

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTY OF ENGINEERING

INDUSTRIAL ENGINEERING CAREER

**“PROPOSAL FOR IMPROVEMENT OF
PRODUCTION PROCESS IN A COMPANY THAT
PRODUCE PVC FITTINGS THROUGH
THERMOFORMING USING DMAIC
IMPROVEMENT CYCLE”**

THESIS

To opt for the professional title of:

ENGINEER

AUTHOR:

JAVIER SHIGEKI MATSUOKA DIAZ

THESIS ADVISOR:

GRIMALDO QUISPE SANTIVÁÑEZ

2017

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“PROPUESTA DE MEJORA DEL PROCESO DE
PRODUCCIÓN EN UNA EMPRESA QUE
ELABORA ACCESORIOS DE TUBERÍA PVC A
TRAVÉS DEL TERMOFORMADO EMPLEANDO
EL CICLO DE MEJORA DMAIC”**

TESIS

Para optar el título profesional de:

INGENIERO

AUTOR:

JAVIER SHIGEKI MATSUOKA DIAZ

ASESOR:

GRIMALDO QUISPE SANTIVÁÑEZ

2017

A mis padres y hermanos,

Agradecimientos

A mi asesor Grimaldo por el valioso aporte y apoyo.

A mi padre Gerardo y madre Julia, ya que se desvelaron conmigo y estuvieron siempre motivándome a continuar en mis metas

A mis hermanos Emanuel y Fernando, por el continuo apoyo y ánimos en este largo camino

SUMMARY

The purpose for this paper is to reduce production losses at a PVC fitting manufacturer by using as a tool for improvement the DMAIC improvement cycle. Define (D), Measure (M), Analyze (A), Improve (I) and Control (C) are the phases that will be applied with the support of statistical tools to develop a solution.

For the diagnosis of the current situation of the company, the first 3 phases of DMAIC improvement cycle were used. The Define phase (D), identifies the main problem by a matrix that considers several factors such as frequency, monthly losses and ease of implementation. In this manner, high shrinkage is selected as the main problem of the company. Also, the scope of the project is determined by the Project Charter. In the Measure phase (M), the current situation of the company is described. The economic impact is assessed by reduced production and the products are classified by families identifying those families who have most participation. VSM analysis was done to examine the characteristics of each of the sub process identified. To make the process capability analysis, a representative sample was taken and then the indicators are calculated. In the Analyze phase (A), the cause and effect diagram was performed to identify possible causes of the problem. The qualitative information was transferred to quantitative using a Pareto chart. Likewise, correlation assumptions were raised between time and temperature.

For the evaluation of the proposed improvement, the phase Improved was used. In the Improve phase (I), proposals for cutting and thermoforming processes were performed. For the cutting process using supports, side latches and up-and-down cutting blade. In the thermoforming process, using an ovenproof and a system for automated control of the gas flow to the correct temperature measurement is proposed. All the above goes along with a procedure.

For the evaluation of the results, the Control phase was used. In the Control phase (C), an ovenproof prototype was performed and testing to obtain the time when the pipe gain flexibility while it's working with VICAT Temperature (80 °C). The test concluded in

23 seconds on average. A sample sections were used to verify the new capability index. The information collected was used to simulate how works the improvements in the time and using Arena software make sure the effectiveness of the improvement. It's estimated to reduce from 12% to 6% of production losses, which it's the main goal of the project. The financial analysis indicates the investment is profitable. The owner should perform the implementation.

RESUMEN

En el presente trabajo se plantea reducir las mermas de producción de un fabricante que elabora accesorios de tubería PVC aplicando como herramienta el ciclo de mejora DMAIC. Se desarrollarán las fases Definir (D), Medir (M), Analizar (A), Mejorar (I) y Controlar (C) con el soporte de herramientas estadísticas en cada una de dichas fases.

Para el diagnóstico de la situación actual de la empresa se empleó las 3 primeras fases del ciclo de mejora DMAIC: Definir, Medir y Analizar. En la fase Definir, se identificó al problema principal mediante una matriz que considera factores diversos como frecuencia, pérdidas mensuales y facilidad para su implementación. De esta manera, se selecciona como problema principal la alta merma que tiene la empresa. Asimismo, se establecen los alcances del proyecto mediante el Project charter. En la fase Medir, se describe la situación actual de la empresa en la que trabaja. Se evalúa el impacto económico por la merma de producción que se tiene y se clasifica los productos por familias identificándose aquellas de mayor participación. Se realiza el análisis del VSM para visualizar las características de cada uno de los subprocessos identificados. Para realizar el análisis de capacidad del proceso, se tomó una muestra representativa y luego se calculó dichos indicadores. En la fase Analizar, se realizó el diagrama causa efecto para identificar las posibles causas al problema. Se llevó de la información cualitativa a la cuantitativa mediante un gráfico de Pareto y se plantearon hipótesis de correlación entre el tiempo y la temperatura.

Para la evaluación de la propuesta de mejora, se utilizó la fase Mejorar de la metodología LSS. En la fase Mejorar, se realizaron propuestas para los procesos del corte y termoformado. Para el proceso de corte se planteó la utilización de soportes, sujetadores laterales y una cuchilla de corte vertical. Todo lo mencionado anteriormente va junto a un procedimiento. En el proceso del termoformado, se propuso el uso de un horno refractario y un sistema de control del flujo de gas automatizado para la medición correcta de la temperatura.

