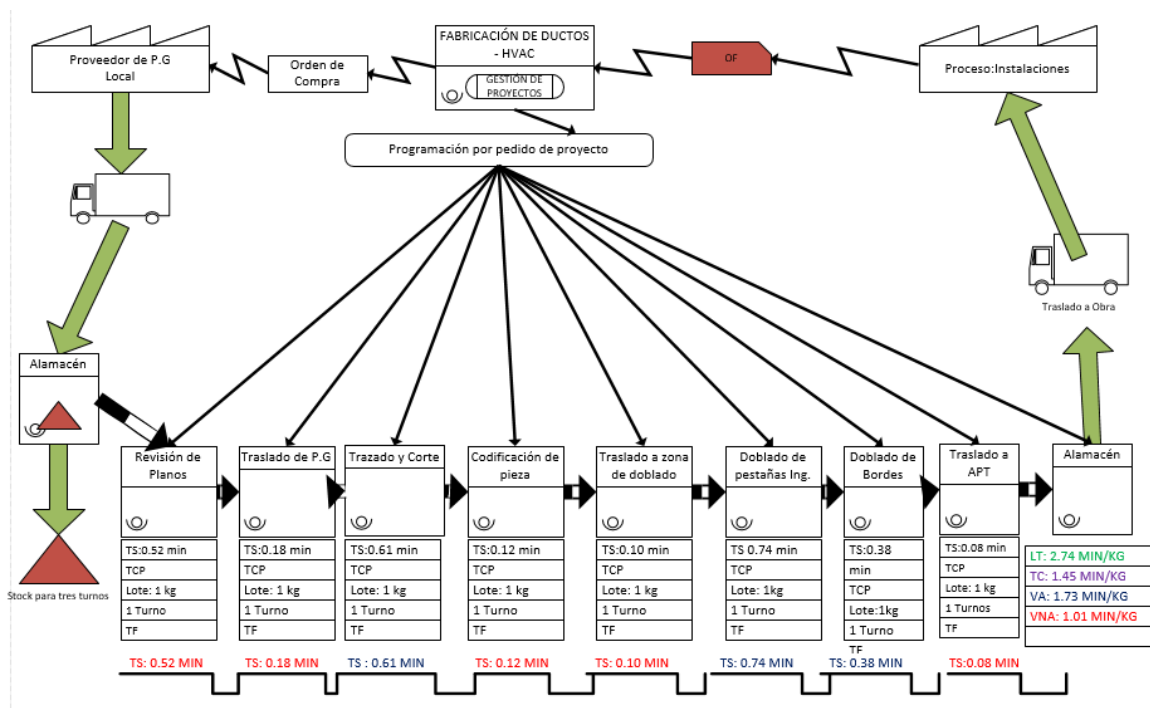


Figura 28, Mapa de Cadena de Valor Proceso de fabricación de ductos.

Fuente: Registro empresa JK Projects Perú E.I.R.L.

Elaboración: Propia.

La figura 28 muestra el mapa de cadena de valor o value stream mapping del proceso de fabricación de ductos de la empresa JKP (Muestra el AS-IS o el cómo es el proceso actual). El VSM diseñado por Toyota motor es parte de las herramientas Lean manufacturing que se usa para reducir los desperdicios de la producción. Para el caso se tiene que el lead time del proceso de fabricación de 1 kg de ducto para sistemas HVAC es de 2.74 min. Con un tiempo de ciclo de 1.45 min/kg (Para un lote de 330 kg de ductos en plancha de fierro galvanizado y con una disponibilidad de tiempo de 480 min/turno). El valor Añadido (VA) es de 1.73 min/kg, mientras

que el tiempo que no genera valor es de 1.01 min/kg. A partir de esta métrica en adelante se analizará y plantearán las mejoras para eliminar las restricciones del sistema.

3.2.2.1.3 Analizar.

En esta etapa de la investigación analizaremos los resultados de la medición de la productividad global, parcial y el mapa de cadena de valor desarrollado en la dimensión anterior. Luego se hace un análisis del tiempo estándar del proceso actual, se identifica el cuello de botella del proceso para planificar las mejoras.

Los indicadores de productividad actual al ser confrontados con los costos mínimos aceptables resultan por debajo de lo esperado, así se tiene que la productividad mínima aceptable (Mayor 14.5 kg/h-h), ver figura 9, es inferior en la mayoría de los proyectos analizados, si bien estos se ven compensados por la media ponderada en general, 13.65 kg/h-h), se deberán detectar oportunidades de mejora. La productividad tiene incidencia directa en el costo de la fabricación, el costo mínimo aceptable de mano de obra de este proceso así establecido por la dirección de la empresa como objetivo estratégico es de 0.20 dólares por cada kilogramo de ducto, sin embargo, para los proyectos pequeños el costo promedio es superior a los 0.45 USD por unidad (kg).

Para identificar las posibles causas raíz que ocasionan la merma de la productividad y el aumento de costos en la producción de ductos metálicos se hizo un diagrama de causa efecto o espina de pescado. Para luego, a través de una matriz de ponderación identificar los pocos vitales, es decir, las causa raíz que originan el 80% de los efectos.

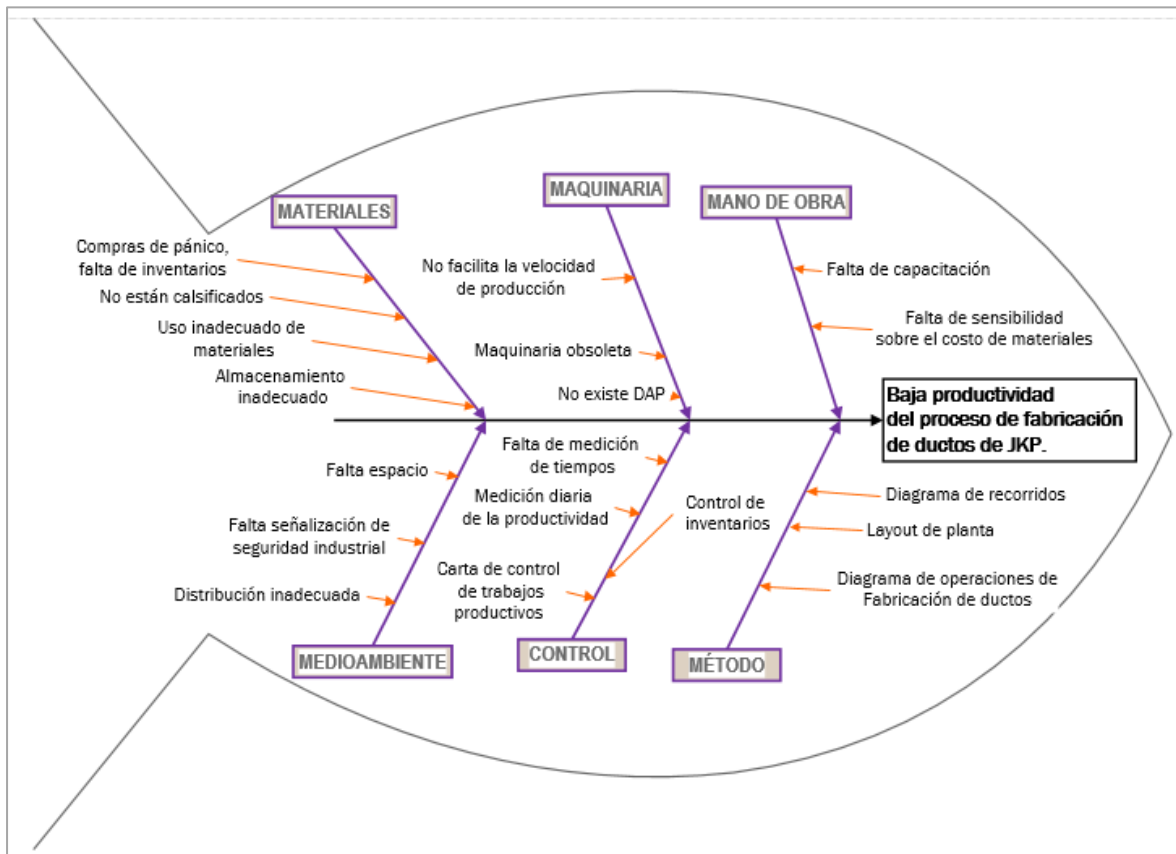


Figura 29, Diagrama de causa - efecto - productividad en el proceso de fabricación de ductos.

Fuente: Registro empresa JK Projects Perú E.I.R.L.

Elaboración: Propia

Después de una lluvia de ideas con el personal de operaciones de la empresa, en la que participa el tesista, se listaron 19 causas que ocasionan la merma de productividad en el proceso de fabricación de ductos en plancha de fierro galvanizado, así se muestran en la figura 30.

Esta lista es sometida a una ponderación de factores que buscan darle peso a cada uno de ellos, de manera que se puedan identificar las causas que son factores determinantes o que son causantes directos del problema, que de aplicarse una solución estos eliminen el problema, o si la solución es viable técnica y económicamente; si, es posible medir el impacto o beneficio y finalmente si la solución de bajo costo. A continuación, se plantean las preguntas de rigor para la aplicación de una matriz de ponderación de factores.

Tabla 11.

Preguntas de Rigor para matriz de ponderación de factores.

IT	Pregunta de Rigor
	1 ¿Es un factor que lleva al problema? Es factor?
	2 Esto ¿Ocasiona directamente el problema? Causa directa
	3 Si esto es eliminado ¿Se corregirá el problema? Solucion directa
	4 ¿Se puede plantear una solución factible? Solucion factible
	5 ¿Se puede medir si la solución funcionó? Es medible
	6 ¿La solución es de bajo costo? Bajo costo

Con valores del 1 al 3

CAUSAS	SOLUCIONES	CRITERIOS						TOTALES
		FACTOR	CAUSA DIRECTA	SOLUCIÓN	FACTIBLE	MEDIBLE	BAJO DE COSTO	
Materiales								
Almacenamiento inadecuado	Ordenar, Adquirir anaqueles	1	0	0	1	1	1	4
Uso inadecuado de materiales	Capacitación y control	1	0	1	1	0	0	3
Falta de clasificación	Aplicar calasificación ABC/5S	1	0	0	1	1	1	4
Compras de pánico, falta inventariar	Compra por orden de pedido	0	0	0	1	1	1	3
Maquinaria								
No existe diagrama de recorrido hombre máquina	Elaborar DAP	1	0	1	1	0	1	4
Maquinaria con obsolescencia tecnológica	Actualizar maquinaria	3	3	3	3	3	3	18
Maquinaria existente no facilita la velocidad del proceso	Adquirir pesatañadora eléctrica	3	3	3	3	3	3	18
Mano de Obra								
Falta de sensibilidad sobre el costo de materiales y su impacto	Capacitación	1	1	1	1	0	0	4
Falta de capacitación	Capacitación a personal de obra	1	0	1	1	0	1	4
Control								
Falta de medición de tiempo estándar y tiempo de ciclo.	Medición de tiempos, estandar, de ciclo	3	2	3	3	3	3	17
Medición diaria de la productividad	Registro de producción diaria y entradas	2	2	2	2	2	2	12
Medición de trabajos productivos y trabajos no productivos	Carta Balance de producción	1	1	1	1	0	0	4
Falta de control de inventarios	Actualizar Kardex de herramientas y materiales	1	1	1	1	0	0	4
Medio ambiente								
Espacio reducido	Eliminar mermas, desperdicios/5S	3	3	3	3	3	3	18
Falta de señalización de seguridad	Elaborar plano de señalizaciones	1	1	1	1	0	0	4
Distribución inadecuada del área de trabajo	Elaborar Layout de planta/ Aplicar 5S	3	3	3	3	3	3	18
Método								
Falta de layout de distribución de planta	Elaborar Layout y diagrama de recorrido	2	2	3	3	3	3	16
Falta de diagrama de recorridos.	Elaborar Layout y diagrama de recorrido	2	2	2	2	2	2	12
Falta de diagrama de operaciones (DAP)	Elaborar DAP para proceso de fabricación	2	2	2	2	2	2	12
Totales								179

Figura 30, Matriz de ponderación de factores - Causa - efecto.

Elaboración: Propia

Con la ayuda del juicio de experto, para el caso, el jefe de operaciones de la empresa JK Projects Perú E.I.R.L, se procedió a ponderar cada una de las causas que ocasionan la merma de la productividad en el proceso de fabricación de ductos metálicos (Figura 31) llegando al resultado siguiente:

Tabla 12.

Resultados de la matriz de ponderación - Causa efecto.

IT	CAUSAS	PUNTAJE		ACUMULADO
1	Maquinaria con obsolescencia tecnológica	18	10.06%	10.06%
2	Maquinaria existente no facilita la velocidad del proceso	18	10.06%	20.11%
3	Espacio reducido	18	10.06%	30.17%
4	Distribución inadecuada del área de trabajo	18	10.06%	40.22%
5	Falta de medición de tiempo estándar y tiempo de ciclo.	17	9.50%	49.72%
6	Falta de layout de distribución de planta	16	8.94%	58.66%
7	Medición diaria de la productividad	12	6.70%	65.36%
8	Falta de diagrama de recorridos.	12	6.70%	72.07%
9	Falta de diagrama de operaciones (DAP)	12	6.70%	78.77%
10	Almacenamiento inadecuado	4	2.23%	81.01%
11	Falta de clasificación	4	2.23%	83.24%
12	No existe diagrama de recorrido hombre máquina	4	2.23%	85.47%
13	Falta de sensibilidad sobre el costo de materiales y su impacto	4	2.23%	87.71%
14	Falta de capacitación	4	2.23%	89.94%
15	Medición de trabajos productivos y trabajos no productivos	4	2.23%	92.18%
16	Falta de control de inventarios	4	2.23%	94.41%
17	Falta de señalización de seguridad	4	2.23%	96.65%
18	Uso inadecuado de materiales	3	1.68%	98.32%
19	Compras de pánico, falta inventariar	3	1.68%	100.00%
		179	100.00%	

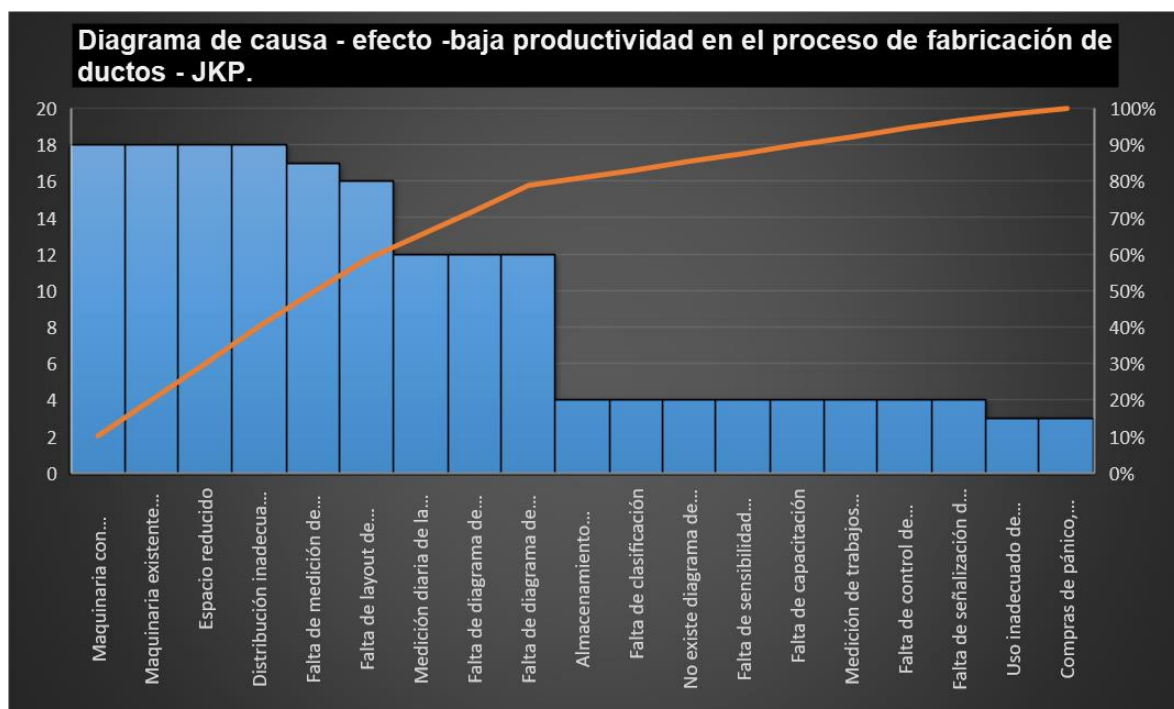


Figura 31, Diagrama de Pareto.

Elaboración: Propia

Así se concluye que las causas que mayor incidencia tienen en la merma de la productividad y con consecuencias de sobre costos en la fabricación de ductos son: Obsolescencia de maquinaria, la maquinaria utilizada para la fabricación no facilita la velocidad necesaria para la producción, esto aumenta el tiempo de ciclo del proceso; El espacio utilizado para como área de trabajo y de almacén de materias primas se ve reducido debido a que se viene acumulando materiales, mermas y herramientas en desuso; Falta de medición de tiempos para conocer tiempo estándar por unidad de producción y tiempo de ciclo del proceso para realizar un balance de línea del proceso. Hace falta un plano de distribución de planta y diagrama de recorrido del proceso de fabricación de ductos. No existe una política de registros de productividad de cada proyecto, la información se tiene que adquirir de los files de cada proyecto, esto dificulta la gestión de la productividad del proceso.

Se han identificado tres candidatas a estaciones cuello de botella: Doblado de pestañas (0.74 min/kg), trazado y corte (0.61 min/kg); Revisión de planos (0.52 min/kg) y traslados (0.36 min/kg), Ver Fig. 39.

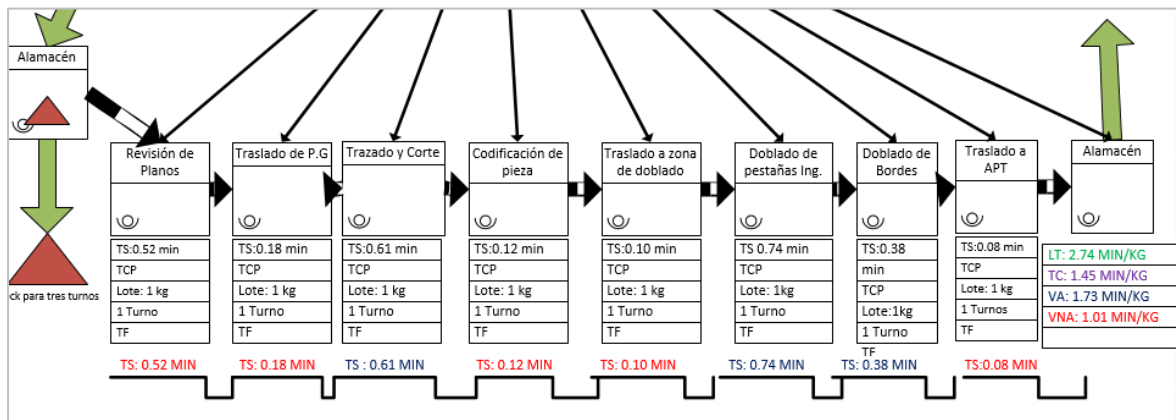


Figura 32, Identificación de restricciones del sistema.
Elaboración: Propia

3.2.2.1.4 Implementar, Mejorar.

3.2.2.1.4.1 Criterio para propuesta de mejora en base a teoría de restricciones (TOC).

(TOC).