Para la evaluación de los resultados, se empleó la fase Controlar de la metodología LSS. En la fase Controlar, se realizó un prototipo de horno refractario y se realizó pruebas para poder obtener el tiempo cuando empieza a ganar flexibilidad si se trabaja con la temperatura VICAT (80 °C). Se obtuvo un tiempo de 23 segundos en promedio. Se tomó una muestra con las secciones utilizadas en la prueba para verificar el nuevo índice de capacidad. La información recopilada sirvió para simular como trabaja la mejora en el tiempo y mediante el software Arena comprobar la efectividad de la mejora. Se estima reducir del 12% al 6%, con lo que se logra cumplir el objetivo principal del proyecto. El análisis financiero indica que la inversión si es rentable en el tiempo luego de realizada la propuesta de mejora por lo que se debería de realizar la implementación

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN.....	1
1. CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO	2
1.1 Definición de proceso.....	2
1.1.1 Capacidad de un proceso	3
1.2 Definición del Termoformado	3
1.2.1 Normalización	4
1.3 Metodologías referenciales para la mejora de los procesos	4
1.4 Metodología Lean Manufacturing	5
1.4.1 Principios de Lean Manufacturing:	7
1.4.2 Elementos de Lean Manufacturing.....	10
1.4.3 Mapeo de la Cadena de Valor (VSM)	10
1.4.4 Manufactura celular.....	14
1.5 Metodología Six Sigma	15
1.5.1 Ciclo de mejora continua DMAIC.....	17
1.5.2 Índices de Capacidad.....	23
1.6 Herramientas adicionales.....	25
1.6.1 Diagrama de Causa – Efecto (Ishikawa)	25
1.6.2 Gráficas de Control.....	26
2. CAPÍTULO 2: DIAGNÓSTICO DE LA EMPRESA.....	29
2.1 Coyuntura del Entorno	29
2.1.1 Composición del Mercado.....	29
2.1.2 Análisis del entorno	31
2.2 Desarrollo de la Fase Definir (D)	33
2.3 Descripción de la empresa.....	33
2.3.1 Coyuntura actual de la empresa.....	33
2.4 Organización.....	34
2.4.1 Misión :.....	34
2.4.2 Visión :	34
2.4.3 Valores de la empresa :.....	34

2.4.4	Presentación de la empresa :.....	35
2.5	Distribución de Planta	35
2.6	Lista de Productos	36
2.7	Proceso Productivo	36
2.7.1	Procesos Operativos	37
2.7.2	Procesos de Soporte:.....	38
2.7.3	Procesos Estratégicos	38
2.8	Descripción e identificación de los problemas	39
2.9	Diagrama del Proceso: SIPOC	41
2.10	Resumen del Proyecto	42
2.11	Desarrollo de la Fase Medir (M)	44
2.11.1	Porcentaje de merma	44
2.11.2	Impacto económico.....	46
2.11.3	Participación de productos en la merma generada	50
2.11.4	Mapeo de la Cadena de Valor (VSM)	52
2.11.5	Layout del Proceso Productivo:.....	54
2.11.6	Diagnóstico 5's	56
2.11.7	Diagrama de Operaciones (DOP)	58
2.11.8	Capacidad y desempeño del proceso	60
2.12	Desarrollo de la Fase Analizar (A)	64
2.12.1	Diagrama Causa - Efecto	64
2.12.2	Análisis de la Variabilidad de Factores:	67
2.12.3	Análisis de Correlación:	67
2.12.4	Identificación de las mudas:	69
3.	CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE MEJORA DEL PROCESO	70
3.1	Desarrollo de la Fase Mejorar (I)	70
3.1.1	Proceso de Corte:.....	70
3.1.2	Propuesta al Proceso de Corte:	70
3.1.3	Proceso del Termoformado:	75
3.1.4	Propuesta al Proceso de Termoformado:.....	75
3.1.5	Transmisión del gas:.....	80
3.1.6	Aplicación 5's.....	80
3.1.7	Propuesta de Layout:	85

3.1.8 Lista de recursos	86
3.1.9 Situación esperada del VSM:	87
3.1.10 Entrenamiento del Personal y Registros de Procedimientos :	89
4. CAPÍTULO 4: EVALUACIÓN DE RESULTADOS.....	90
4.1 Desarrollo de la Fase Controlar (C).....	90
4.1.1 Análisis de Capacidad:	96
5. CAPÍTULO 5: EVALUACIÓN ECONÓMICA - AMBIENTAL.....	98
5.1 Análisis económico:	100
5.2 Análisis ambiental:	102
6. CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	104
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
8. ANEXOS:.....	110

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1: Lista de productos categorizados por familia.....	110
Anexo N° 2: Tabla de características de tuberías según diámetro nominal	113
Anexo N° 3: Tabla medición de espesores (en mm) de la curvatura de la sección.....	114
Anexo N° 4: Tabla de mediciones de temperatura y tiempo	115
Anexo N° 5: Tabla de valores críticos de correlación de Pearson	117
Anexo N° 6: Componentes de los sujetadores	118
Anexo N° 7: Componentes de la ingleteadora	123
Anexo N° 8: Tabla de mediciones de temperatura y tiempo en el prototipo	129
Anexo N° 9: Procedimiento método de corte	131
Anexo N° 10: Procedimiento método del termoformado.....	134
Anexo N° 11: Tabla medición de espesores (en mm) de la curvatura de la sección...	137
Anexo N° 12: Detalle para el análisis del escenario pesimista	138
Anexo N° 13: Detalle para el análisis del escenario regular	139
Anexo N° 14: Detalle para el análisis del escenario optimista.....	140

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 0-1:Consecuencia de la mejora de procesos	1
Figura N° 1-1 : Esquema de un proceso	2
Figura N° 1-2 : Diagrama de flujo para la implementación de un sistema Lean	9
Figura N° 1-3 : Representaciones usuales para la elaboración del VSM.....	11
Figura N° 1-4 : Modelo de encuesta para validación del mapa construido VSM	13
Figura N° 1-5 : Ejemplo de esquema de un VSM en planta manufacturera	14
Figura N° 1-6 : Flujo con los pasos de la metodología DMAIC	18
Figura N° 1-7 : Flujo de proceso para implementar el DMAIC.....	22
Figura N° 1-8 : Diagrama básico de Causa - Efecto	26
Figura N° 1-9 :Ejemplo gráfico de control.....	28
Figura N° 2-1: Compra de productos plásticos por sectores	29
Figura N° 2-2: Participación de las empresas por tamaño de empresa	30
Figura N° 2-3: Participación de las principales empresas del sector.....	31
Figura N° 2-4: Organigrama de la empresa.....	35
Figura N° 2-5: Mapa de procesos de la empresa.....	37
Figura N° 2-6: Hoja SIPOC de los procesos	42
Figura N° 2-7: Comparación merma de producción 2012	44
Figura N° 2-8: Comparación merma de producción 2013	45
Figura N° 2-9: Comparación merma de producción 2013	45
Figura N° 2-10: Comparación merma de producción 2015	46
Figura N° 2-11: Monto perdido (S/.) por merma en el 2012.....	46
Figura N° 2-12: Monto perdido (S/.) por merma 2013	47
Figura N° 2-13 : Monto perdido (S/.) por merma en el 2014.....	48
Figura N° 2-14 : Monto perdido (S/.) por merma en el 2015.....	49
Figura N° 2-15: Consolidado de producción para las familias de productos	51
Figura N° 2-16: Pérdida (S/.) por familia de productos en 2012-2015	52
Figura N° 2-17: VSM del proceso actual	53
Figura N° 2-18 : Layout del proceso actual.....	55
Figura N° 2-19: Diagrama de Operaciones (DOP) - Cachimbas	58

Figura N° 2-20: Diagrama de Operaciones (DOP) - Codos	59
Figura N° 2-21: Análisis de la Capacidad del Proceso (C_p).....	62
Figura N° 2-22: Diagrama X barra - S del espesor (en mm).....	63
Figura N° 2-23: Diagrama de Ishikawa.....	65
Figura N° 2-24: Cuantificación de los tipos de daños	66
Figura N° 2-25: Gráfica X barra - R de la Temperatura.....	67
Figura N° 2-26: Gráfico de correlación Tiempo - Temperatura.....	68
Figura N° 3-1: Prototipo de soportes.....	71
Figura N° 3-2: Diseño de los sujetadores laterales o mordaza móvil.....	72
Figura N° 3-3: Sistema poka joko para la alimentación de la ingleteadora.....	73
Figura N° 3-4: Diseño de la cortada de sierra circular o ingleteadora	74
Figura N° 3-5: Diagrama de tuberías del sistema propuesto	76
Figura N° 3-6: Prototipo del horno refractario (Explosión de materiales).....	77
Figura N° 3-7: Prototipo del horno refractario (armado)	79
Figura N° 3-8: Organigrama del equipo 5S.....	80
Figura N° 3-9: Formato para el etiquetado.....	82
Figura N° 3-10: Formato para plan de acción	83
Figura N° 3-11: Formato para el control de artículos etiquetados por proceso.....	83
Figura N° 3-12: Formato de control de limpieza en las estaciones de trabajo	84
Figura N° 3-13 : Propuesta de Layout	85
Figura N° 3-14: VSM Propuesto	88
Figura N° 4-1 : Modelo utilizado en la simulación Arena	94
Figura N° 4-2 : Análisis de Capacidad de Proceso ($C_p - C_{pk}$).....	97
Figura N° 5-1 : Target para aplicación de incremento	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1-1 : Herramientas para la implementación del DMAIC.....	19
Tabla N° 1-2 : Valores del C_p y su interpretación	24
Tabla N° 2-1 : Lista de familia para los diferentes productos	36
Tabla N° 2-2 : Escala de criterios de la matriz de priorización de problemas	40
Tabla N° 2-3 : Matriz de priorización de problemas	41
Tabla N° 2-4 : Cuadro resumen del Proyecto.....	43
Tabla N° 2-5 : Montos de venta efectiva y merma por familia 2012	47
Tabla N° 2-6 : Montos de venta efectiva y merma por familia 2013	48
Tabla N° 2-7 : Montos de venta efectiva y merma por familia 2014	49
Tabla N° 2-8 : Montos de venta efectiva y merma por familia 2015	50
Tabla N° 2-9 : Resumen del VSM del proceso actual.....	54
Tabla N° 2-10. Registro de Auditoría 5's Inicial	57
Tabla N° 2-11 : Tabla de espesores mínimos requeridos de los accesorios	62
Tabla N° 2-12 : Identificación de mudas por proceso	69
Tabla N° 3-1 : Tabla de lógica de funcionamiento del Poka Joke	73
Tabla N° 3-2 : Lista de materiales del horno.....	77
Tabla N° 3-3 : Plantilla de evaluación 5'S por proceso	81
Tabla N° 3-4 : Lista de recursos para la propuesta de mejora.....	86
Tabla N° 4-1 : Análisis del VSM para la familia Codos	90
Tabla N° 4-2 : Análisis del VSM para la familia Cachimbas.....	91
Tabla N° 4-3 : P-Valor de las distribuciones para el tiempo de acarreo	91
Tabla N° 4-4 : P-Valor de las distribuciones para el tiempo de corte	92
Tabla N° 4-5 : P-Valor de las distribuciones para el tiempo de cocción (1)	92
Tabla N° 4-6 : P-Valor de las distribuciones para el tiempo de cocción (2)	93
Tabla N° 4-7 : P-Valor de las distribuciones para el tiempo de corte y lijado	93
Tabla N° 4-8 : Tabla de datos con información del software Arena	94
Tabla N° 4-9 : Tabla de datos de la simulación en el software Arena	95
Tabla N° 4-10 : Resultados de la corrida.....	95
Tabla N° 4-11 : Resultados de los objetivos versus la simulación.....	96