La teoría de restricciones o TOC por sus siglas en inglés (Theory of constraints) fue formulada por el físico israelí Eliyahu Goldratt en 1980. Esta teoría postula que, en un proceso multitarea, sin importar el ámbito, el sistema puede ser tan fuerte como su eslabón más débil, este eslabón se le conoce como cuello de botella o como restricción. TOC propone los siguientes pasos para enfocarse en la mejora:

- ✓ **Identificar** las restricciones o cuellos de botella del sistema o proceso multitarea.
- ✓ **Explotar** las restricciones.
- ✓ **Subordinar** todas las demás decisiones a la explotación.
- ✓ **Elevar**, aumentar la capacidad de los cuellos de botella.
- ✓ **Repetir**, para comprobar que no se han creado nuevos cuellos de botella.

Siguiendo la lógica de TOC, en la fase de análisis del DMAIC se determinaron las restricciones del proceso de fabricación de ductos en láminas de acero galvanizado

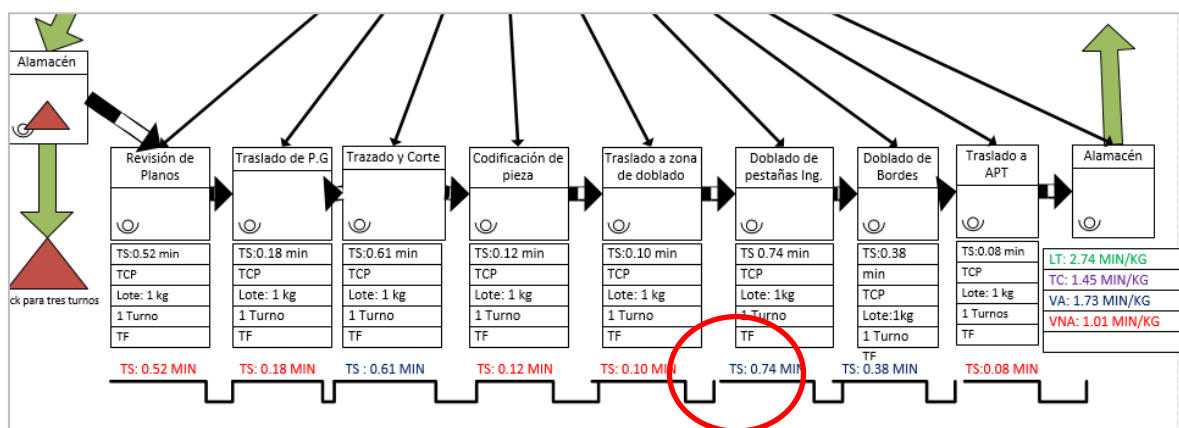


Figura 33, Recurso cuello de botella - Proceso de fabricación de ductos.

Elaboración: Propia

Como se advierte en la figura 33, El recurso restricción del sistema se encuentra en la estación de doblado de pestaña inglesa y éste será la primera oportunidad de mejora a trabajar.

3.2.2.1.4.2 Plan de mejora de la productividad.

3.2.2.1.4.2.1 Propuesta de mejora sub-proceso doblado de pestañas.

Proceso	Objetivo	Mejoras	Metas y Resultados Propuestos- Indicadores	Acciones de Mejora Propuestas	Plazo	Responsable
FABRICACIÓN DE DUCTOS	Incrementar la productividad global del proceso de fabricación de ductos en plancha de fierro galvanizado	A1.- Reingeniería del sub proceso: Doblado de pestañas inglesas - Adquisición de máquina Lock Former . A2. Tercerizar el proceso de fabricación e instalación de ductos. A3. Implementar una línea de producción automática de ductos.	Reducir en 50% el tiempo del subproceso.. 1.25 kg/dólar invertido	A1.- Adquisición de máquina Lock Former. A2. Tercerizar el proceso de fabricación e instalación de ductos. A3. Adquirir una línea de producción automática de ductos.	3 meses	Dirección-Operaciones

Figura 34, Plan de mejora de estación de doblado de pestañas.

Elaboración: Propia

Para hacer una valoración de las causas que origina el cuello de botella y proponer una solución se hizo un mapa de causalidad del proceso.

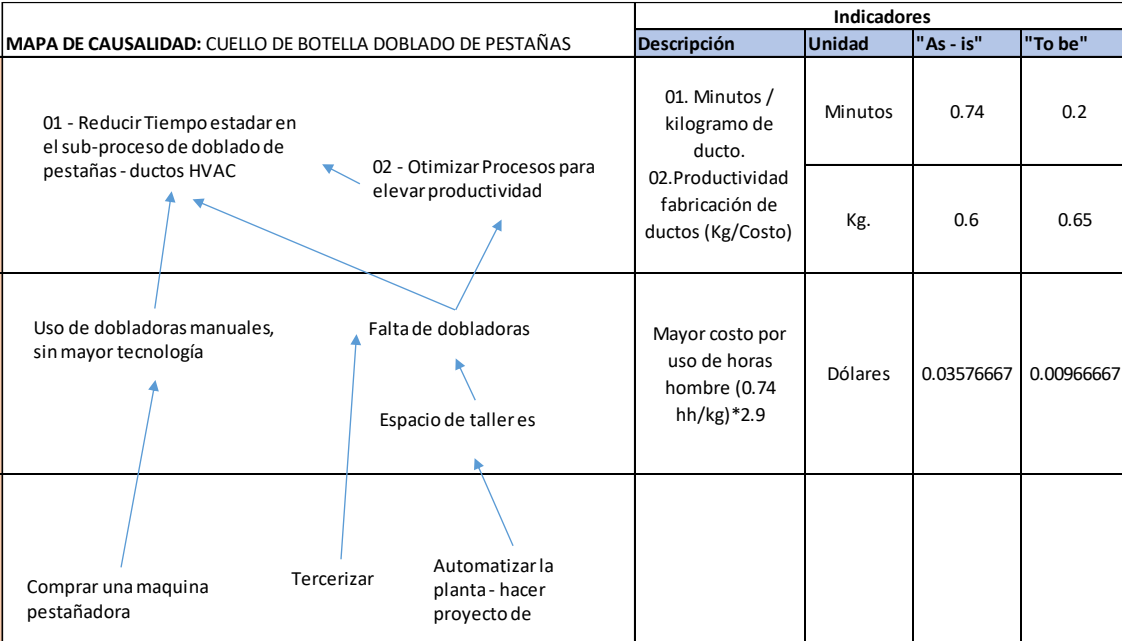
	MAPA DE CAUSALIDAD: CUELLO DE BOTELLA DOBLADO DE PESTAÑAS	Indicadores			
		Descripción	Unidad	"As - is"	"To be"
Objetivos	 <p>01 - Reducir Tiempo estadar en el sub-proceso de doblado de pestañas - ductos HVAC</p> <p>02 - Optimizar Procesos para elevar productividad</p>	01. Minutos / kilogramo de ducto.	Minutos	0.74	0.2
		02.Productividad fabricación de ductos (Kg/Costo)	Kg.	0.6	0.65
Barreras	<p>Uso de dobladoras manuales, sin mayor tecnología</p> <p>Falta de dobladoras</p> <p>Espacio de taller es</p>	Mayor costo por uso de horas hombre (0.74 hh/kg)*2.9	Dólares	0.03576667	0.00966667
Soluciones	<p>Comprar una maquina pestañadora</p> <p>Tercerizar</p> <p>Automatizar la planta- hacer proyecto de</p>				

Figura 35, Mapa de causalidad - cuello de botella estación doblado de pestañas.

Elaboración: Propia.

Con esta información se desarrollarán tres alternativas de solución para ser evaluadas.

3.2.2.1.4.2.1.1 Propuesta 1: Reingeniería del sub-proceso doblado de pestañas - adquisición de lockformer.

El uso de una herramienta como la Lock Former redujo el tiempo de proceso de la estación de doblado de pestañas inglesas. Este equipo realiza los siguientes tipos de pestañas

Imagen 1, Lock Former

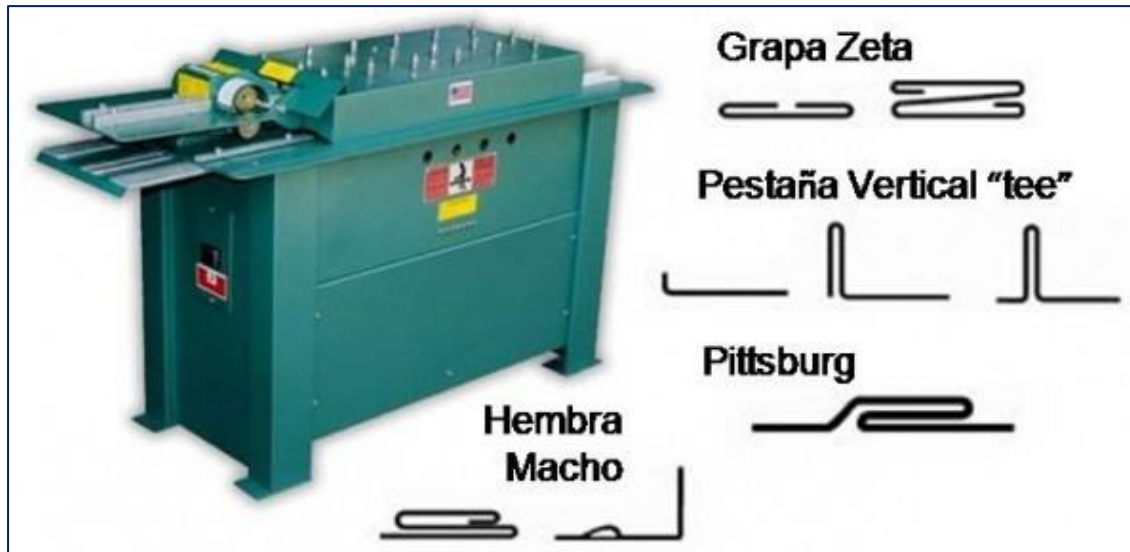


Imagen 2, Doblado de pestañas con Lockformer.

COSTOS

Item	Equipo	Cantidad	U. Medida	P.Unitario	Total
1	Pestañadora tipo Lock Former eléctrica	1	Un	2,400.00	2,400.00
				IGV(18%)	432.00
				TOTA US\$	2,832.00

A continuación, se muestra el análisis costo beneficio tomado en cuenta para la elección de la máquina Lockformer adquirida para la mejora del proceso

3.2.2.1.4.2.1.1.1 Análisis de costo-beneficio adquisición de lock former.

Considerando que la máquina lockformer redujo de 0.74 min a 0.20 min de tiempo estándar el sub – proceso “Doblado de pestaña inglesa” se estima una reducción del costo de fabricación de al menos 0.0522 dólares por kg de ducto producido como beneficio de la reducción de horas hombre efectiva. En la siguiente tabla se estima la demanda anual bajo tres escenarios (Bajo, Medio Aalto), El escenario bajo se da en el supuesto de crecimiento cero con respecto al año anterior, el escenario medio responde a la proyección del crecimiento del sector construcción (7.1% para 2019) y el escenario Alto a la proyección de crecimiento para 2019 realizada por la dirección de la empresa.

Proyeccion de Demanada	0.0%	7.10%	15.00%
	Bajo	Medio	Alto
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Demanda anual (Kg)	96000	102816	110400
Beneficios reduccion de costo h-h(Usd)	0.0522	0.0522	0.0522
Beneficio por reduccion de costos (Usd)	5011.2	5366.9952	5762.88

Con esta información se hace un análisis de costo beneficio, con una tasa mínima aceptable de retorno (TMAR) de 14% anual.

TMAR 14%

Análisis Costo - Beneficio para un año	Bajo	Medio	Alto	VNA
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	
Beneficios reduccion de costo h-h(Usd)	5011.2	5,367.00	5,762.88	12524.66
Costo (Usd)	2400	2400	2400	5,571.92
				2.25

Así se tiene que el costo beneficio para el primer año es superior al costo. La proyección del beneficio aumenta en el mismo sentido que el tiempo, ver figura 37.

TMAR 28%

Análisis Costo - Beneficio para dos años	Bajo	Medio	Alto	VNA
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	
Beneficios (Usd)	10022.4	10,733.99	11,525.76	25,049.31
Costo (Usd)	2400	2400	2400	5,571.92
				4.50

TMAR 42%

Análisis Costo - Beneficio para tres años	Bajo	Medio	Alto	VNA
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	
Beneficios (Usd)	15033.6	16,100.99	17,288.64	37,573.97
Costo (Usd)	2400	2400	2400	5,571.92
				6.74

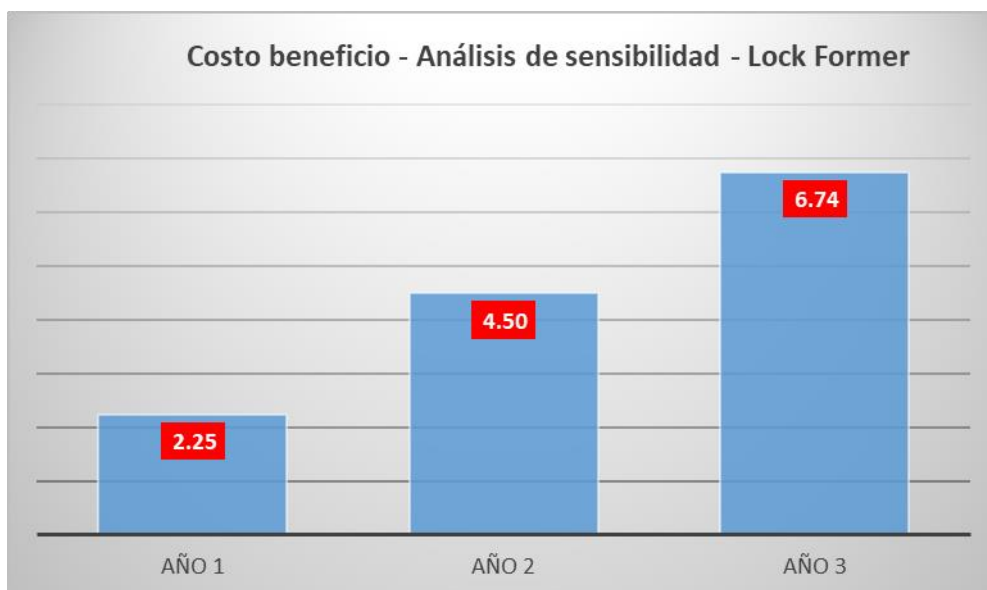


Figura 36, Costo beneficio adquisición de lockformer.
Elaboración: Propia

3.2.2.1.4.2.1.2 Propuesta 2: Tercerización del proceso fabricación.

Los trabajos de tercerización son del proceso de fabricación e instalación de ductos, los materiales son suministrados por el dueño del proceso.

Item	Servicio	Cantidad	U. Medida	P.Unitario	Total
1	Tercerización de fabricación e instalación de ductos	1	Kg	1.00	1.00
				IGV(18%)	0.18
				TOTA US\$	1.18

3.2.2.1.4.2.1.3 Propuesta 3: adquisición de una línea automática de producción de ductos.

Esta alternativa busca modernizar el proceso de fabricación de ductos, para la cual se debe adquirir un sistema de producción automática.

Imagen 3, Línea automática de ductos.



Item	Equipos	Cantidad	U. Medida	P.Unitario	Total
1	Adquisición de Línea V-TDF automática	1	Un	65,000.00	65,000.00
				IGV(18%)	11,700.00
				TOTA US\$	76,700.00

3.2.2.1.4.2.1.3.1 Análisis de costo-beneficio línea automática.

Se consideró la misma proyección de demanda que para los casos anteriores para tener el mismo parámetro de comparación, tal como se muestra en la siguiente tabla. El beneficio de reducción de costos para esta alternativa es teórico y es calculada en base a la velocidad ofertada por el fabricante de la máquina.

Proyección de Demanda	0.0%	7.10%	15.00%
	Bajo	Medio	Alto
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Demanda anual (Kg)	96,000.00	102,816.00	110,400.00
Beneficios reducción de costo h-h(Usd)	0.16	0.16	0.16
Beneficio por reducción de costos (Usd)	15,754.00	16,872.54	18,117.10

La relación costo beneficio para el año 1 es de 0.26, es decir muy por debajo de la unidad.

La relación costo beneficio para el año 2 es de 0.52.

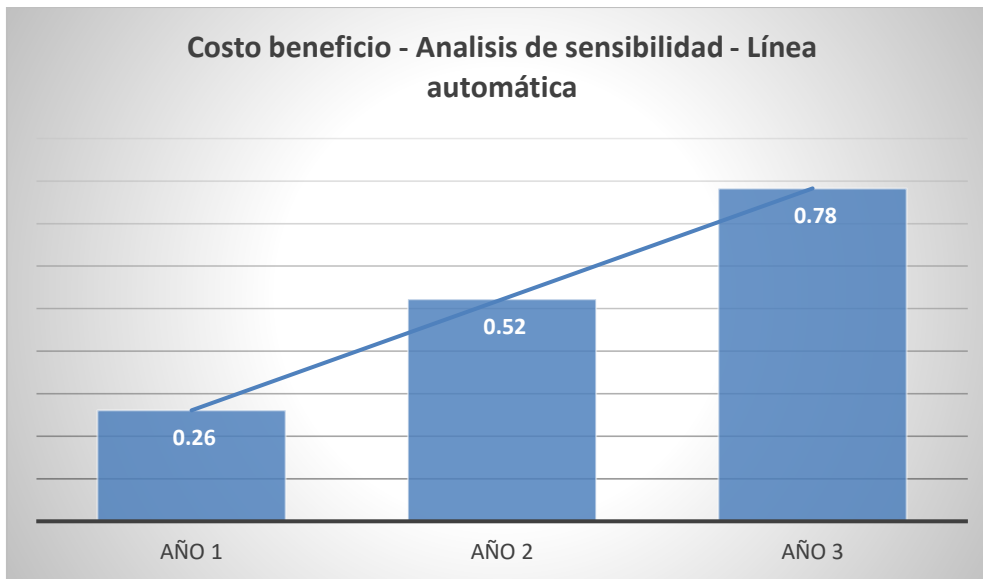
Análisis Costo - Beneficio para un año	TMAR 14%			VNA
	Bajo	Medio	Alto	
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	
Beneficios reducción de costo h-h(Usd)	15,754.00	16,872.54	18,117.10	39,374.50
Costo (Usd)	65,000.00	65,000.00	65,000.00	150,906.08
				0.26

La relación costo beneficio para el año 3 es de 0.78.