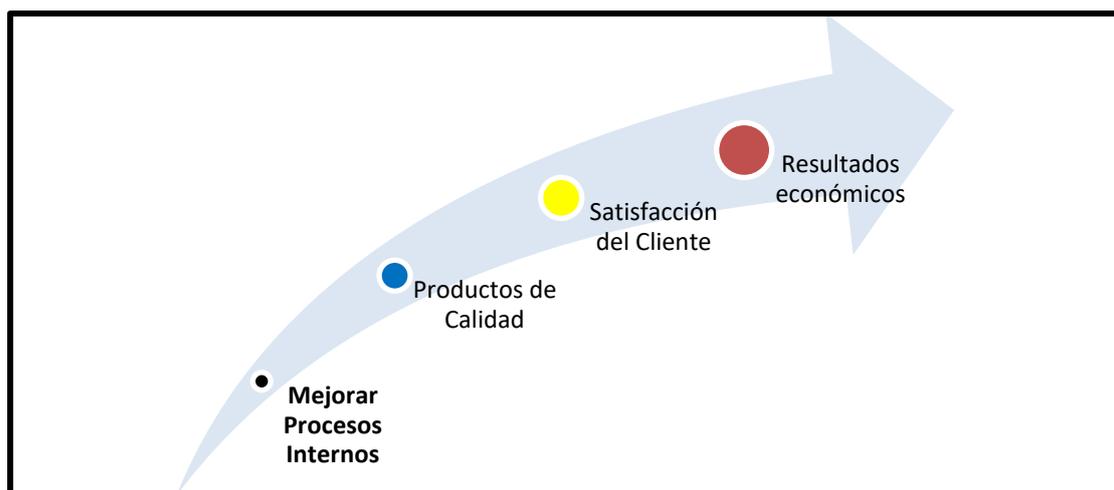
Tabla N° 5-1 : Costos desgregados para la propuesta de mejora	98
Tabla N° 5-2 : Consideraciones de las variaciones de los distintos escenarios.....	100
Tabla N° 5-3 : Ingresos y egresos proyectos para el período 2017 - 2021.....	100
Tabla N° 5-4 : Ingresos y egresos proyectos del período 2017 - 2021.....	100
Tabla N° 5-5 : Ingresos y egresos proyectados del período 2017 - 2021.....	101
Tabla N° 5-6 : Indicadores financieros para cada escenario	101
Tabla N° 5-7 : Matriz de Leopold	102

INTRODUCCIÓN

Con el paso de los años, la demanda de los clientes por productos de calidad que puedan satisfacer su cambiante necesidad hace que las empresas ofrezcan mejores productos, elevando su nivel de competitividad. Muchas de las empresas no tienen un enfoque de proactividad en sus operaciones que apliquen políticas o procedimientos para la mejora de sus procesos. Aquellas empresas tienen una gran probabilidad de perder participación en su rubro de trabajo, o inclusive dejar de operar; puesto que el ambiente de trabajo es cada vez más competitivo. Esa existente necesidad de satisfacer a clientes cuyas exigencias son cada vez mayor se refleja en la actualidad con la importancia dada a la mejora de los procesos y el control de calidad, sea desde el enfoque de producción como cumplimiento de normatividad de los países donde se trabaja¹.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo fundamental presentar una propuesta de mejora el proceso de producción de la empresa, garantizando así la calidad del producto terminado y la satisfacción del cliente.

Figura N° 0-1: Consecuencia de la mejora de procesos



Fuente: Elaboración Propia

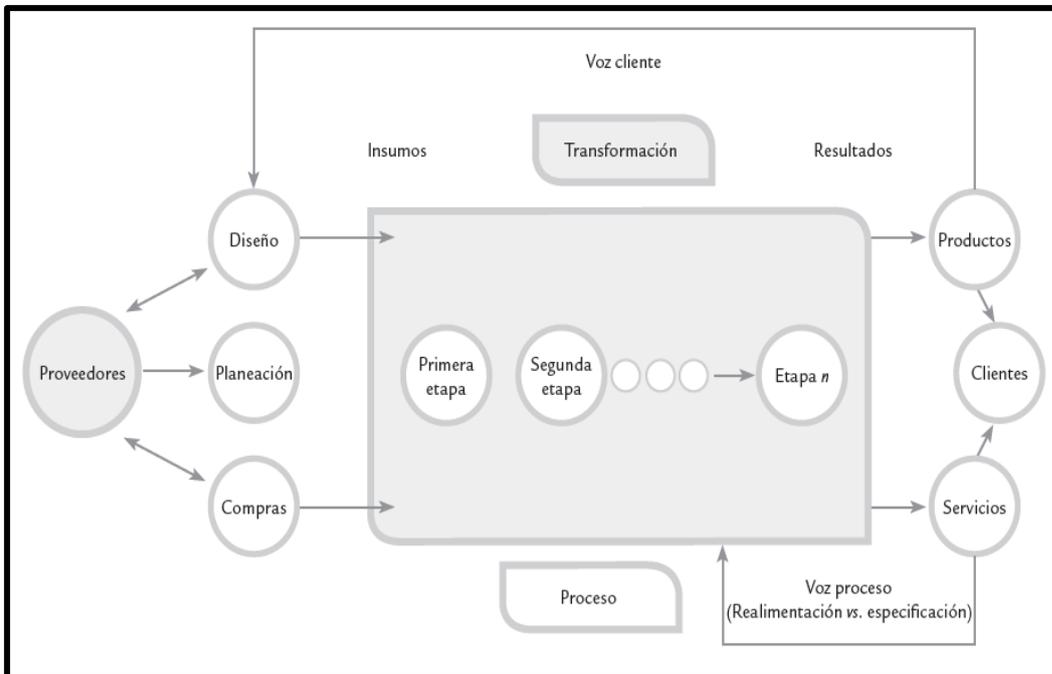
¹ Cfr. Artamonava 2014: 53

1. CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

1.1 Definición de proceso

La funcionalidad de las empresas se basa en proveer productos, sea tangible o intangible, un bien o un servicio, con características específicas que satisfagan las necesidades y expectativas que tiene un cliente o grupo de ellos. Estos productos son resultado de un *proceso*, el cual define como un conjunto de actividades interrelacionadas que reciben determinados insumos de entradas (*inputs*) que luego son transformados en resultados o salidas (*outputs*) o en un producto. Un proceso puede estar conformado por varias etapas o subprocesos. Los resultados pueden ser un producto en sí o alguna modificación de los insumos, que a su vez será una entrada para otro proceso; es decir, para clientes internos del proceso. (Gutiérrez 2013:4)

Figura N° 1-1 : Esquema de un proceso



Fuente: Gutiérrez 2013

1.1.1 Capacidad de un proceso

Las variables de salida de un proceso están orientadas a cumplir con ciertas metas y/o especificaciones, a fin de que se pueda considerar que el proceso funciona de manera satisfactoria. Para ello, se debe conocer la capacidad o habilidad de un proceso, que consiste en determinar la amplitud de la variación natural del proceso para una característica de calidad específica. Al poder determinar se podrá saber en qué medida tal característica de calidad es satisfactoria². Para un correcto estudio y muestreo de la capacidad de un proceso, Gutiérrez recomienda:

“El periodo de referencia depende de la velocidad del proceso, ya que si se trata de un proceso masivo que produce muchas piezas por día, entonces se considera un periodo de cuatro a 10 días, y de ahí, cada determinado tiempo se toma una pequeña cantidad de productos hasta completar una muestra de 120 a 150. Pero cuando se trata de un proceso lento, que produce pocos productos por día, es necesario incrementar el periodo de estudio para completar una muestra de por lo menos 50 o 60 productos. En ambos casos, en la medida que se tengan más datos y un periodo más amplio será posible conocer mejor el estado real del proceso.” (Gutiérrez 2013:17)

Dónde queda explicado que la capacidad de muestra dependerá de la velocidad de producción, cuando se trate de:

- Proceso masivo
- Proceso lento

Si bien no se ha establecido un criterio concreto para la selección de muestras o método de muestreo, en la sección sobre Six Sigma se habla más a detalle sobre el tema.

1.2 Definición del Termoformado

Por Termoformado, o termoconformado como lo llaman algunos autores, se entiende al proceso por el cual se calienta el polímero o compuesto plástico para luego recibir una

² Cfr. Artamonova 2014: 54

deformación física. En el caso del presente trabajo se trabajará sobre PVC³, y adoptará la forma del molde según sea la necesidad de producción.

1.2.1 Normalización

Como punto de referencia para la implementación y control de la producción se tomará como base las NTP que hacen mención a la producción del sector. Según el Comité Técnico de Normalización de Tubos, Válvulas y Conexiones de Material Plástico para el Transporte de fluidos del INDECOPI, el uso de las tuberías PVC en el mercado peruano se rige bajo la siguiente Norma Técnica Peruana:

NTP ISO 1452-3:2012: TUBOS Y CONEXIONES DE POLI (CLORURO DE VINILO) NO PLASTIFICADO (PVC-U) PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA, DRENAJE Y ALCANTARILLADO, ENTERRADO O AÉREO CON PRESIÓN. Parte 3: Conexiones. 1a. ed.

Asimismo, cabe la importancia de resaltar que la temperatura de transición vítrea – o temperatura en la que el accesorio empieza a perder su rigidez – está dada por la siguiente Norma Técnica Peruana:

NTP ISO 2507-2:1999 (Revisada el 2014) NORMATIVA PARA PRUEBAS DE TEMPERATURA DE VICAT.

Ambos documentos sirven de referencia para posteriores análisis pero por no ser productos inyectados por máquina de manera directa no necesariamente son obligatorios en tema de medición y control.

1.3 Metodologías referenciales para la mejora de los procesos

Si bien existen numerosas metodologías o herramientas con las que mejorar los procesos productivos, sólo unas pocas tienen un gran impacto en toda la organización. Las grandes organizaciones se dan cuenta de que el potencial de la metodología Lean Six Sigma

³ Cfr. Middleton 2010: 138

(LSS), la cual es una mezcla del enfoque Six Sigma y técnicas Lean, puede mejorar la eficacia de los procesos. La metodología LSS adopta el ciclo de mejora del Six Sigma (DMAIC) y las herramientas de Lean y técnicas se sinergia en las etapas apropiadas⁴.

Según Chiarini⁵, la combinación de la "velocidad", introducida por Lean y la capacidad del Six Sigma para reducir la variación, hacen que el Lean Six Sigma sea un sistema muy bien definido. Por un lado, Six Sigma valida los resultados de los proyectos que miden el nivel sigma o variación alrededor de la meta a alcanzar; mientras que Lean es más centrado en el concepto de control visual y eliminación o reducción de desperdicios asociados al proceso.