Análisis Costo - Beneficio para dos años	TMAR 28%			VNA
	Bajo	Medio	Alto	
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	
Beneficios reducción de costo h-h(Usd)	31,508.00	33,745.07	36,234.21	78,748.99
Costo (Usd)	65,000.00	65,000.00	65,000.00	150,906.08
				0.52

Análisis Costo - Beneficio para tres años	TMAR 42%			VNA
	Bajo	Medio	Alto	
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	
Beneficios reducción de costo h-h(Usd)	47,262.01	50,617.61	54,351.31	118,123.49
Costo (Usd)	65,000.00	65,000.00	65,000.00	150,906.08
				0.78

En ningún caso los beneficios superan el costo de adquisición.

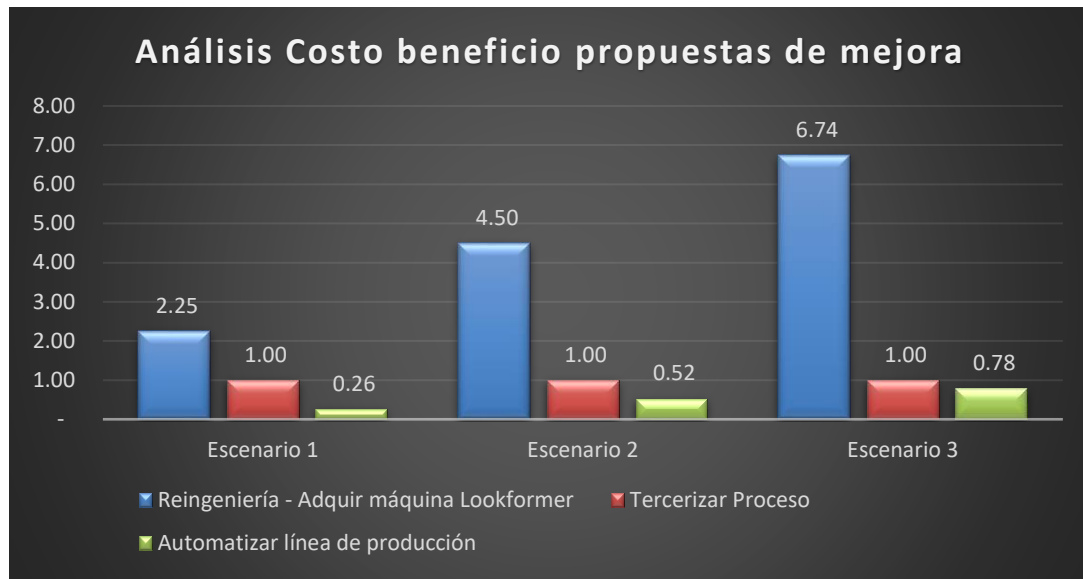


*Figura 37, Costo beneficio - automatización del proceso.
Elaboración: Propia*

3.2.2.1.4.2.2 Análisis de las tres propuestas de mejora para el proceso de doblado.

En la siguiente tabla se analizan los resultados de relación costo beneficio de las tres propuestas de mejora

RESUMEN - ANALISIS COSTO BENEFICIO	Bajo	Medio	Alto
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Reingeniería - Adquir máquina Lookformer	2.25	4.50	6.74
Tercerizar Proceso	1.00	1.00	1.00
Automatizar línea de producción	0.26	0.52	0.78



*Figura 38, Análisis costo beneficios propuestas de mejora, doblado.
 Elaboración: Propia*

Siendo la propuesta 1, Reingeniería del proceso – adquisición de una máquina lockformer la que mayores beneficios tienen en el corto y en el largo plazo.

3.2.2.1.4.2.3 Procedimiento de la mejora (Antes, después y resultados de la mejora).

Mejora de proceso de doblado de pestaña inglesa.

Antes de la mejora: doblado en varios pasos

Paso 1: Pliegue de lado A



Paso 2: Martillado lado A



Paso 3: Pliegue lado B



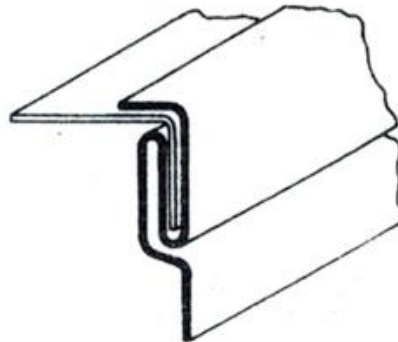
Paso 4: Martillado lado B



Paso 5: Planchado de la "Z"



Engargolado o pestaña inglesa



Paso 6: Enmarcar engargolado



Figura 39, Antes de la mejora del proceso de doblado.
Elaboración: Propia

Mejora de proceso de doblado de pestaña inglesa.

Después de la mejora: doblado en un solo paso con lockformer

Paso 1: Colocar lamina en lockformer



Paso 2: Guiar la lamina de p.g.



Paso 3: Retirar



Figura 40, Después de la mejora del proceso de doblado.

Elaboración: Propia

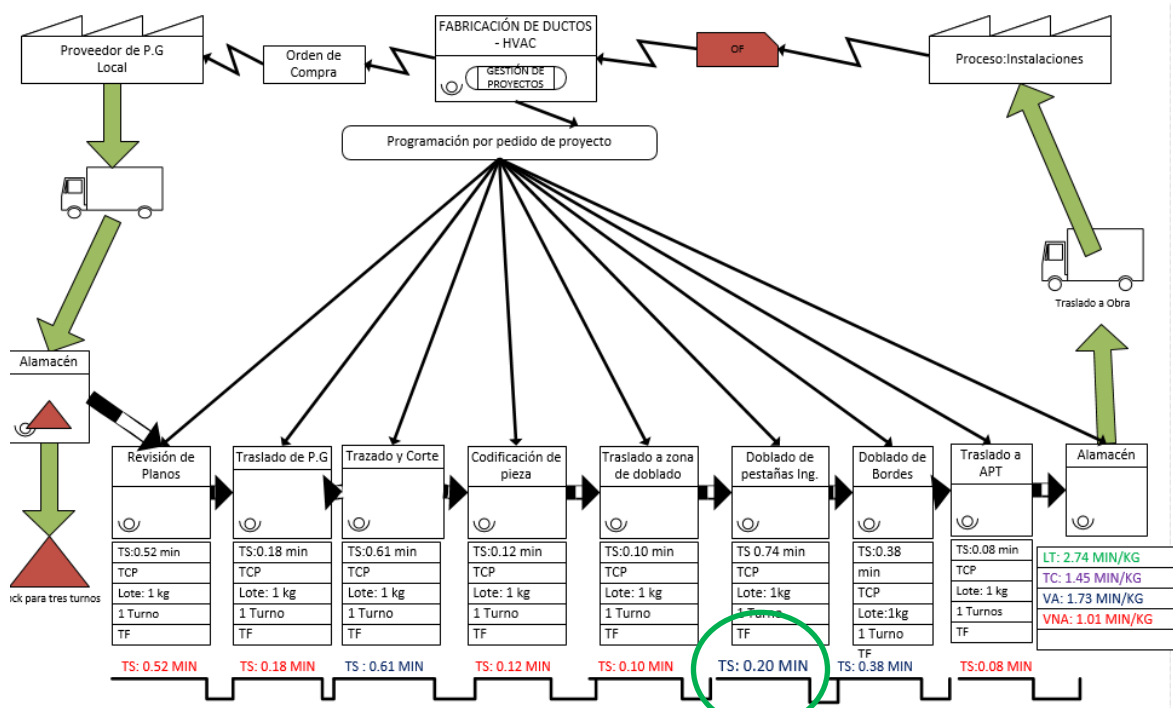
Sección	Procesos		
	Traslado de p.g a zona de corte (min)	Trazado y corte (min)	Doblado de pestañas (min)
Tramo 1	0.052	0.317	0.172
Tramo 2	0.051	0.316	0.170
Tramo 3	0.053	0.321	0.175
Tramo 4	0.054	0.315	0.173
Tramo 5	0.051	0.313	0.171
Tramo 6	0.051	0.316	0.168
Tramo 7	0.051	0.310	0.170
Tramo 8	0.052	0.311	0.175
Tramo 9	0.052	0.312	0.174
Tramo 10	0.053	0.316	0.174
Tramo 11	0.051	0.315	0.172
Tramo 12	0.052	0.318	0.168
Tramo 13	0.051	0.311	0.171
Tramo 14	0.052	0.314	0.169
Tramo 15	0.052	0.317	0.169
Tramo 16	0.054	0.319	0.176
Tramo 17	0.053	0.316	0.176
Tramo 18	0.052	0.315	0.173
Tramo 19	0.051	0.320	0.175
Tramo 20	0.054	0.321	0.173
Tiempo Total	1.041	6.313	3.444
Promedio	0.052	0.316	0.172
FC	1.15	1.15	1.15
T.N	0.060	0.363	0.198

Figura 41, Toma de tiempos mejora de procesos, en zona de doblado de pestañas.

Elaboración: Propia

La figura 36 muestras los resultados de la toma de tiempos después de implementada la mejora en el proceso de doblado de pestañas.

3.2.2.1.4.2.4 Impacto en la productividad global - aporte de valor en el proceso de doblado.



Implementada la propuesta de montar una máquina lockformer para el subproceso de doblado de pestañas el lead time del proceso de fabricación de ductos se reduce de 2.74 min/kg a 2.19 min/kg, es decir se logra una reducción de 20.07%.

La productividad Global de fabricación de ductos (con entradas: Materiales y mano de obra y Salidas: kg de ducto fabricado) actual, según tabla 3, es de 0.92 kg por cada unidad monetaria invertida en el proceso como promedio ponderado. La implementación de una máquina lockformer para el sub proceso de doblado de pestaña inglesa logra incrementar la productividad global pasando de 0.92 kg/USD a 0.94 kg/USD, lográndose un aumento de 4.44%.

COD. PROYECTO	PROYECTOS	Índice de productividad real (kg/costo)	Índice de productividad Mejorada (kg/costo)
1	Financiera Confianza	0.77	0.82
2	IFB San Juan de Lurigancho	0.90	0.95
3	Autoland - Benavides	0.99	1.02
4	Cibertec - Rambla Breña	0.84	0.89
5	Oficinas Gilat - San Isidro	0.73	0.77
6	Edificio Multifamiliar Benesere	0.68	0.73
7	Edificio Suchi Bar - Surquillo	0.71	0.74
8	Hapag Lloid	0.79	0.82
9	OHL - Miraflores	0.81	0.83
10	Orange Theory	0.76	0.79
TOTAL	Media Ponderada	0.90	0.94

Figura 42, Índice de productividad real y mejorada.

Elaboración: Propia

En la misma línea de análisis, se tiene que el costo pasa de 1.13 Dólares por kilogramo a 1.08 dólares por kilogramo, lográndose una reducción del costo en 4.43%.

COD. PROYECTO	PROYECTOS	Costo de fabricación- US\$ (Por kg)	Costo de fabricacion despues de la mejora US\$ por KG	Ahorro por mejora de Productividad - US\$
1	Financiera Confianza	1.30	1.22	162.80
2	IFB San Juan de Lurigancho	1.11	1.06	1009.40
3	Autoland - Benavides	1.01	0.98	474.36
4	Cibertec - Rambla Breña	1.19	1.13	345.77
5	Oficinas Gilat - San Isidro	1.37	1.30	69.51
6	Edificio Multifamiliar Benesere	1.48	1.37	168.56
7	Edificio Suchi Bar - Surquillo	1.41	1.34	54.03
8	Hapag Lloid	1.27	1.21	64.83
9	OHL - Miraflores	1.24	1.20	43.22
10	Orange Theory	1.32	1.26	50.43
TOTAL	Media Ponderada	1.13	1.08	2442.92
				4.37%

Figura 43, Comparación de costos antes y después de la mejora.

Elaboración: Propia

El ahorro teórico de haberse implementado una máquina lockformer en los proyectos analizados habría sido de 2,442.92 dólares, el cual representa el 4.37% del total del costo de los proyectos evaluados. Se cumple con elevar la capacidad de la restricción o recurso mejorado.

3.2.2.1.4.2.5 Propuesta de mejora en zona de corte.

3.2.2.1.4.2.5.1 Implementación de cizallas eléctricas multidireccionales tipo turbo shear

para corte de láminas de acero galvanizado.

Siguiendo con la lógica de la teoría de restricciones (TOC), explotada la primera restricción se repite la revisión en el mapa de cadena de valor para buscar nuevas restricciones del sistema para continuar con la mejora.

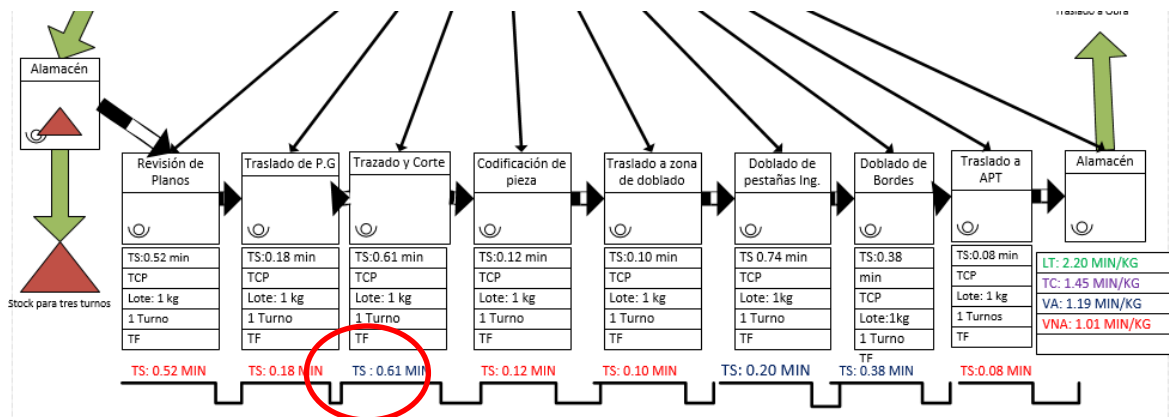


Figura 44, Recurso restricción, estación Trazado y corte.

Elaboración: Propia

La estación Trazado y corte es otras de las restricciones del sistema, para la cual se ha planteado la técnica de los ¿cinco por qué? para identificar la causa raíz, tal como en el caso del desplazamiento de almacén a la estación de trazo y control. A continuación, se plantea la pregunta que busca encontrar la raíz del problema para aplicar mejoras al proceso.

RPROBLEMA	W1	W2	W3	W4	W5	RESULTADO DE ANÁLISIS
¿Por qué el tiempo de Trazo y corte es alto?	Porque el trazo es a mano	¿Por qué el trazo es manual? Porque el maquinado es mecánico	¿Por qué el maquinado es mecánico? Porque es una línea de producción manual			No tiene solución en esta etapa
	Porque usan tijeras hojalateras manuales	¿Por qué usan tijeras hojalateras manuales? Porque las tijeras se adecúan a cortes curvos				Reemplazar por cizallas eléctricas, tipo Turbo shear
	Porque las medidas no son estándares	¿Por qué las medidas no son estándares? Porque los tamaños de los ductos dependen de cada proyecto.				Clasificar por la geometría del ducto: rectos, codos, derivaciones tipo "S"

Figura 45, Los 5 Why para identificar causa raíz - Estación trazado y corte.

Elaboración: Propia

Hoy en día existen máquinas eléctricas que vienen utilizándose en otras empresas con bastante éxito, para validar su efectividad se entrevistó al Sr. Olivero Soto Castillo, técnico especialista en fabricación de ductos con láminas de acero galvanizado para sistemas de aire acondicionado y ventilación mecánica, con más de 20 años de experiencia. Según juicio de experto del mencionado señor con la implementación de cizallas eléctricas de corte curvo y lineal, el tiempo de operación se reduce hasta en un 50% en relación al uso de tijeras hojalateras manuales. Al usar cizallas eléctricas se reducen los riesgos ergonómicos y de fatiga que ocasiona el esfuerzo de abrir y cerrar la mano para ejercer presión sobre orejas de la tijera, menciona Olivero Soto.

Imagen 4, Cizalla de corte lineal y curvo.



Imagen 5, Cizalla de corte circular.



Otro Punto importante consultado es la forma de las piezas a formar para ensamblarse, de seleccionar por tipo de como: Codos, ducto recto, etc. Se mejora la gestión de cambio de moldes, aplicando los criterios de la técnica SMED de la filosofía Lean manufacturing, se debe asegurar un cambio de molde en menos de 10 min y asegurar el mayor tiempo posibles con trabajos repetitivos con el mismo molde, para evitar paradas que ocasionan tiempos muertos.

3.2.2.1.4.2.5.2 Procedimiento de la mejora del proceso de corte de piezas (Antes, después y resultados)

Mejora de proceso de corte de piezas para ducto.

ANTES

DESPUÉS

Corte de plancha de fierro galvanizado con tijera manual



Corte de plancha de fierro galvanizado con tijera eléctrica



*Figura 46, Antes y después de la mejora del proceso de corte de piezas.
Elaboración: Propia*

Sección	Procesos		
	Traslado de p.g a zona de corte (min)	Trazado y corte (min)	Doblado de pestañas (min)
Tramo 1	0.052	0.317	0.172
Tramo 2	0.051	0.316	0.170
Tramo 3	0.053	0.321	0.175
Tramo 4	0.054	0.315	0.173
Tramo 5	0.051	0.313	0.171
Tramo 6	0.051	0.316	0.168
Tramo 7	0.051	0.310	0.170
Tramo 8	0.052	0.311	0.175
Tramo 9	0.052	0.312	0.174
Tramo 10	0.053	0.316	0.174
Tramo 11	0.051	0.315	0.172
Tramo 12	0.052	0.318	0.168
Tramo 13	0.051	0.311	0.171
Tramo 14	0.052	0.314	0.169
Tramo 15	0.052	0.317	0.169
Tramo 16	0.054	0.319	0.176
Tramo 17	0.053	0.316	0.176
Tramo 18	0.052	0.315	0.173
Tramo 19	0.051	0.320	0.175
Tramo 20	0.054	0.321	0.173
Tiempo Total	1.041	6.313	3.444
Promedio	0.052	0.316	0.172
FC	1.15	1.15	1.15
T.N	0.060	0.363	0.198

Figura 47, Toma de tiempos para el proceso de trazado y corte, después de la mejora.
Elaboración: Propia

La Figura 44, muestra el desempeño de la mejora aplicada en el proceso trazado y corte.