Asimismo, es importante recalcar que existen empresas peruanas que implementaron con éxito la metodología del Six Sigma en sus procesos y hoy en día son empresas muy competitivas en sus rubros de trabajo respectivos⁶.

En el presente trabajo se toma como referencia herramientas y conceptos claves de las 2 metodologías (Lean Manufacturing y Six Sigma) que, trabajando en sinergia permitirán mejorar el proceso productivo en estudio.

Los beneficios de esta sinergia en las organizaciones no sólo se ven reflejado en una mejor gestión de sus recursos, sino también en la rápida respuesta a las necesidades de los clientes⁷.

1.4 Metodología Lean Manufacturing

El Lean Manufacturing es un sistema integrado de mejora de procesos, cuyo objetivo principal está diseñado para eliminar desperdicios en todas las áreas, desde la producción

⁴ Cfr. Ghosh 2013: 172

⁵ Cfr. Chiarini 2011: 347

⁶ Dichas empresas son: Telefónica S.A, Ferreyros S.A y BHK (Cfr. PAD 2011: 85)

⁷ Cfr. Debusck 2010: 7

hasta la relación con los clientes, diseño de productos, red de proveedores y administración de la planta; es decir, eliminar desperdicios o actividades que no agregan valor al cliente. Al realizar dicha tarea de eliminar desperdicios la calidad aumenta mientras que los tiempos y costos de producción disminuyen en muy poco tiempo.⁸ Al respecto, Quarterman afirma que el Lean Manufacturing tiene como objetivo principal el incorporar el menor esfuerzo humano, menor cantidad de inventario, menor tiempo de desarrollo de productos, y menor espacio para volverse más eficientes en la respuesta a la demanda de los clientes mientras se produce productos de calidad de la manera más eficiente y económica posible⁹.

Según Marvel¹⁰, Lean no aborda una cuestión importante: proporcionar evidencia de que una transformación del nuevo sistema garantizará el rendimiento esperado en referencia a los objetivos antes de su implementación, lo que hace que aumente el riesgo y confianza del personal. Esto se debe a que la implementación requiere un esfuerzo mayor del personal, despidos por identificación de recursos innecesarios, mayores costos por la mejora misma, etc. Es decir se crea un ambiente de incertidumbre que puede no garantizar el éxito de la implementación.

Por lo tanto, la aplicación de la estrategia adecuada en el momento adecuado para los fines adecuados es muy importante. Para Arif-Uz-Zaman, el éxito de cualquier estrategia de gestión, como el Lean Manufacturing en particular, depende normalmente de las características de la organización, lo que implica que todas las organizaciones deben o no pueden poner en práctica un conjunto similar de estrategias en su caso particular¹¹.

⁸ Cfr. Tejeda 2011: 282

⁹ Cfr. Quarterman 2009: 16

¹⁰ Cfr. Marvel 2009: 91

¹¹ Cfr. Arif-Uz-Zaman 2013: 172

De igual manera, Sim¹² destaca que la aplicación efectiva del Lean Manufacturing implica cambios culturales en las organizaciones, nuevos enfoques para el producto y servir a los clientes, y un alto grado de formación y capacitación de los empleados, desde la alta dirección a la planta de producción, es decir, un cambio y compromiso global en toda la empresa.

1.4.1 Principios de Lean Manufacturing:

En el camino de lograr generar un valor óptimo al proceso, el Lean Manufacturing emplea diferentes herramientas y principios para reducir los desperdicios y actividades que no agreguen valor¹³.

Según Arif-Uz-Zaman, la metodología del Lean se basa en los siguientes principios:

- La identificación del valor definido para los clientes
- La optimización de la cadena de valor.
- Permitir el flujo de valor mediante el control y la eliminación de desechos.
- Activar el tirón de la demanda (Pull) mediante la sincronización de la demanda de los clientes y el flujo de información.
- La perfección de todos los procesos y servicios de los productos.

A continuación, se detalla los principios:

- *Identificación del valor definido para los clientes:* El valor es lo que satisface las necesidades de los clientes, es por lo que está dispuesto a pagar. Es fundamental entender cuáles son los requisitos del cliente.
- *Optimización de la cadena de valor:* Dicho principio consiste en estudiar todas las operaciones del proceso de producción en tres niveles:
- *Planificación del proceso:* Desde el concepto de diseño e ingeniería hasta su lanzamiento.

¹² Cfr. Sim 2009: 39

¹³ Cfr. Engum 2009: 16

- Flujo del proceso: Desde el flujo de información cuando se recibe la orden de producción hasta que se despacha.
- *Totalidad de operaciones*: Desde el flujo físico de la materia prima hasta ser elaborado como un producto terminado en las manos del cliente.
- *Eliminación de los desechos o despilfarro*: El desperdicio o muda es considerada como toda aquella actividad que no agregue valor al proceso productivo ni es percibido por el cliente. El objetivo principal de Lean es eliminar todo tipo de desperdicio. Inicialmente, se consideraba desperdicio a 7 puntos que excedieran la cantidad mínima de equipos, materiales, partes, espacio, mano de obra, absolutamente esencial para añadir valor al producto. Un octavo desperdicio fue añadido por Womack en 2003¹⁴.

A continuación, las 8 mudas se detallan, según La Rotta¹⁵:

- *Sobreproducción*. Hacer el producto antes, más rápido o en cantidades mayores a las requeridas por el cliente, ya sea interno o externo.
- *Demoras o tiempo de espera*. Operarios o clientes esperando por material o información.
- *Inventario*. Almacenamiento excesivo de materia prima, en proceso o terminada. Éstas ocupan espacio y requieren de instalaciones adicionales para su mantenimiento.
- *Transporte*. Mover material en proceso o producto terminado de un lado a otro. No agrega valor al producto.
- *Defectos*. Reparación de un material en proceso o repetición de un proceso.
- *Desperdicios de procesos*. Esfuerzo que no agrega valor al producto o al servicio desde el punto de vista del cliente.
- *Movimiento*. Cualquier movimiento de personas o máquinas que no agreguen valor al producto o servicio.

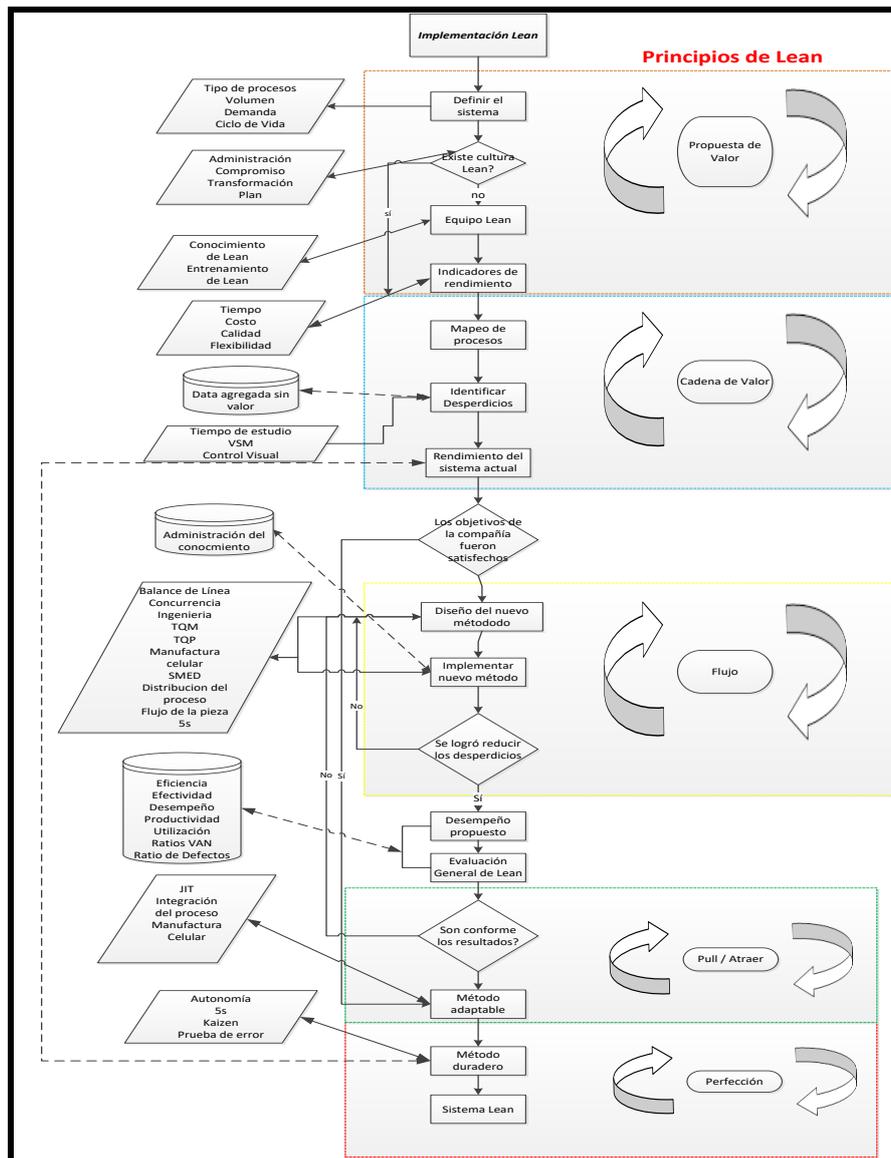
¹⁴ Cfr. Jones 2003: 16

¹⁵ Cfr. La Rotta 2011: 398

- Sub-utilización del personal¹⁶. Cuando no se utilizan las habilidades y destrezas del personal (habilidad creativa, física y mental).

El siguiente flujo clarifica las acciones y requisitos en los 5 principios fundamentales del Lean Manufacturing, según las recomendaciones de Ariz-Uz-Zaman¹⁷:

Figura N° 1-2 : Diagrama de flujo para la implementación de un sistema Lean



¹⁶ Inicialmente se habló de 7 mudas, pero luego una 8va muda se añadida y es la subvaloración del personal. (Cfr. Jones 2003: 18)

¹⁷ Cfr. Ariz-Uz-Zaman 2013: 176

Fuente: Adaptación de Ariz-Uz-Zaman 2013

1.4.2 Elementos de Lean Manufacturing

Tejeda afirma que existen 4 elementos básicos sobre los que se deben coordinar y mejorar para que toda la implementación del nuevo sistema para que pueda trabajar acorde a lo planificado: el diseño e ingeniería del producto, la cadena de suministro, la demanda y el cliente¹⁸.

El área de diseño se basa en la colaboración de equipos formados por miembros de los diferentes departamentos de la empresa, guiados por líderes con experiencia, donde la comunicación tiene un peso importante y la concordancia de decisiones es fundamental. La coordinación en la cadena de suministro para poder tener todo el material a tiempo con buena calidad y bajos precios.

En la metodología Lean lo más importante es el cliente, de nada vale fabricar de la manera más eficiente un producto que el cliente no requiere.

Las empresas deben adaptarse a las demandas cambiantes de los clientes y tener la capacidad de respuesta para atender dicha demanda.