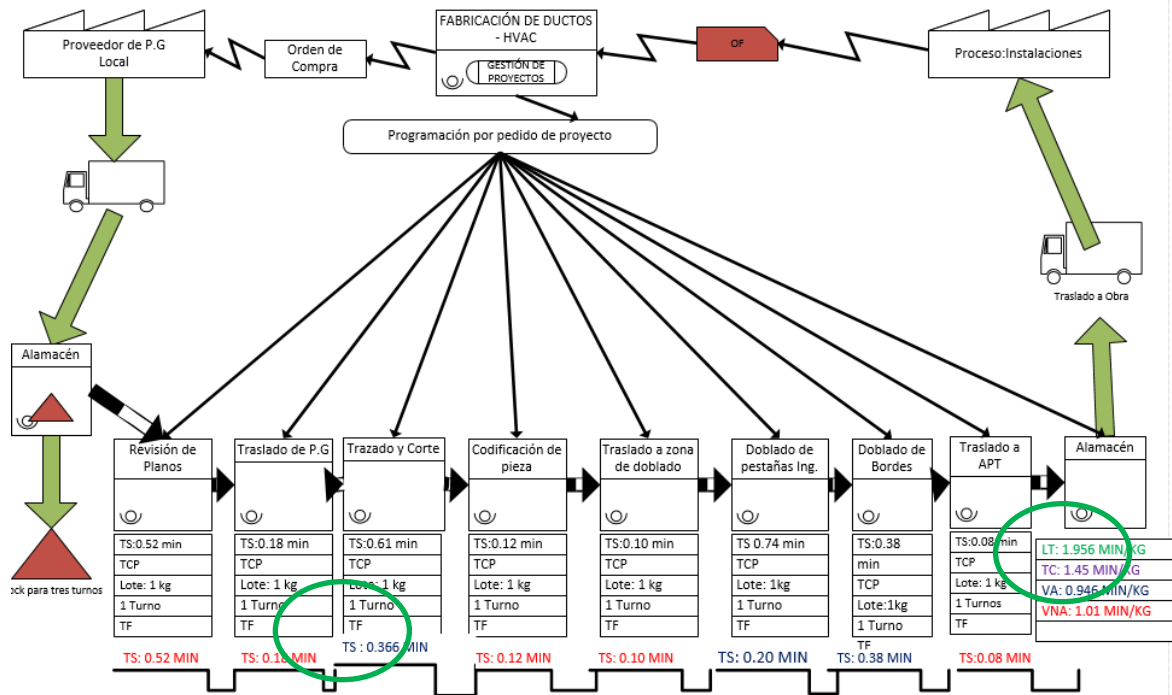


Figura 48, VSM Después de la mejora de la estación trazado y corte.
Elaboración: Propia

Después de implementada la mejora del proceso el tiempo estándar por kilogramo se reduce de 0.61 minutos a 0.366 minutos, el lead time del proceso en general se reduce de 2.20 min/kg a 1.956 min/kg. Se cumple que la restricción explotada logra elevar su capacidad.

3.2.2.1.4.2.6 Propuesta: mejora de diagrama de recorridos, traslado de almacén a corte.

Explotada la restricción anterior se procede a revisar la nueva restricción del sistema factible de oportunidad de mejora, para el caso el traslado de planchas de láminas de almacén a la estación trazado y corte (Figura 51).

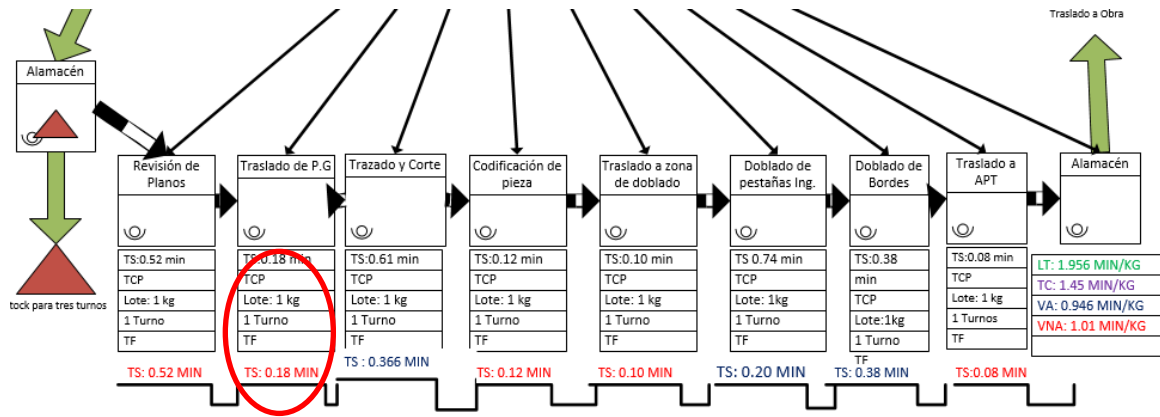


Figura 49, Recurso restricción, traslado de planchas de almacén a trazado y corte.

Elaboración: Propia

La suma de tiempos de recorrido, según el mapa de cadena de valor del proceso actual, es de 0.36 minutos por kilogramo, representa el 13.14% del tiempo total que toma producir un kilogramo de ducto. El traslado de láminas de acero galvanizado a zona de trazo y corte es de 0.18 min/kg y representa el 6.57% del lead time del proceso actual y el 17.82% del total de tiempos que no generan valor al proceso. Haciendo uso de la técnica de los 5 ¿Por qué?, buscamos encontrar la raíz del problema.

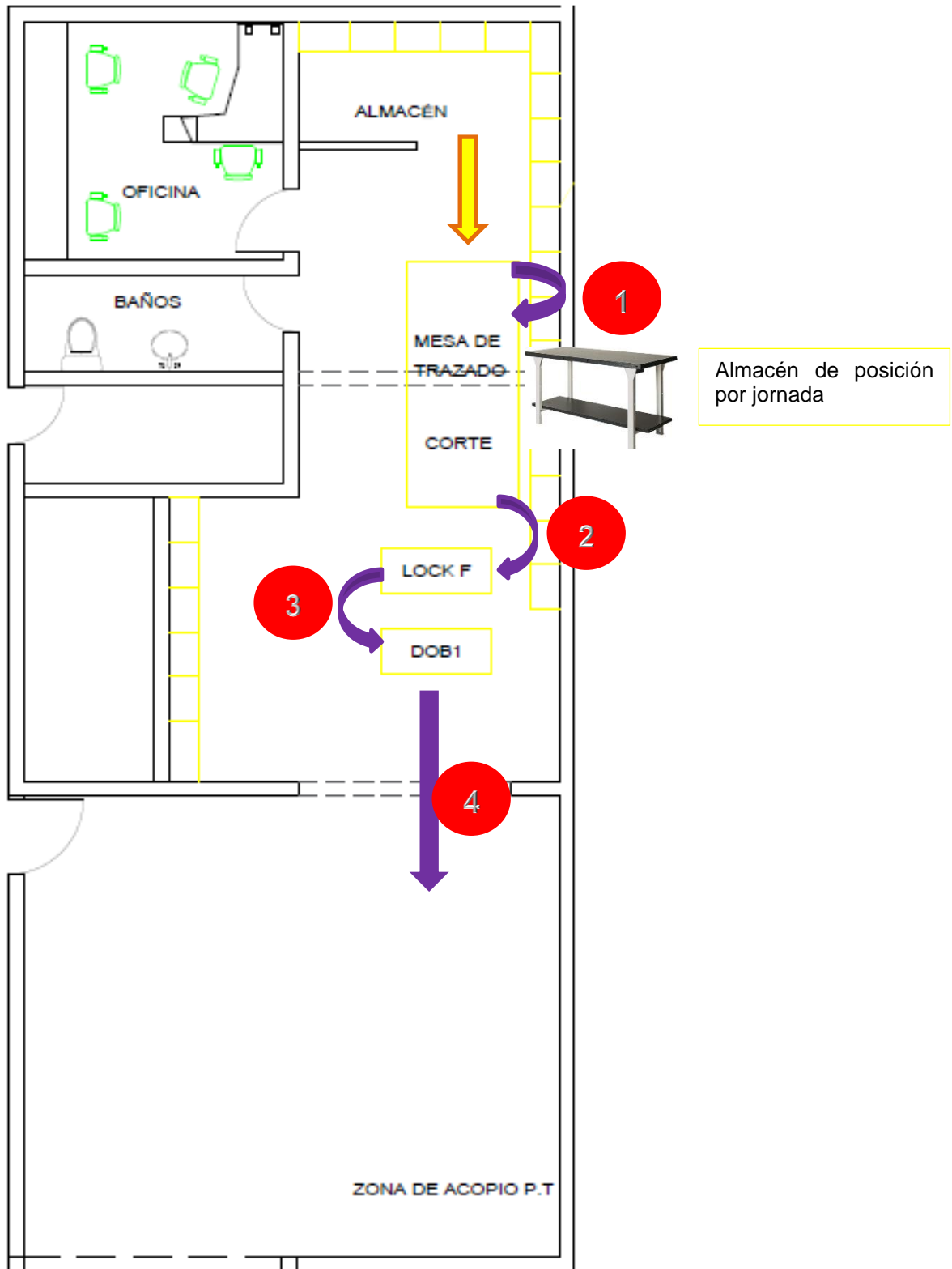
RPROBLEMA	W1	W2	W3	W4	W5	RESULTADO DE ANÁLISIS
¿Por qué el tiempo de recorrido de almacén a zona de trazo y corte es alto?	Porque no se cuenta con espacio para almacenar láminas cerca a la estación de trabajo.					Acoplar un segundo tablero por debajo del tablero principal de la mesa para almacenar láminas en proceso.

Figura 50, Causa raíz tiempo de recorrido de almacén a trazado.

Elaboración: Propia

A continuación, se presenta un diagrama de recorrido mejorado, en donde se acorta la distancia de la entrega de las planchas o láminas de acero galvanizado que van de almacén a mesa de trazo y corte, actualmente tiene un recorrido de 5 metros y el abastecimiento es por lámina a trabajar, cada lámina implica un traslado de operario. Se propone una agregar una plataforma por debajo del tablero principal de la mesa de trabajo actual con un caballete para almacenar planchas de lámina de acero hasta un máximo de 30 unidades, de este modo el operario tendría las planchas al alcance acortando la distancia y tiempo de recorrido.

Imagen 6, Layout área de Fabricación de ductos.



3.2.2.1.4.2.7 Procedimiento de la mejora de traslado (Antes, después y resultados)

Mejora de proceso de corte de piezas para ducto.

ANTES

DESPUÉS

Traslado de láminas hacia zona de trazo y corte

Almacén de estación de trabajo

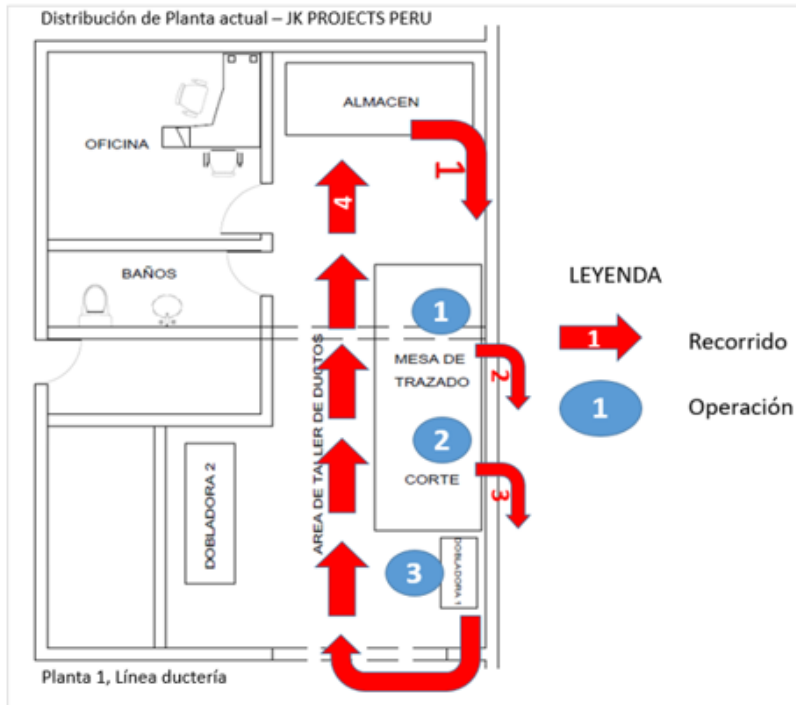


Figura 11, Layout distribución de línea de maquinado.
Fuente: JK Projects Perú E.I.R.L.

Imagen 6, Layout área de Fabricación de ductos.

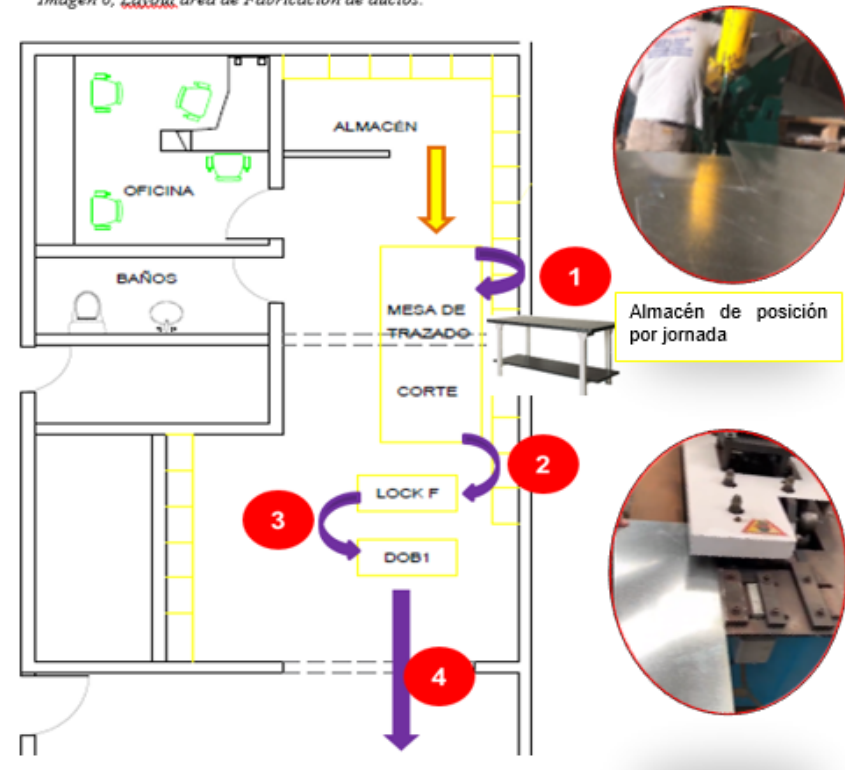
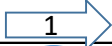


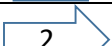





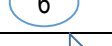


Figura 51, Antes y después de la mejora del proceso de traslado de láminas a corte.
Elaboración: Propia

TIPO DE DIAGRAMA Análisis de Hombre		DEPARTAMENTO Producción	
METODO Mejorado		PREPARADO POR Juan M. Benites Leyva	
OPERACIÓN Fabricación de ductos		FECHA 29-May	
DISTANCIA	TIEMPO	SIMBOLO	DESCRIPCION
3.00 Metros	12.00 Segundos		Hacia mesa de trazo y corte (Lámina de 1.22x2.44; 14.5 kg)
	12.00 Segundos		Descarga la lámina
	18.00 Segundos		Carga la carretilla con láminas cortadas.
4.50 Metros	40.00 Segundos		Hacia look Former para pestañas
	12.00 Segundos		Descarga la caja de laminas cortadas
	13.00 Segundos		Carga la caja con láminas con pestañas
4.00 Metros	48.00 Segundos		Hacia doblado a 90 grados
	12.00 Segundos		Descarga laminas con pestañas
	13.00 Segundos		Carga la carretilla con laminas dobladas
4.00 Metros	48.00 Segundos		Hacia el Almacén de productos terminados

RESUMEN

SIMBOLO	NUMERO	DISTANCIA	TIEMPO
	6		49.00 Segundos
	0		
	4	15.50 Metros	148.00 Segundos
	0		
	1		18.00 Segundos
DISTANCIA TOTAL		15.50 Metros	
TIEMPO TOTAL			215.00 Segundos

Figura 52, Diagrama de recorrido - análisis hombre máquina - almacén a trazo.

Elaboración: Propia

En la siguiente tabla se calculan los nuevos tiempos de recorrido del nuevo punto de acopio de láminas de acero por lote hacia la mesa de trabajo

Tabla 13.

Nuevos tiempos de recorrido de almacén a estación de trazado.

TIPO DE DIAGRAMA			DEPARTAMENTO		S G		S U P L E M E N T O S P O R		
Análisis de Hombre			Producción		F C		T O L E R A N C I A		
M E T O D O			P R E P A R A D O P O R		T . N		S		
Mejorado			Juan M. Benites Leyva				T . S		
O P E R A C I Ó N			F E C H A						
Fabricación de ductos			29-May						
DISTANCIA	TIEMPO	SIMBOLO	DESCRIPCION	FC	T.N	TOLERANCIA	S	T.S	
3.00 Metros	12.00 Segundos	1	Hacia mesa de trazo y corte (Lamina de 1.22x2.44; 14,5 kg)	1.15	0.02	100.00 Min	0.0042	0.02	
	12.00 Segundos	1	Descarga la lámina	2.15	0.03	100.00 Min	0.0073	0.04	
	18.00 Segundos	2	Carga la carretilla con láminas cortadas.	3.15	0.06	100.00 Min	0.0151	0.07	
4.50 Metros	40.00 Segundos	2	Hacia look Former para pestañas	4.15	0.16	100.00 Min	0.0416	0.20	
	12.00 Segundos	3	Descarga la caja de laminas cortadas	5.15	0.06	100.00 Min	0.0147	0.07	
	13.00 Segundos	4	Carga la caja con láminas con pestañas	6.15	0.07	100.00 Min	0.0180	0.09	
4.00 Metros	48.00 Segundos	3	Hacia doblado a 90 grados	7.15	0.28	100.00 Min	0.0734	0.35	
	12.00 Segundos	5	Descarga laminas con pestañas	8.15	0.08	100.00 Min	0.0200	0.10	
	13.00 Segundos	6	Carga la carretilla con laminas dobladas	9.15	0.09	100.00 Min	0.0232	0.11	
4.00 Metros	48.00 Segundos	4	Hacia el Almacen de productos terminados	10.15	0.35	100.00 Min	0.0909	0.44	

Sección	Procesos		
	Traslado de p.g a zona de corte (min)	Trazado y corte (min)	Doblado de pestañas (min)
Tramo 1	0.052	0.317	0.172
Tramo 2	0.051	0.316	0.170
Tramo 3	0.053	0.321	0.175
Tramo 4	0.054	0.315	0.173
Tramo 5	0.051	0.313	0.171
Tramo 6	0.051	0.316	0.168
Tramo 7	0.051	0.310	0.170
Tramo 8	0.052	0.311	0.175
Tramo 9	0.052	0.312	0.174
Tramo 10	0.053	0.316	0.174
Tramo 11	0.051	0.315	0.172
Tramo 12	0.052	0.318	0.168
Tramo 13	0.051	0.311	0.171
Tramo 14	0.052	0.314	0.169
Tramo 15	0.052	0.317	0.169
Tramo 16	0.054	0.319	0.176
Tramo 17	0.053	0.316	0.176
Tramo 18	0.052	0.315	0.173
Tramo 19	0.051	0.320	0.175
Tramo 20	0.054	0.321	0.173
Tiempo Total	1.041	6.313	3.444
Promedio	0.052	0.316	0.172
FC	1.15	1.15	1.15
T.N	0.060	0.363	0.198

El nuevo tiempo de recorrido para el subproceso traslado de láminas de acero hacia mesa de trabajo y corte es de 0.06 min/kg, es decir se redujo en un 66.67% (Antes era 0.18 min/kg, ver Mapa de cadena de valor del proceso actual).

3.2.2.1.4.3 Mapa de cadena de valor después de la mejora.

A continuación, se presenta el mapa de cadena de Valor del proceso de fabricación de ductos en láminas de acero galvanizado mejorado.

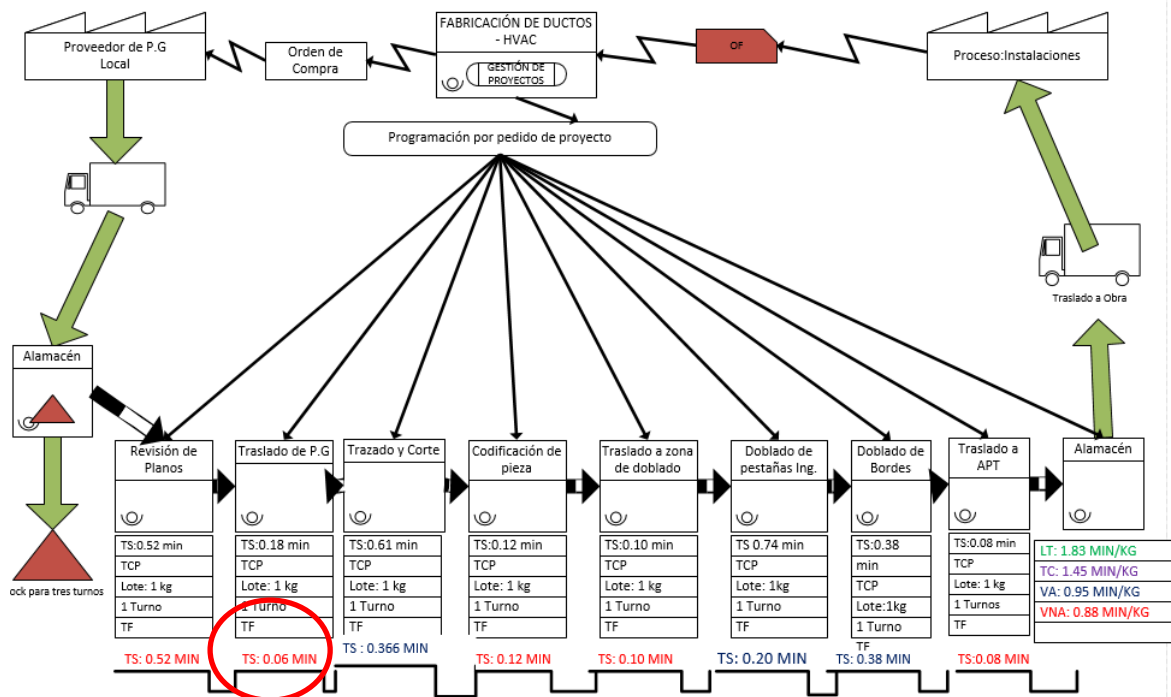


Figura 53, Mapa de Cadena de Valor después de la mejora.

Elaboración: Propia

El mapa de cadena de valor mejorado para el proceso de fabricación de ductos en láminas de acero galvanizado muestra los nuevos valores de tiempos para cada actividad o sub proceso, así se tiene el lead time del proceso actual se reduce de 2.74 min/kg a 1.83 min/kg, el impacto es de 33.21% de reducción; el tiempo que no genera valor agregado baja de 1.01 min/kg a 0.88 min/kg, es decir se reduce en un 12.87%. Las mejoras se centraron en la eliminación de las restricciones o cuellos de botella del sistema utilizando la teoría de restricciones.

3.2.2.1.5 Controlar.

Una vez que se alcanzaron las mejoras planteadas se debe diseñar un sistema que permita mantener el desempeño o nivel alcanzado de la productividad mejorada en la empresa, el reto de esta etapa es asegurarse que las mejoras soporten las pruebas del tiempo. (Gutierrez Pulido & de La Vara Salazar, 2013). Es necesario establecer un sistema de control para:

- ✓ Prevenir que los problemas o restricciones que tenía el proceso se repitan. El objetivo es mantener las ganancias.
- ✓ Mantener el desempeño del proceso.
- ✓ Alentar la mejora continua.

Con esta lógica se seguirá los siguientes lineamientos, los cuales se basan en los descrito por Gutiérrez Pulido & de La Vara, 2013 en su libro titulado control estadístico de la Calidad.

- a) Estandarizar el Proceso, cada proceso debe contar con un diagrama de procesos aprobado por el área de producción.
- b) Documentar el plan de control estableciendo procedimientos.
- c) Monitorear el proceso, sobre entradas y salidas claves.
- d) Cerrar y difundir el proyecto.

Una metodología que permitirá un adecuado control del riesgo de salirse del rumbo de la mejora ganada es el Análisis de modo y efecto de las fallas (AMEF). Esta metodología nos permitirá identificar las fallas potenciales del proceso a partir de un análisis de probabilidad de ocurrencia, formas de detección y el efecto que provocan. (Gutierrez Pulido & de La Vara Salazar, 2013)

3.2.2.1.5.1 Análisis de modo y efecto de las fallas del proceso.

A continuación, se describe el Análisis de modo y efecto de las fallas del proceso de fabricación de ductos y de los sub-procesos: Doblado de pestañas y trazado – corte del proceso fabricación de ductos para sistemas HVAC (Heating ventilation and air coonditioning, por sus siglas en inglés).

3.2.2.1.5.1.1 Análisis de modo y efecto de las fallas del proceso de fabricación y subprocesos: Doblado de pestañas y Trazo - Corte.

Siguiendo el procedimiento del AMEF, se hizo una lista de modos de falla potenciales del proceso (Columna 2, Fig. 50) y los efectos en el proceso o en el cliente (Columna 3, fig. 50), Luego se procede a calificar la severidad o gravedad de los efectos potenciales (Socconini, 2017). Para calificar la severidad se tomó en cuenta la siguiente tabla de criterios:

Tabla 14.

Criterios de severidad, AMEF.

Calificación		Criterio	
Cuantitativa	Cualitativa	Efecto en el cliente	Efecto en el proceso
1	Ninguno	Sin efecto perceptible	Ligero inconveniente para la operación u operador.
2	Muy menor	No se cumple con el ajuste, acabados o presenta ruidos. Defecto notado por clientes críticos (25%)	Una parte del producto puede tener que ser reprocesado. Sin desechos.
3	Menor	No se cumple con el ajuste, acabados o presenta ruidos. Defecto notado por el 50% de los clientes.	Una parte del producto puede tener que ser reprocesado. Sin desechos.
4	Muy bajo	No se cumple con el ajuste, acabados o presenta ruidos. Defecto notado por el 75% de los clientes.	El producto debe ser seleccionado y una parte reprocesada. Sin desechos.
5	Bajo	Producto con especificaciones de calidad o niveles de desempeño bajos. Operable o usable.	El 100% del producto debe ser reprocesado o reparado fuera de línea.
6	Moderado	Producto operable o usable pero el cliente estará insatisfecho.	Una parte del producto puede tener que ser desechado sin selección o reparado con un tiempo y costo alto
7	Alto	Producto operable o usable pero el cliente estará muy insatisfecho.	El producto tiene que ser seleccionado y una parte reparada con un tiempo y costo alto
8	Muy alto	El producto es inoperable o inusable.	El 100% del producto debe ser desechado o puede ser reparado a un costo inviable.
9 - 10	Peligroso	En modo potencial afecta la operación segura del producto y/o involucra un no cumplimiento con alguna regulación gubernamental.	Puede exponer al peligro al operador o al equipo.

Fuente: Adaptación del libro Lean Manufacturing paso a paso- Socconini, 2017.

El siguiente paso fue identificar las causas potenciales que son claves de falla del proceso (Columna 5, fig. 50) y su probabilidad de ocurrencia basado en un criterio de índice de fallas de 0 y 1000 piezas por intento, con una escala de valoración de 1 a 10 puntos.

Tabla 15.

Tabla de calificación - criterio índice de fallas.

Cuantitativa	Calificación	Criterio	
	Probabilidad	índice de fallas (tanto por piezas)	Cpk
1	Remota: falla improbable.	< 0,01 por 1000 piezas	> 1,67
2	Baja: Pocas fallas.	0,1 por 1000 piezas	> 1,30
3		0,5 por 1000 piezas	> 1,20
4		1 por 1000 piezas	> 1,10
5	Moderada: Fallas ocasionales.	2 por 1000 piezas	> 1,00
6		5 por 1000 piezas	> 0,94
7		10 por 1000 piezas	> 0,86
8	Alta: Fallas frecuentes.	20 por 1000 piezas	> 0,78
9	Muy alta: Fallas persistentes.	50 por 1000 piezas	> 0,55
10		> 100 por 1000 piezas	< 0,55

Fuente: Adaptación del libro *Lean Manufacturing paso a paso*- Socconini, 2017.

En la columna 7 de la fig. 50 se describe el tipo de control que se tiene para detectar cada falla potencial en una escala de 1 a 10. Entre mayor sea la capacidad de detectar la falla, menor será la calificación.

3.2.2.1.5.1.1 Número de Prioridad de riesgo.

También conocido con RPN (Risk Priority Number, por sus siglas en inglés) y resulta de multiplicar la severidad el índice de severidad, la ocurrencia y la detectabilidad. Si el RPN es superior a 100 se deben implementar acciones correctivas para evitar las fallas. Algunos expertos señalan que un RPN superior a 30 debe requerir acciones enfocadas en el modo de fallo.

Para el caso del proceso doblado de pestañas, 6 de los 7 modos potenciales de fallo tienen un RPN (Número de prioridad de riesgo) superior a 30 e inferior a 100, por lo que se deberá enfocarse en ellas para evitar fallas del proceso (Socconini, 2017).

3.2.2.1.5.1.1.2 Análisis de modo y efecto de las fallas del proceso.

Pasos Clave del Proceso	Modos de Fallo Potenciales	Efectos de Fallas Potenciales	S E V	Cuasas Potenciales	O C U	Controles de Ocurrencia	D E T	N P R
¿Cuál es el paso del proceso?	¿De qué maneras puede fallar dicho paso del proceso?	¿Cuál es el impacto de las variables de los pasos clave cuando hay un fallo (cliente o requerimientos internos)?	¿Qué tan severo es el efecto para el cliente?	¿Qué causa que el paso clave falle?	¿Que tan seguido ocurre la causa o Modo de Fallo?	¿Cuáles son los controles y procedimientos preventivos de Causa o Modo de Fallo?	¿Qué tan bien pueden detectar la Causa o Modo de Fallo?	
Fabricación de ductos para sistemas HVAC en láminas de acero galvanizado	Arribo de pedidos que sobrepasan la capacidad de planta	Imposibilidad de atención por planta.	4	Falla en la gestión y pronósticos de proyectos.	7	Tercerizar proceso, gestión de proyectos	6	168
	Falta de pedidos	Paros no programados/esperas	10	Baja de venta de proyectos	4	Adecuado pronósticos de ventas.	5	200
	Falta de materiales	Retrasos de entregas a obra, penalidades	10	Roturas de stock de seguridad	2	Stok de seguridad basado en puntos de reorden cantidad económica.	7	140
	Falla de equipos de doblado	Parada no programada, retrasos del proceso	9	Falta de mantenimiento	2	Plan de mantenimiento, trimestral	6	108
	Falla de equipos de corte.	Parada no programada, retrasos del proceso	7	Falta de mantenimiento	3	Plan de mantenimiento, trimestral	6	126
	Baja de productividad del proceso	Incremento en costos	10	Falta de control de productividad	2	Mejora continua	5	100

Figura 54, AMEF Proceso de fabricación de ductos.

Elaboración: Propia

Se definieron 5 modos de Fallo potenciales de 6 con valores por encima de 100 NPR en el proceso de fabricación de ductería, para cada uno se lista medidas de control para evitar su ocurrencia. El modo de fallo “Falta de pedidos es que mayor nivel de prioridad de riesgo tiene por lo que se deberá tener especial cuidado.

3.2.2.1.5.1.1.3 Análisis de modo y efecto de las fallas del subproceso doblado de pestañas.

Pasos Clave del Proceso	Modos de Falla Potenciales	Efectos de Fallas Potenciales	SEV	Causas Potenciales	OCU	Controles de Ocurrencia	DET	NP
¿Cuál es el paso del proceso?	¿De qué maneras puede fallar dicho paso del proceso?	¿Cuál es el impacto de las variables de los pasos clave cuando hay un fallo (cliente o requerimientos internos)?	¿Qué tan severo es el efecto para el cliente?	¿Qué causa que el paso clave falle?	¿Que tan seguido ocurre la causa o Modo de Fallo?	¿Cuáles son los controles existentes y procedimientos preventivos de Causa o Modo de Falla?	¿Qué tan bien pueden detectar la Causa o Modo de Falla?	
Engargolado de laminas, pestañas	Doble con fisuras	Riesgo de corte al manipular las piezas en el traslado o en el ensamble	2	Rodillos desalineados	2	Plan de mantenimiento, trimestral	3	12
	Doble con medidas inferiores al especificado	No se puede ensamblar con medidas distintas a la requerida	4	Mal trazado	4	Capacitación, Controles periódicos, "pasa" no "pasa"	5	80
	Doble con medidas superiores al especificado	No se puede ensamblar con medidas distintas a la requerida	4	Mal trazado	4	Capacitación, Controles periódicos, "pasa" no "pasa"	5	80
	Atasco de láminas en rodillos de lookformer	Parada no programada, retrasos del proceso	7	Rodillos desalineados	2	Plan de mantenimiento, trimestral	6	84
	falta de energía	Parada no programada, retrasos del proceso	7	Externas	1	Apoyo en métodos estadísticos	6	42
	Atrapamiento de dedos del operador	Accidente, incapacidad del operario.	9	Falta de entrenamiento del operador	2	Capacitación continua, uso de Epps.	3	54
	Paro por defectos del equipo lockformer	Parada no programada, retrasos del proceso	7	Falta de mantenimiento	2	Plan de mantenimiento, trimestral	4	56

Figura 55, AMEF sub-proceso doblado de pestañas.

Elaboración: Propia

La figura 50, se refiere al análisis de modo y efecto de las fallas del proceso trazado y corte. 5 de los modos de fallo potencial tienen valores superiores a 30 y menores a 100, es decir, que al igual que el proceso anterior no tienen números de prioridad de riesgo crítico por lo que los esfuerzos de mantener las ganancias de la mejora del proceso pasan por implementar medidas enfocadas en el modo de fallo.

3.2.2.1.5.1.1.4 Análisis de modo y efecto de las fallas del subproceso de corte.

Pasos Clave del Proceso	Modos de Falla Potenciales	Efectos de Fallas Potenciales	SEV	Causas Potenciales	OCU	Controles de Ocurrencia	DET	NPR
¿Cuál es el paso del proceso?	¿De qué maneras puede fallar dicho paso del proceso?	¿Cuál es el impacto de las variables de los pasos clave cuando hay un fallo (cliente o requerimientos internos)?	¿Qué tan severo es el efecto para el cliente?	¿Qué causa que el paso clave falle?	¿Que tan seguido ocurre la causa o Modo de Fallo?	¿Cuáles son los controles existentes y procedimientos preventivos de Causa o Modo de Falla?	¿Qué tan bien pueden detectar la Causa o Modo de Falla?	
Corte de Lámina de acero	Cortar fuera de la línea de trazo	Pestaña con cierre defectuoso	3	Falta de pericia del operario.	2	Programar entrenamientos periódicos.	3	18
	Cortar fuera de la línea de trazo	Pestaña con cierre defectuoso	3	Falta de filo de cizalla eléctrica	5	Plan de mantenimiento, trimestral	5	75
	Corte circular imperfecto	Dificultad para colocar aros de rejillas	3	Falta de pericia del operario.	4	Capacitación, Controles periódicos, "pasa" no "pasa"	5	60
	falta de energía	Parada no programada, retrasos del proceso	7	Externas	1	Apoyo en métodos estadísticos	6	42
	Corte, atrapamiento de dedos	Accidente, incapacidad del operario.	9	Falta de entrenamiento del operador	2	Capacitación continua, uso de Epps.	3	54
	Paro por defectos del cizalla eléctrica	Parada no programada, retrasos del proceso	7	Falta de mantenimiento	2	Plan de mantenimiento, trimestral	4	56

Figura 56, AMEF Proceso de Trazado y corte JKP.

Elaboración: Propia

Todos los modos de fallo identificados tienen valores inferiores a 100 NPR (Nivel de prioridad de riesgo)

3.2.2.1.5.1.1.5 Análisis de modo y efecto de las fallas del subproceso traslado de p.g.

Pasos Clave del Proceso	Modos de Falla Potenciales	Efectos de Fallas Potenciales	SEV	Causas Potenciales	OCU	Controles de Ocurrencia	DET	NPR
¿Cuál es el paso del proceso?	¿De qué maneras puede fallar dicho paso del proceso?	¿Cuál es el impacto de las variables de los pasos clave cuando hay un fallo (cliente o requerimientos internos)?	¿Qué tan severo es el efecto para el cliente?	¿Qué causa que el paso clave falle?	¿Que tan seguido ocurre la causa o Modo de Fallo?	¿Cuáles son los controles existentes y procedimientos preventivos de Causa o Modo de Falla?	¿Qué tan bien pueden detectar la Causa o Modo de Falla?	
Traslado de plancha de F.G	Arribo de pedidos que sobrepasan la capacidad de carga del operario	Imposibilidad de atención	4	Pedidos de gran tamaño	3	Habilitar montacarga para traslados	4	48
	Falta de stock de materiales	Imposibilidad de atención	9	Fallo de pronóstico de stock.	5	Planificación de compras, stock de seguridad.	5	225
	Obstrucción de la vía de traslado.	Retrasos por obstrucción.	9	Falta de orden y limpieza del área.	4	Monitoreo y control a la planificación de orden y limpieza del área de trabajo.	5	180

El número de prioridad de riesgo más alto se da en la falta de stock, el cual ocasiona para de producción, se deberá hacer una previsión adecuada del stock de materiales.

3.2.3. Impacto de las mejoras planteadas.

3.2.3.1. Impacto en la productividad.

3.2.3.2. Cálculo de la productividad post mejora.

En las tablas 16, 17 y 18 se muestra el cálculo de la productividad después de la implementación de las mejoras descritas en el apartado anterior. El cálculo se hace teniendo en cuenta la reducción en términos relativos de los tiempos, costos y optimización de recursos resultantes de la aplicación de dichas mejoras. Así se tiene que por ejemplo siendo la reducción de tiempos de 32.99%, el costo de mano de obra pasa de 0.29 a 0.19 dólares por cada unidad producida. La misma lógica se aplica para el cálculo de la productividad parcial.

Tabla 16. Productividad global post mejora.

Componentes de la productividad global actual y mejorada				
Productividad	Actual	Mejorada	Var	Var %
Entradas	USD	USD		
Materiales directos	0.80	0.80		
Mano de obra directa	0.29	0.19	0.10	
Totales	1.09	0.99	0.10	0.09
Salidas	Kg.	Kg		
Kg de plancha de fiero galvanizado	1.00	1.00		
Productividad (Kg/Costo USD MOD+MD)	0.92	1.01	0.09	0.10

Tabla 17. Productividad parcial costo de mano de obra directa - post mejora.

Componentes de la productividad parcial costo MOD actual y mejorada		
	Productividad	
	Actual	Mejorada
Entradas	USD	USD
Mano de obra directa	0.29	0.19
Salidas		
Kg de plancha de fiero galvanizado	1.00	1.00
Productividad (Kg/USD -MOD)		5.15

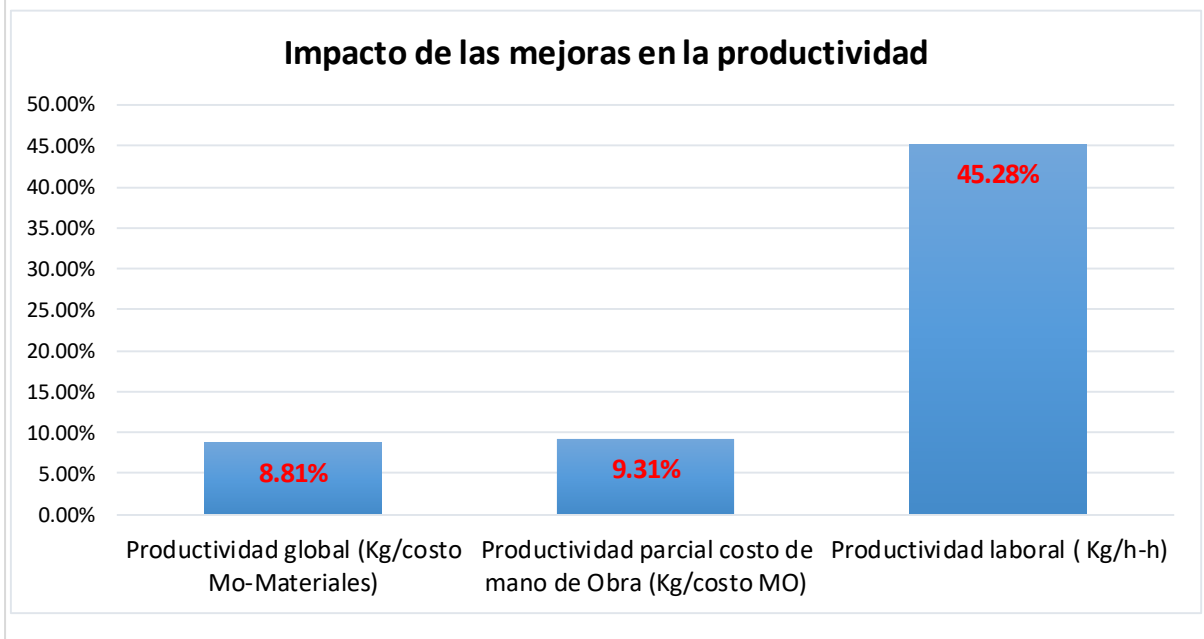
Tabla 18. Productividad costo de mano de obra - mejorada.

Componentes de la productividad parcial costo MOD actual y mejorada		
	Productividad	
	Actual	Mejorada
Entradas	H-H	H-H
Horas hombre	0.08	0.05
Salidas		
Kg de plancha de fiero galvanizado	1.00	1.00
Productividad laboral (kg/h-h)		18.21

Tabla 19.

Resumen- impacto de las mejoras en la productividad.

Tipo	IP Actual (Promedio ponderado)	Nuevo IP	Variación	%Var
Productividad global (Kg/costo Mo-Materiales)	0.92	1.01	0.08	8.81%
Productividad parcial costo de mano de Obra (Kg/costo MO)	4.71	5.15	0.44	9.31%
Productividad laboral (Kg/h-h)	13.65	19.83	6.18	45.28%



Las mejoras planteadas tienen un importante impacto en los resultados de productividad en el proceso de fabricación de ductos con láminas de acero galvanizado en la empresa JK Projects Perú. La productividad global se incrementa en un 8.81%, la productividad de costo de mano de obra directa (kg/costo USD) pasa de 4.71 kilogramo por dólar invertido a 5.15 (se incrementa en 9.31%) y la productividad mano de obra en relación al recurso horas hombre invertidas en el proceso crece en un 45.28%.

3.2.3.3. Impacto en el tiempo y el costo.

Tabla 20.

Impacto en el costo y el tiempo de las mejoras.

Actividad	Mejora aplicada	Tiempo actual	Nuevo Tiempo	No Operarios	Total tiempo reducido	Var	Var %
Doblado de pestaña inglesa	Implementación de máquina Look former	0.74	0.2	2	1.08	0.54	73.0%
Traslado de láminas a Mesa de trabajo	Replanteo de diagrama de recorrido	0.18	0.06	2	0.24	0.12	66.7%
Trazado y corte de láminas de acero	Implementación de Cillazas eléctricas	0.61	0.366	2	0.488	0.244	40.0%
		1.53	0.626			0.904	
	- Lead time del proceso	2.74					
	- Reducción relativa del lead time	32.99%					

La tabla 20, resume cada una de las mejoras aplicadas en el proceso de fabricación de ductos en la empresa JK Projects Perú E.I.R.L y su impacto directo en la reducción de tiempos. La variación más importante se da en la estación doblado de pestañas (73.00%) y explica en gran medida la reducción de tiempos e incremento de la productividad de mano de obra. La reducción del tiempo se calcula 0.904 minutos de los 2.74 minutos del lead time del proceso, en términos relativos representa el 32.99%.

La figura 53 grafica la reducción del costo unitario de fabricación de ductos después de la mejora, éste se obtiene de restar el costo unitario promedio ponderado hallado en la medición de la productividad en la primera etapa de esta investigación (1.09 USD/kg) menos la variación del costo unitario de mano de obra (0.10 USD/kg) dando como resultado un valor de 0.99 USD por unidad producida para el caso kilogramos de ductos, es decir, se logra una reducción de 8.8% del costo global de fabricación.

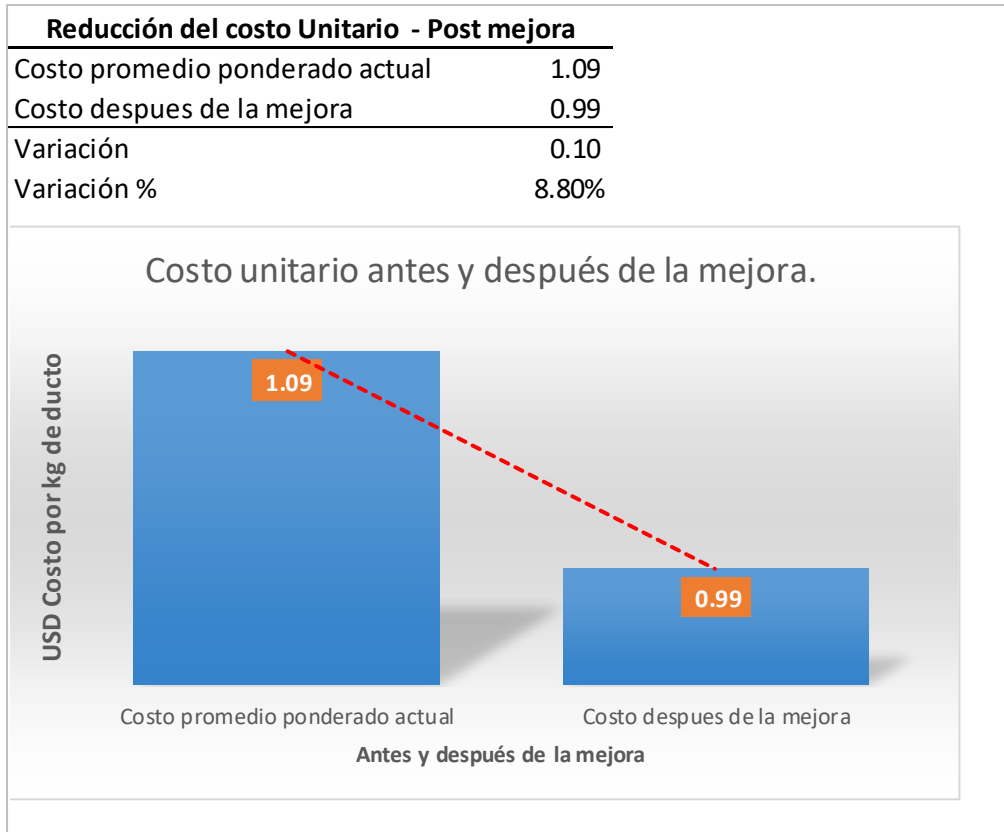


Figura 57, Impacto en costo y tiempo de las mejoras.
Elaboración: Propia

3.2.3.4. Estado de ganancias y pérdidas del proceso de fabricación e instalación de ductos.

Para la proyección del estado de ganancias y pérdidas de los tres años siguientes se ha considerado un crecimiento de 7.1% sustentado en el crecimiento promedio del sector construcción, se toma como base de cálculo el promedio de ventas de los últimos dos años (96,000 kg producidos) con un precio de venta de 2.95 USD/Kg.

En las siguientes figuras se muestran los estados de ganancias y pérdidas por los ingresos en la línea de fabricación e instalación de ductos. La figura 58 muestra la proyección de dichos estados considerando el nuevo costo de fabricación habiéndose aplicado la mejora del proceso en tres de sus sub-procesos. La figura 59 muestra los estados de ganancias y pérdidas considerando los costos actuales. En la figura 60 se hace un comparativo de ambos estados de resultado.

Estado de Ganancias y Pérdidas (USD.)	Año	Año	Año	Acumulado
	1	2	3	
Ventas Netas	303,307.20	324,842.01	347,905.79	976,055.01
Costo de Ventas	101,787.84	109,014.78	116,754.83	327,557.44
Utilidad Bruta	201,519.36	215,827.23	231,150.97	648,497.56
Gastos de Administración	30,536.35	32,704.43	35,026.45	98,267.23
Gastos de Ventas	4,112.64	4,404.64	4,717.37	13,234.64
Otros Ingresos				-
Depreciación	240.00	240.00	240.00	720.00
Utilidad Operativa UAI	166,630.37	178,478.16	191,167.15	536,275.69
Ingresos Financieros				-
Gastos Financieros	239.83	239.83		479.66
Utilidad antes de Impuestos UAI	166,390.54	178,238.34	191,167.15	535,796.03
Participación de Trabajadores				-
Impuesto a la Renta	49,917.16	53,471.50	57,350.15	160,738.81
Utilidad Neta	116,473.38	124,766.84	133,817.01	375,057.22

*Se consideró un crecimiento del 7.1% anual. Moneda: USD

*Figura 58, Estado de ganancias y pérdidas después de la mejora.
Elaboración: Propia*

Estado de Ganancias y Pérdidas (USD.)	Año	Año	Año	Acumulado
	1	2	3	
Ventas Netas	303,307.20	324,842.01	347,905.79	976,055.01
Costo de Ventas	112,069.44	120,026.37	128,548.24	360,644.05
Utilidad Bruta	191,237.76	204,815.64	219,357.55	615,410.95
Gastos de Administración	30,536.35	32,704.43	35,026.45	98,267.23
Gastos de Ventas	4,112.64	4,404.64	4,717.37	13,234.64
Otros Ingresos				-
Depreciación	145.00	145.00	145.00	435.00
Utilidad Operativa UAI	156,443.77	167,561.57	179,468.74	503,474.08
Ingresos Financieros				-
Gastos Financieros	36.25	36.25	36.25	108.75
Utilidad antes de Impuestos UAI	156,407.52	167,525.32	179,432.49	503,365.33
Participación de Trabajadores				-
Impuesto a la Renta	46,922.26	50,257.60	53,829.75	151,009.60
Utilidad Neta	109,485.26	117,267.72	125,602.74	352,355.73

*Se consideró un crecimiento del 7.1% anual. Moneda: USD

*Figura 59, Estado de ganancias y pérdidas antes de la mejora.
Elaboración: Propia*

Estado de Ganancias y Pérdidas (USD.)	Año	Año	Año	Acumulado
	2020	2021	2022	
Utilidad Neta	6,988.12	7,499.11	8,214.27	22,701.49

Figura 60, Comparativo de Estado de ganancias y pérdidas antes y después de la mejora.
Elaboración: Propia

3.2.3.5. Análisis financiero del resultado de la mejora del proceso.

3.2.3.5.1 Costos de la implementación de la mejora.

Los costos de la implementación están compuestos básicamente por la inversión en equipos, materiales para fabricación de una plataforma metálica, costos de mantenimiento de los equipos a futuro y gastos financieros dado que se financiarán en un 50%. El cálculo del gasto financiero se hace teniendo en cuenta la fórmula de interés compuesto

Tabla 21. Hoja de costos de la implementación de la mejora.

Hoja de costos					
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	U.M	P.UNIT	MONTO (USD)
1	Adquisición de Lockformer	1	und	2,400.00	2,400.00
	Adquisición de Tijeras eléctricas	2	und	75.00	150.00
	Fabricación de plataforma para almacén de posición transitoria	1	Glb	150.00	150.00
	Depreciación de lockformer	1	Glb	240.00	240.00
	Gastos financieros, por adquisición de Maquinaria	1	Glb	479.66	479.66
	Costo de mantenimiento de maquinaria	1	Glb	247.50	247.50
SUB TOTAL (USD)					3,667.16
IGV					660.0879
TOTAL (USD)					4,327.24

Cálculo de interés	
Capital Final (Cf)	3,029.66
Capital inicial (Ci)	2,550.00
Tasa (i)	0.09
Periodo (n)	2

$$C_f = C_i (1 + i)^n$$

Donde:

C_f = Capital final
 C_i = Capital inicial
i = Tasa de interés
n = Período del ahorro

Figura 61, Cálculo del interés compuesto.

Elaboración: Tomado del libro Ingeniería económica de (Jiménez Boulanger, Espinoza Gutiérrez, & Fonseca Retana, 2007)

3.2.3.5.2 Flujo de efectivo, Valor actual neto (VAN), Tasa interna de retorno (TIR) y Período de recuperación de inversión (PRI).

Flujo de efectivo

Los ingresos en la tabla de flujo de efectivo (Ver Figura 62 –A) se refieren al ahorro logrado después de la mejora (0.10 USD/Kg) multiplicado por la producción proyectada para el año 1, la misma que es calculada teniendo en cuenta la producción del último periodo (96,000 kg) más la proyección de crecimiento del sector construcción (7.1%), es decir; 96,000 kg x 1.071 x 0.10 USD/Kg. La proyección de ingreso para el año 2 sigue la misma lógica del año anterior. A estos ingresos se ha restado el costo de la implementación descritos en la tabla 21, obteniéndose el beneficio neto de la implementación la cual nos servirá para hallar el Valor neto actual (VAN), La tasa interna de retorno (TIR) y el periodo de recuperación de la inversión (PRI) o también llamada Payback.

Valor Actual Neto (VAN), Tasa interna de retorno (TIR) y Periodo de recuperación de inversión o Payback (PRI).

El VAN es definido como la diferencia entre la inversión inicial y valor actual de los ingresos futuros esperados. (Jiménez Boulanger, Espinoza Gutiérrez, & Fonseca Retana, 2007). Un componente importante del VAN es el Costo promedio ponderado del capital o WACC por sus siglas en inglés, para el cálculo de éste se consideró 50% como aporte de capital propio y el resto financiado, con un retorno exigido de inversión de 14% por parte de los accionistas y 9% por parte del banco, obteniéndose una tasa de descuento por el costo promedio ponderado del capital (WACC) de 10.15%. El VAN resultante es de 16,686.82 USD, siendo superior a 0 (criterio base para toma de decisiones). Otro criterio de evaluación o de análisis financiero es el TIR definido como aquella tasa a la que el valor actual del flujo de inversión de un proyecto es igual a cero. (Jiménez Boulanger, Espinoza Gutiérrez, & Fonseca Retana,

2007). El criterio de toma de decisión pasa porque el TIR sea superior a la tasa de descuento del costo promedio ponderado del capital para considerarlo aceptable. Así se tiene que para el caso la tasa interna de retorno de la inversión en la mejora del proceso de fabricación de ductos en la empresa JK Projects Perú es de 335%, largamente superior al WACC resultante (10.15%), ver figura 62-D. El periodo de recuperación de la inversión de la inversión es de 6 meses, considerando una inversión en el periodo cero de 3,667.16 USD y un valor de flujo de caja del año de 7,369.93 USD. El resultado se obtiene al dividir la inversión inicial entre el valor de flujo de caja del año 1.

ANÁLISIS FINANCIERO DE LAS MEJORAS

A

Estado de resultado después de la mejora (USD.)	Año 1	Año 2	Año 3
Beneficios por reducción de costos unitarios	10,281.60	11,011.59	11,793.42
Costo de implementación de mejora	2,163.62	2,627.48	247.50
Beneficio neto de la mejora	8,117.98	8,384.11	11,545.92

La proyección de ingresos considera como base de cálculo 96,000 kg de producción del último periodo con un incremento anual de 7.1% y una reducción de costo después de la mejora de 0.10 USD/KG

B

ANÁLISIS VALOR ACTUAL NETO

Proyecto	Peso del aporte		Retorno exigido		Tasa de descuento	
	% Deuda	% Patrimonio	kd (Banco)	ka (Accionistas)	WACC	VAN (USD)
Mejora de Procesos	50.00%	50.00%	9.00%	14.00%	10.15%	16,686.82

C

INVERSION (Expresa en USD)

AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3
-2,163.62	8,117.98	8,384.11	11,545.92
	1.10	1.21	1.34
-2,163.62	7,369.93	6,910.16	8,639.23

D

ANÁLISIS TASA INTERNA DE RETORNO

TIR	WACC	VAN (USD)
335%	0.1015	16,686.82

E

Payback con flujo de caja Variable

PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

PRI (Meses)	I ₀ (Inversión inicial)	F (Valor de flujos de caja)
6 Meses	3,667.16	7,369.93

Conclusión financiera:

El valor actual neto(VAN) es superior a 0, es decir, la inversión en maquinaria para mejora del proceso genera valor económico a la empresa. La tasa Interna de retorno (TIR) es superior al WACC (Tasa de descuento del costo promedio ponderado del capital) y el periodo de retorno de la inversión es de 6 meses. Por lo que la inversión es altamente recomendable.

Figura 62, Análisis financiero de la implementación de la mejora de procesos.

Elaboración: Propia

3.2.4. Prueba de hipótesis.

Siendo que la intención analítica es confirmar o descartar una relación de causa – efecto entre las variables mejora del proceso y productividad para el caso bajo la lógica de la **estimación puntual** basados en la prevalencia de la productividad en función de la mejora realizada se podría sustentar con un simple cálculo desarrollado en la tabla 19 en la que se muestra las mediciones basales y finales; y además con una prueba de hipótesis que se desarrolla a continuación.

Datos:

- ✓ Promedio de la población (μ) = 0.92 kg/ (costo MOD+MD).
- ✓ Promedio de la muestra (\bar{x}) = 1.01 kg/ (costo MOD+MD).
- ✓ Desviación estándar (S) = 0.0052056

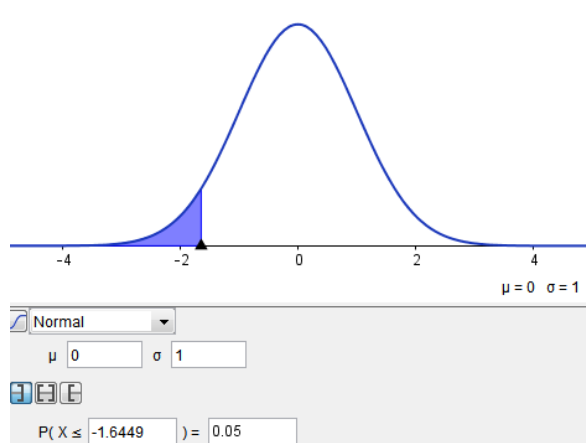
3.2.4.1. Hipótesis

Ho: $\mu \leq 0.92$ (El promedio del nivel de productividad es menor igual a 0.92 kg por unidad monetaria invertida en el proceso de fabricación de ductos).

Ha: $\mu > 0.92$ (El promedio del nivel de productividad es mayor a 0.92 kg por unidad monetaria invertida en el proceso de fabricación de ductos).

3.2.4.2. Nivel de significancia (α) = 5%

3.2.4.3. Región de rechazo Crítico ($Z_{1-\alpha}$) = -1.6449



3.2.4.4. Estadístico de la Prueba $Z=77.3179339$

$$Z = \frac{\bar{X} - u_0}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

3.2.4.5. Conclusión

Dado que:

$$Z=77.3179339 \text{ y } z_{1-\alpha}=-1.6449, \text{ Entonces } \frac{\bar{X} - u_0}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} > Z_{1-\alpha}$$

Se rechaza la hipótesis nula dado que la media es superior a 0.92 con un riesgo de 5% como nivel de significancia.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.

4.1. Discusión.

A partir de los hallazgos encontrados se acepta la hipótesis alternativa general con una significancia de 5% que establece que la aplicación de metodologías y herramientas que forman parte de la filosofía Lean Six Sigma sirve para mejorar la productividad en el proceso de fabricación de ductos en láminas de acero galvanizado para climatización con impacto directo en la reducción de tiempos y costos en la empresa JK Projects Perú E.I.R.L, sector construcción.

En concordancia con el informe de Silva, Lidonil (2017), en su investigación titulada: “Mejora del proceso de producción de tiradores de acero inoxidable para incrementar la productividad en la empresa metalmecánica Industrias Higinio E.I.R.L; Lima 2017”, en la que se plantearon mejoras del proceso teniendo como resultado un incremento del 11.07% de su productividad global.

Ayala, Iván (2016), en su investigación titulada: “Propuesta de Mejora del Proceso de fabricación de mostradores y vitrinas”, hace uso de metodología Lean con herramientas como 5S y Layout, teniendo como resultados mayor eficiencia del proceso.

Dávila, Alejandro (2015), hace un diagnóstico situacional valiéndose de las herramientas Lean como: diagrama causa-efecto, lluvias de ideas, estudio de métodos y tiempos y aplicación de las 5 S para mejorar el proceso logrando reducir costos.

Gerónimo, Edgard. (2016), en su propuesta mejora de la disposición de la planta logra un incremento de la productividad de 12.6%, en nuestro caso el incremento por el rediseño de la distribución acorta recorridos logrando un incremento de la productividad de la actividad traslado de almacén de 66.7%.

Para los cálculos de productividad de la empresa JK Projects Perú E.I.R.L se tomó la información histórica de 10 proyectos implementados en los años 2017 y 2018, si bien la información es amplia, los datos al ser procesados muestran una dispersión superior al 30% y menor de 35%, esto debido a que cada proyecto tiene un comportamiento diferenciado por factores como: ubicación, plazos, compatibilización de planos en obra con otras especialidades, conflictos sociales (Sindicatos), etc. Además de la evaluación de la productividad se hizo un estudio de tiempos del proceso. Establecido los tiempos estándares de cada actividad, se realizó un balance de línea del proceso para identificar las restricciones del sistema, las cuales se plasmaron en un mapa de cadena de valor (VSM), los resultados se pueden sintetizar desde dos puntos de vista: El primero, relacionado con tiempos del proceso que no generan valor agregado y son básicamente tiempos de desplazamiento de almacén a la estación de trazo y corte, estos se explican en función de la longitud de corrido que el operador hace para atender sus requerimientos, en este punto se planteó una redistribución del layout actual y la implementación de un tablero debajo de la mesa de trabajo con un caballete como soporte para almacenar planchas para trazo inmediato. El otro punto de vista es el que tienen que ver con la estación restricción del sistema, es decir aquel eslabón más débil de la cadena que imprime el ritmo del proceso y que tiene que ser mejorado. Aplicando la lógica de la teoría de restricciones se explota, se eleva y se repite para identificar nuevas restricciones para proyectos de mejora, es decir, es una forma dinámica de gestionar la mejora continua. Para el estudio de tiempos se tomó como ejemplo el estudio de Dávila, Alejandro en su investigación titulada “Análisis y propuesta de mejora de procesos en una empresa productora de jaulas para gallinas ponedoras” donde realiza un estudio de métodos y tiempos para poder determinar ratios de productividad.

La productividad global del proceso de fabricación es de 0.92 kilogramos por dólar invertido en el costo varía de acuerdo al proyecto entre 1.01 dólares y 1.48 dólares la unidad. Una manera

de saber qué tan lejos estamos del objetivo es comparando las entradas (Costos) y las salidas (kilogramos producidos), según información obtenida de la empresa y los costos objetivo o costos mínimos aceptables o la productividad mínima aceptable, establecida por la organización. Al hacerlo, se puede advertir una gran variabilidad entre los resultados de los proyectos analizados. ¿Pero, qué explica tanta diferencia entre proyectos? Hay una relación directa entre la productividad y el tamaño del proyecto, mientras mayor sea el volumen del proyecto se logra mejores índices de productividad. Un proyecto con volúmenes altos nos permite hacer una mejor planificación, ejecución y control del proceso de fabricación e instalación del producto debido a que se puede gestionar niveles de producción a escala, los costos de materiales y mano de obra pueden negociarse por lotes logrando mejores precios. Mientras que proyectos pequeños distraen los recursos y la logística haciéndola económicamente más costosa. Otra explicación resultante de medir la productividad y de cruzar información a través de una lluvia de ideas con el personal de producción es la deficiencia de las máquinas existentes. La estación de doblado de pestañas depende de un plegador manual, el proceso requiere de 6 pliegues para lograr una pestaña que permita acoplar partes longitudinales, este proceso es reemplazado por una máquina con fuerza motriz equipada con rodillos para hacer el pliegue en un solo paso, ésta sola mejora reduce el tiempo del subproceso de 0.74 min/kg a 0.20 min/kg. Este ejemplo de mejora con costos bajísimos y retornos altos son identificados para convertirlos en proyectos de mejora, estos explican la baja productividad del proceso antes de la mejora.

Analizada la situación actual, con la ayuda de herramientas de calidad tales como diagrama de causalidad, lluvia de ideas, diagrama de pescado, diagrama de pareto, value stream mapping (VSM), Análisis de modo y efecto de las fallas (AMEF) se plantearon mejoras en tres subprocesos o actividades que restringían el sistema, estas mejoras tuvieron un importante impacto en la reducción de tiempos, costos y por añadido en la productividad global, productividad

parcial costo de mano de obra directa y productividad del trabajo o laboral (kg/h-h). Sin embargo, se hace notar que la productividad global se incrementa en menor medida (solo 8.8%), es decir, al reducirse tiempos de algunas actividades logramos importante incremento de la productividad solo en uno de los factores de la productividad (Mano de obra), dado que las mejoras no se plantearon para mejorar los otros factores como materiales, la mejora no logra mover la aguja con mayor nitidez la productividad global. Entonces ¿Cuál es la explicación? El componente material, representa el 68% del costo (0.85 dólares por kilogramo), la reducción lograda sí es importante (45.28% de reducción), pero al ser comparada con el costo total siendo que el costo de materiales alta parecería no importante. Entonces queda para los siguientes estudios incluir como oportunidad de mejora el costo de la plancha o lámina de acero galvanizado, analizar no solo la opción de compra local si no buscar que importar en bobinas para reducir el costo de materiales.

Finalmente, las herramientas Lean Six Sigma integradas por el método de mejora continua DMAIC aplicada en esta investigación fueron de gran utilidad para identificar las causas que originan el problema (Pareto, Diagrama de pescado), para medir y diagramar la cadena de valor del proceso (Value Stream Mapping), para planificar las mejoras (Teoría de restricciones) y finalmente, para controlar con la finalidad de mantener lo ganado con las mejoras (AMEF).

4.2. Conclusiones

- ✓ Se cumplió con el primer objetivo general de medir la productividad en el proceso de fabricación de ducto galvanizado para sistemas de aire acondicionado y ventilación mecánica en la empresa JK Projects Perú E.I.R.L, sector construcción, para lo cual se tomó información histórica de la empresa y se realizó un estudio de tiempos en el proceso mencionado, se concluye que el nivel de productividad actual está por debajo del objetivo que se planteó la dirección de la empresa.

- ✓ Se cumplió con el segundo objetivo general de incrementar la productividad a través de mejora de procesos aplicando metodologías y herramientas que forman parte de la filosofía Lean Six Sigma, para ello se seleccionaron tres mejoras aplicadas en los sub – procesos: Doblado de pestañas; Trazado y corte; y Rediseño del Layout acortando distancias de recorrido. Se confirma la hipótesis general, el uso de herramientas Lean Six Sigma contribuyen a mejorar procesos para incrementar la productividad con impacto en tiempos y costos.
- ✓ Se logró determinar la productividad global actual en la empresa JK Projects Perú E.I.R.L, siendo ésta de 0.92 kilogramos de ducto fabricado por cada unidad monetaria invertida (Kg/USD) como promedio ponderado, en general la productividad por proyecto varía entre 0.1 kg/USD y 0.99 kg/USD, los costos de fabricación oscilan entre 1.01 dólares y 1.48 USD por unidad.
- ✓ Se calculó la productividad parcial, las mismas que se han dividido en: Productividad parcial costo de mano de obra directa (Kg/Costo USD MOD) y Productividad laboral o del trabajo (Kg/h-h). La productividad costo mano de obra directa alcanza los 4.71 kilogramos por USD invertido, el costo de la mano de obra por kilogramos de ductos oscila entre 0.21 USD y 0.51 USD; La productividad laboral o del trabajo es de 13.65 kilogramos por cada hora hombre como recurso invertido en el proceso.
- ✓ Aplicadas las mejoras se logra reducir el lead Time del proceso de 2.74 min/kg a 1.83 min/kg (33.21%). Los tiempos que no generan Valor agregado al proceso se reducen de 1.01 min/kg a 0.88 min/kg (12.87%), estas mejoras tienen impacto en la productividad y en el costo.

- ✓ Finalmente, las mejoras tuvieron impacto positivo logrando un incremento de la productividad global en un 8.8%, pasando de 0.92 (Kg/costo MOD+MD) a 1.01 (Kg/costo MOD+MD), el costo de fabricación se redujo de 1.09 USD del mostrado como promedio ponderado de la población analizada a 0.99 USD después de las mejoras aplicadas. La productividad costo mano de obra directa (relación kg/costo MOD) mejora en un 9.35% y la productividad laboral o de trabajo (relación kg/h-h) se incrementa en un 45.28%, pasa de 13.65 kg/h-h a 19.83 kg/h-h. Se demuestra a través de un análisis financiero que el valor actual neto (VAN) es superior a 0, es decir, la inversión en maquinaria para mejora del proceso genera valor económico a la empresa. La tasa Interna de retorno (TIR) es superior al WACC (Tasa de descuento del costo promedio ponderado del capital) y el periodo de retorno de la inversión es de 6 meses. Por lo que la inversión es altamente recomendable.

CAPÍTULO 5. Bibliografía

- VARAS ACUÑA, C. A. (2010). *APLICACIÓN DE METODOLOGÍA DMAIC PARA LA MEJORA DE PROCESOS Y REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS EN LAS ETAPAS DE FABRICACIÓN DE CHOCOLATE*. SANTIAGO, CHILE: UNIVERSIDAD DE CHILE.
- Acosta, F., & Vera, M. (2016). *Productividad en la minería chileña y análisis de sus principales factores explicativos en nivel de firma*. Tesis para título de ingeniero civil, Universidad de Chile, Chile.
- Alvarado, A., & Gerónimo, E. (2017). *Influencia de la disposición de planta en la productividad en la empresa metalmeccánica Industrias Higino E.I.R.L.* Tesis para título de ingeniero industrial, Universidad Privada del Norte, Lima.
- Ayala, I. (2016). *Propuesta de mejora del proceso de fabricación de mostradores y vitrinas*. Tesis para título de ingeniero industrial, Universidad Pontificia Javeriana, Colombia.
- Biasca, R. (2009). *Productividad, un enfoque integral del tema*. Texas: Ediciones Macchi.
- Cruelles Ruiz, J. A. (2013). *Productividad Industrial*. Barcelona: Marcombo S.A.
- Dávila, A. (2015). *Análisis y propuesta de mejora de procesos en una empresa productora de jaulas para gallinas ponedoras en el año 2015*. Tesis para título de Ingeniero Industrial, Pontificia Universidad Católica del Perú., Lima.
- Escuela de Organización Industrial - EOI. (2013). *Lean Manufacturing, Conceptos, técnicas e implantación*. Madrid: EOI.
- Gutierrez Pulido, H., & de La Vara Salazar, R. (2013). *Control Estadístico de la calidad y seis sigmas*. México, D.F.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Ingeniería Industrial Online. (06 de Junio de 2019). *Ingeniería Industrial Online. com*. Obtenido de www.ingenieriaindustrialonline.com
- Jiménez Boulanger, F., Espinoza Gutiérrez, C. L., & Fonseca Retana, L. (2007). *Ingeniería económica*. Cartago: Editorial tecnológica de Costa Rica.
- Mayorga, A. (2017). *Investigación del incremento de la productividad en la fábrica de pernos en la empresa Galo G. ORBEA o. Cia Ltda. mediante el análisis de disponibilidad en las etapas de su proceso productivo*. Tesis para de ingeniero de mantenimiento, Universidad politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador.
- Medianero, D. (2016). *Productividad Total, Teoría y métodos de medición*. Lima: Editorial Macro.
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2019). *Informe de Actualización de proyecciones macroeconómicas 2019-2022*. Lima: MEF.
- Ministerio de la Producción. (07 de Setiembre de 2018). <https://www.produce.gob.pe>. Obtenido de <https://www.produce.gob.pe/index.php/k2/noticias/item/994-produce-sector-metalmeccanico-registro-crecimiento-de-6-1-durante-el-primer-cuatrimestre-del-ano>
- Ocampo, J. R., & Pavón, A. E. (2012). *Integrando la metodología DMAIC de seis sigmas con la simulación de eventos discretos de Flexsim*. San Pedro de Sula: Universidad Tecnológica Centroamericana.
- Pastor, L. F. (2018). *Propuesta de mejora del proceso de producción aplicando la metodología Six Sigma para reducir defectos en la empresa RMB SATECI S.A.C*. Tesis para Título de Ingeniero Industrial, Universidad Privada del Norte - UPN, Lima.
- Porter, M. E. (2017). *Ser competitivo Edición actualizada*. HBS: Deusto.
- Schroeder, R. G., Meyer, S., & Rungtusanathan, M. J. (2011). *Administración de operaciones - Conceptos y casos contemporáneos*. New York: Mc Graw Hill.
- Silva, L. (2017). *Mejora del proceso de producción de tiradores de acero inoxidable para*. Tesis para Título de Ingeniero Industrial, Universidad Cesar Vallejo - UCV, Lima.
- Socconini, L. (2017). *Lean Manufacturing paso a paso*. Mexico: Punto y coma servicios editoriales.
- Valle, J. M., & Ibañez, R. (2017). *Mejora de la productividad en las partidas de falso cielo raso de superboard e instalacion de ventanas de cristal templado mediante el uso de las herramientas de la filosofía lean construction en la obra construccion del hospital ii-1 nuestra señora del r*. Tesis para Título de Ingeniero Industrial, Universidad Privada del Norte - UPN, Lima.
- Vásquez, L. M. (2015). *Propuesta para aumentar la productividad del proceso productivo de cajas porta-medidores de energía monofásicas en la industria metálica CERINSA E.I.R.L., aplicando el overall equipment effectiveness (OEE)*. Tesis para Título de Ingeniero Industrial, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo - UCSTM, Lima.

Villacorta, L. (2015). *Impacto de la logística en la reducción de tiempos operativos y costos en proyectos en bida construcción s. a.* Tesis para título de Ingeniero Industrial, Universidad Privada del Norte, Lima.

Villaseñor, A., & Galindo, E. (2016). *Conceptos y Reglas de Lean Manufacturing.* Mexico. D.F: Limusa.

ANEXOS

Anexo 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA.

EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE DUCTOS EN LÁMINAS DE ACERO GALVANIZADO PARA CLIMATIZACIÓN EN LA EMPRESA JK PROJECTS PERU.						
Tipo	Problema	Objetivo	Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
General	¿Cuánto es el valor de la productividad en el proceso de fabricación de ductos metálicos para climatización en la empresa JK Projects Perú E.I.R.L?	Evaluar la productividad en el proceso de fabricación de ductos metálicos para climatización en la empresa JK Projects Perú E.I.R.L, sector Construcción.	Variable Dependiente Productividad	Se define Productividad como la relación entre el producto generado y los factores productivos utilizados para ello. Considerando esa definición general del concepto de Productividad, es posible medir la productividad de una empresa en particular a través de indicadores de productividad (Porter, 1990).	Productividad Total	Índice de Productividad Total en la fabricación de ductos
Específico	¿Cuánto es la productividad global en el proceso de fabricación de ductos metálicos para climatización en la empresa JK Projects Perú E.I.R.L, sector Construcción?	Determinar la productividad global en el proceso de fabricación de ductos metálicos para climatización en la empresa JK Projects Perú E.I.R.L, sector Construcción.			Productividad Parcial	Índice de productividad parcial de mano de obra
	¿Cuánto es la productividad parcial en el proceso de fabricación de ductos metálicos para climatización en la empresa JK Projects Perú E.I.R.L, sector Construcción?	Determinar la productividad parcial en el proceso de fabricación de ductos metálicos para climatización en la empresa JK Projects Perú E.I.R.L, sector Construcción.			Costo	Costo unitario de fabricación
	Cuáles son los costos en el proceso de fabricación de ductos metálicos para climatización en la empresa JK Projects Perú E.I.R.L, sector Construcción?	Optimizar el costo del proceso de fabricación de ductos metálicos para climatización en la empresa JK Projects Perú E.I.R.L, sector Construcción.				Costo de mano de obra por kilogramo
General	¿Cómo incrementar la productividad del proceso de fabricación de ductos metálicos en la empresa JK Projects Perú E.I.R.L?	Incrementar la productividad a través de la mejora de su proceso de fabricación de ductos metálicos para climatización en la empresa JK Projects Perú, sector construcción utilizando herramientas Lean Six Sigma	Variable Independiente Mejora de procesos usando herramientas Lean Six Sigma y DMAIC.	También conocida como la metodología de los 5 pasos, fue desarrollada e implementada por Motorola, consiste en el desarrollo de 5 fases conectadas de manera lógica entre sí. DMAIC viene del acrónimo en inglés: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. Cada fase puede hacer uso de las diferentes herramientas de gestión de	Tiempo	Lead Time
Específico	¿Cómo y en cuánto en términos porcentuales se puede incrementar la productividad y reducir los costos en el proceso de fabricación de conductos en la empresa JK Projects Perú E.I.R.L.	Reducir los tiempos del proceso de fabricación de ductos metálicos para climatización en la empresa JK Projects Perú E.I.R.L, sector Construcción.				Tiempo de Ciclo
						Tiempo de valor agregado
						Tiempo de No valor agregado

Anexo 2. CUADRO DE MANDO INTEGRAL DE LA EMPRESA JK PROJECTS PERÚ.

PERSPECTIVA FINANCIERA				PERSPECTIVA INTERNA			
OBJETIVOS ESTRATEGICOS	Mantener un nivel adecuado de Flujo	Incrementar nivel de ingresos	Aumentar nivel de ventas	OBJETIVOS ESTRATEGICOS	Incrementar la productividad global sostenidamente	Optimizar recursos	Reducir Desperdicios
INDICADORES DE DESEMPEÑO	Razón Circulante	Rentabilidad sobre el activo (ROA)	Nivel de Ventas mensual	INDICADORES DE DESEMPEÑO	Productividad Global	Trabajo productivo	Trabajo Contributivo
FÓRMULA DE CÁLCULO	Activo cte/PasivoCorriente	Ganancias por actividades de la operación / Activo Total	Ventas mensuales	FÓRMULA DE CÁLCULO	(Kg/Costo USD MOD+MD)	Horas de Trabajo Contributivo/Horas totales de trabajo	Horas de Trabajo Productivo/Horas totales de trabajo
META	1.5	22%	95,000 Dolares	META	1 kg. por dólar invertido	>55%	<35%
PERSPECTIVA CLIENTE				PERSPECTIVA APRENDIZAJE			
OBJETIVOS ESTRATEGICOS	Fidelizar a los clientes	Mejorar satisfacción del cliente	Aumentar nivel de ventas	OBJETIVOS ESTRATEGICOS	Capacitación continua de trabajaores	Mejorar satisfacion de cliente interno	Reducir Desperdicios
INDICADORES DE DESEMPEÑO	Fidelidad	Satisfacción de clientes	Nuevos clientes	INDICADORES DE DESEMPEÑO	Formación continua	Satisfacción de Trabajadores	Trabajo Productivo
FÓRMULA DE CÁLCULO	No clientes recurrentes/Total cartera de clientes	Clientes con satifacción superior a 8 de 10 atendidos/ Total de clientes atendidos	Nivel de ventas a nuevos clientes	FÓRMULA DE CÁLCULO	No de trabajos capacitados/No Total de trabajadores	Empleados satisfechos/Total empleados	Horas de Trabajo Productivo/Horas totales de trabajo
META	>85%	>98%	8 clientes mensuales	META	>75%	>85%	>60%

Anexo 3. LISTA DE PROYECTOS JKP 2017-2018

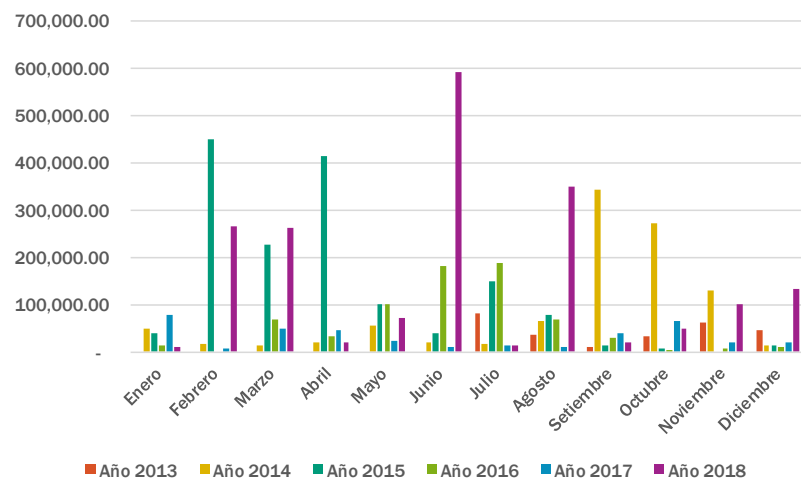
ID	NOMBRE DEL PROYECTO	PLAZO (MESES)	PRODUCTO	U.M	SALIDAS			ENTRADAS				
					UNIDADES PRODUCIDAS (Kg)	PREC. UNIT (USD)	TOTAL (USD)	AMQUINARIA (USD)	HORAS/HO MBRE	MATERIALES (USD)	MO	C. MANO DE OBRA
Proyecto 1	Financiera Confianza	1.60	Ducto de P.G	Kg	2,180.00	3.00	6,540.00	7,500.00	904.00	2,180.00	2,180.00	2,621.60
Proyecto 2	IFB San Juan de Lurigancho	8.00	Ducto de P.G	Kg	19,690.00	2.75	54,147.50	7,500.00	5,605.00	19,690.00	19,690.00	16,254.50
Proyecto 3	Autoland - Benavides	4.50	Ducto de P.G	Kg	15,790.00	2.99	47,172.63	7,500.00	2,634.00	15,790.00	15,790.00	7,638.60
Proyecto 4	Cibertec - Rambla Breña	4.00	Ducto de P.G	Kg	5,460.00	2.81	15,342.60	7,500.00	1,920.00	5,460.00	5,460.00	5,568.00
Proyecto 5	Oficinas Gilat - San Isidro	1.20	Ducto de P.G	Kg	1,000.00	2.75	2,750.00	7,500.00	386.00	1,000.00	1,000.00	1,119.40
Proyecto 6	Edificio Multifamiliar Benesere	3.00	Ducto de P.G	Kg	1,600.00	2.93	4,688.00	7,500.00	936.00	1,600.00	1,600.00	2,714.40
Proyecto 7	Edificio Suchi Bar - Surquillo	1.00	Ducto de P.G	Kg	800.00	3.14	2,512.00	7,500.00	300.00	800.00	800.00	870.00
Proyecto 8	Hapag Lloid	1.20	Ducto de P.G	Kg	1,200.00	2.59	3,108.00	7,500.00	360.00	1,200.00	1,200.00	1,044.00
Proyecto 9	OHL - Miraflores	1.20	Ducto de P.G	Kg	1,013.00	2.81	2,846.53	7,500.00	240.00	1,013.00	1,013.00	696.00
Proyecto 10	Orange Theory	1.30	Ducto de P.G	Kg	920.00	2.93	2,695.60	7,500.00	280.00	920.00	920.00	812.00

2.87

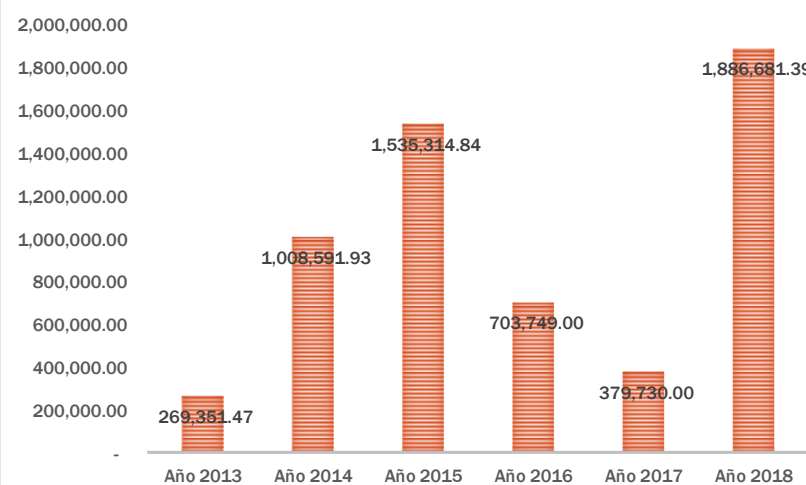
Anexo 4. REGISTRO HISTÓRICO DE VENTAS 2013-2019

Histórico Ventas													
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Totales
Año 2013							79,933.73	36,770.34	11,120.00	31,261.65	63,225.75	47,040.00	269,351.47
Año 2014	49,070.00	17,080.00	12,384.00	19,788.00	55,919.00	19,457.70	14,829.85	65,705.91	341,949.00	271,479.00	129,310.47	11,619.00	1,008,591.93
Año 2015	38,819.00	448,565.00	226,826.00	415,432.00	101,555.00	40,077.00	150,439.00	77,461.51	14,407.00	7,133.33	-	14,600.00	1,535,314.84
Año 2016	13,934.00	-	67,800.00	32,267.00	101,334.00	181,181.00	188,969.00	69,657.00	28,333.00	2,871.00	6,882.00	10,521.00	703,749.00
Año 2017	79,205.00	8,078.00	48,716.00	44,819.00	21,883.00	9,972.00	13,916.00	10,374.00	38,229.00	63,620.00	20,459.00	20,459.00	379,730.00
Año 2018	11,409.00	264,180.00	263,038.00	19,028.00	72,021.00	590,572.00	12,737.00	350,655.00	18,914.00	49,804.17	101,635.22	132,688.00	1,886,681.39
													5,783,418.63


VENTAS MES POR AÑO



VENTAS HISTÓRICAS



Anexo 5. MEDICIÓN DE TIEMPOS.

HOJA DE CRONOMETRAJE																																
Tarea: Fabricación de ductos de planchas de fierro galvanizado		Empresa: JK Projects Perú																														
Fecha: 12/05/2018		Proceso: Producción																														
Analista: Pablo Illesca		Área: Taller de Fabricación																														
Operativo: Miguel Espinoza / Edwin Espinoza		Tipo: DUCTOS SIMPLES																														
Descripción de la Operación	Tipo	PIEZA 01			PIEZA 02			PIEZA 03			PIEZA 04			PIEZA 05			PIEZA 06			PIEZA 07			PIEZA 08			PIEZA 09			PIEZA 10			
		Tiempo	Peso kg	Prom	Tiempo	Peso	Prom	Obs	Peso	Prom	Obs	Peso	Prom	Obs	Peso	Prom	Obs	Peso	Prom	Obs	Peso	Prom	Obs	Peso	Prom	Obs	Peso	Prom				
1	Revisión de planos con las especificaciones de los ductos a elaborar.	T	0:02:05	2.08	0.46	0:02:05	2.08	0.40	0:02:05	2.08	0.52	0:02:05	2.08	0.30	0:02:05	2.08	0.23	0:02:05	2.08	0.36	0:02:05	2.08	0.54	0:02:05	2.08	0.30	0:02:05	2.08	0.32	0:02:05	2.08	0.31
		L	0:02:05			0:02:05			0:02:05			0:02:05			0:02:05			0:02:05			0:02:05			0:02:05			0:02:05			0:02:05		
2	Traslado plancha de fierro galvanizado en mesa de trabajo.	T	0:00:45	0.75	0.16	0:00:40	0.67	0.13	0:00:44	0.73	0.18	0:00:42	0.70	0.10	0:00:44	0.73	0.08	0:00:47	0.78	0.20	0:00:43	0.72	0.10	0:00:44	0.73	0.11	0:00:45	0.75	0.11	0:00:45	0.75	0.11
		L	0:02:50			0:02:45			0:02:49			0:02:47			0:02:49			0:02:47			0:02:52			0:02:49			0:02:52			0:02:49		
3	Trazado y corte de pieza.	T	0:00:50	0.83	0.18	0:00:50	0.83	0.16	0:00:50	0.83	0.21	0:05:14	5.23	0.74	0:05:25	5.42	0.60	0:03:30	3.50	0.61	0:02:37	2.62	0.68	0:02:25	2.42	0.34	0:02:27	2.45	0.37	0:03:11	3.18	0.47
		L	0:03:40			0:03:35			0:03:39			0:08:01			0:08:14			0:06:17			0:04:29			0:00:30	0.50	0.13	0:00:32	0.53	0.08	0:00:29	0.48	0.07
4	Codificación de pieza.	T	0:00:27	0.45	0.10	0:00:27	0.45	0.09	0:00:31	0.52	0.13	0:00:33	0.55	0.08	0:00:28	0.47	0.05	0:00:28	0.47	0.08	0:00:30	0.50	0.13	0:00:32	0.53	0.08	0:00:29	0.48	0.07	0:00:33	0.55	0.08
		L	0:04:07			0:04:02			0:04:10			0:08:34			0:08:42			0:06:44			0:04:59			0:00:30	0.50	0.13	0:00:32	0.53	0.08	0:00:29	0.48	0.07
5	Doblado de pieza (pestaña inglesa).	T	0:03:13	3.22	0.71	0:02:38	2.63	0.51	0:02:50	2.83	0.70	0:02:52	2.87	0.41	0:02:49	2.82	0.31	0:02:55	2.92	0.51	0:03:05	3.08	0.80	0:02:49	2.82	0.40	0:03:01	3.02	0.46	0:02:55	2.92	0.43
		L	0:07:20			0:06:40			0:07:00			0:11:25			0:11:31			0:09:40			0:08:04			0:00:30	0.50	0.13	0:00:32	0.53	0.08	0:00:29	0.48	0.07
6	Doblado de pieza (doblado de bordes y dar forma al ducto)	T	0:00:29	0.48	0.11	0:01:37	1.62	0.31	0:01:20	1.33	0.33	0:01:45	1.75	0.25	0:01:40	1.67	0.19	0:01:37	1.62	0.28	0:01:55	1.92	0.50	0:01:45	1.75	0.25	0:01:53	1.88	0.29	0:01:28	1.47	0.22
		L	0:07:49			0:08:17			0:08:20			0:13:10			0:13:11			0:11:17			0:09:59			0:00:30	0.50	0.13	0:00:32	0.53	0.08	0:00:29	0.48	0.07
7	Traslado de pieza a zona de PT	T	0:00:19	0.32	0.07	0:00:19	0.32	0.06	0:00:20	0.33	0.08	0:00:19	0.32	0.04	0:00:19	0.32	0.04	0:00:19	0.32	0.05	0:00:19	0.32	0.08	0:00:18	0.30	0.04	0:00:17	0.28	0.04	0:00:18	0.30	0.04
		L	0:08:08			0:08:35			0:08:40			0:13:29			0:13:30			0:11:35			0:10:18			0:00:30	0.50	0.13	0:00:32	0.53	0.08	0:00:29	0.48	0.07
T	TOTALES	T	0:08:08	8.13	1.78	0:08:35	8.58	1.66	0:08:40	8.67	2.16	0:13:29	13.48	1.91	0:13:30	13.50	1.50	0:11:35	11.58	2.01	0:11:18	11.30	2.94	0:10:37	10.62	1.51	0:10:56	10.93	1.66	0:11:15	11.25	1.65
		M			1.78			1.66		2.16				1.91		1.50		2.01		2.94		1.51		1.66		1.65						

Resumen	
Tiempo Normal = TN.FC	2.16 MIN
Tolerancia	100.00 MIN
S = (40min/dia)/((480-40)/0.22685)	0.57 MIN
TS=TN+S	2.73 MIN
PS=Produccion estandar de kg. de ducto de p.g	161 Kg de ducto de p.g

Tamaño de la Muestra	
Desviación Estandar (S)	0.427788417
Intervalo de Confianza (IM)	0.00669
Intervalo de Confianza (I)	0.0222
Si IM<I, Entonces es correcta 0.00669<0.0222	
Por lo tanto: M=10 ES CORRECTO	

$$s = \sqrt{\frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{M}}{M-1}}$$

$$I_M = 2 \cdot t_{(M-1, \frac{\alpha}{2})} \left(\frac{S}{\sqrt{M}} \right)$$

$$I = 2 \times 0.05 \times T$$

TAMAÑO DE LA MUESTRA			
n	20	z	1.96
1-alfa	0.95	e	0.03
p	0.5	q	0.5
N*	1067.11		
N'	20		

SUPLEMENTOS GENERALES	
Suplementos de Descanso	
Necesidades Personales	5%
Fatiga	4%
Estar de pie	2%
Total suplementos de descanso	11%
Suplementos por imprevistos	
Imprevistos	2%
Total suplementos de descanso	2%
Suplementos por imprevistos	
Inicio y fin de la jornada	2%
Total suplementos por imprevistos	2%
Total de suplementos generales	15%

Suponiendo que no se cumple, entonces calculamos N

X		0.222
Suma x		2.22
Sumax2		0.4948
sx		0.01475

Numero de observaciones requeridas (N)