1.4.3 Mapeo de la Cadena de Valor (VSM)

El Mapeo del flujo de valor (VSM) es una herramienta que mediante íconos y gráficos muestra en una sola figura la secuencia y el flujo de material e informaciones de todos los componentes y sub-ensambles en la cadena de valor que incluye manufactura, proveedores y distribución al cliente del producto terminado. Esta herramienta visual no solo ve un proceso en determinado, sino que presenta una imagen global de todo el sistema productivo en el que se busca optimizarlo por completo¹⁹.

En la Figura N° 1.3 se presenta los íconos básicos para el correcto dimensionamiento de un VSM en una organización:

¹⁸ Cfr. Tejeda 2011:13

¹⁹ Cfr. Dixon 2008: 22

Figura N° 1-3 : Representaciones usuales para la elaboración del VSM

Icono	Nombre del Icono	Descripción
	Transporte Camión	Indica una entrega al cliente o la llegada de un proveedor
	Proveedor / Cliente	Indica e identifica a los clientes como a los proveedores
	Nº de Operarios	Indica si uno o más operarios están presentes en la etapa del proceso
	Inventario	Identifica inventario de materia prima, producto en proceso o bienes terminados
	Proceso	Describe una actividad en la cadena de valor
	Transmisión de información manual	Indica que la información es transmitida manualmente
	Embarque/desembarque	Indica cuando un producto en estado terminado se ha movido en la cadena de valor.
	Empuje de Material	Indica cuando un material ha sido empujado a través del proceso. Usualmente es debido a un plan u horario.
	Trasmisión de información Electrónica	Indica que la información es transmitida electrónicamente
	Caja de datos	Se utiliza para poner datos relevantes de acuerdo a la estación, tales como ritmo de producción.
	Tiempo de Ciclo	El tiempo que utiliza una etapa del proceso en terminar una unidad
	Oportunidad de Mejora	Indica la necesidad de una mejora para una etapa de la cadena de valor

Fuentes: Adaptación de Claros 2012: 2

Uno de las principales virtudes del VSM es que se utiliza como guía para iniciar la implementación de las mejoras y mapear una situación futura o ideal. Al respecto, Claros nos dice que el VSM puede emplearse en 2 situaciones determinadas²⁰:

Mapa de la situación actual: Representa como están los desempeños de los procesos en el ambiente actual de trabajo, bajo las condiciones actuales.

Mapa de la situación futura: Representa la visión de cómo el equipo de proyecto ve la cadena de valor en un determinado futuro luego de las mejoras realizadas.

²⁰ Cfr. Claros 2010:3

La situación futura se hace respondiendo a una serie de preguntas, que ayudan a entender el flujo actual y lograr crear un flujo continuo entre todos los procesos. Por último, se hace la definición e implementación del plan de trabajo, detallado por año y meses para alcanzar el mapa futuro²¹.

Para la aplicación del VSM en cualquier tipo de organización, Claros afirma que se ha de dividir en 4 etapas el proceso de elaboración:

Paso 1: Determinar la familia del proceso

La familia de procesos son aquellos grupos de productos o servicios que tienen los mismos pasos de elaboración dentro de la compañía

Paso 2: Seleccione la familia de proceso particular que se concentrará en el mapa del estado actual

La selección puede ser basado en los siguientes criterios: mayor retorno de la inversión, la reducción más grande de tiempo de espera o inventario, mayor impacto para el cliente, mayor probabilidad de éxito, más visible a los interesados, la nueva línea de productos, volumen o cantidad.

Paso 3: Trazar o dibujar el mapa del estado actual

Para ello es necesario recolectar la información por caminatas a través del flujo real y entrevistas a las personas que realizan la tarea. La información recolectada debe ser: tiempo de ciclo o tiempo del proceso, fiabilidad de los equipos, número de operarios y cambios de turno, niveles de inventario, tiempos de espera, etc.

Una vez recolectada toda la información es el momento de trazar el mapa del estado actual, utilizando los símbolos básicos y rellenar los datos que se requieren. El flujo de información va desde el cliente hacia la empresa y va desde la empresa hacia los proveedores. Este flujo se asigna de derecha a izquierda en la parte superior de la hoja de trabajo. La validación del mapa es crítica para garantizar el funcionamiento correcto del futuro VSM²².

²¹ Cfr. Engum 2009: 16

²² Cfr. Claros 2010: 4

Paso 4: Dibujar o trazar el mapa del estado futuro o esperado

Aquellos tiempos que no agreguen valor son los residuos y se identifican las posibles áreas de mejora como claras oportunidades de mejora. Un nuevo mapa se puede crear que muestra todas las mejoras posibles.

Para la validación de la información recopilada del VSM y recibir feedback, Arvind²³ nos recomienda usar el siguiente cuadro – encuesta, presentado en la Figura N° 1.4:

Figura N° 1-4 : Modelo de encuesta para validación del mapa construido VSM

Retroalimentación en la aplicación del VSM para lograr el Lean Manufacturing											
Nombre	_____										
Cargo	_____										
Compañía	_____										
Fecha	_____										
1 Usted ha evidenciado el mapa actual desarrollado para el proceso..., ¿Cree usted que el mapa presentado se aproxima a la realidad?											
1		2		3		4		5		10	
No lo percibe				Parcialmente				Completamente			
2 Usted ha evidenciado el futuro mapa de valor del proceso..., ¿En que medida cree usted que el futuro mapa de valor pueda ser factible en la realidad?											
1		2		3		4		5		10	
No lo percibe				Parcialmente				Completamente			
3 ¿Hasta qué punto cree usted que la aplicación del futuro VSM es beneficioso para la organización?											
1		2		3		4		5		10	
No lo percibe				Parcialmente				Completamente			

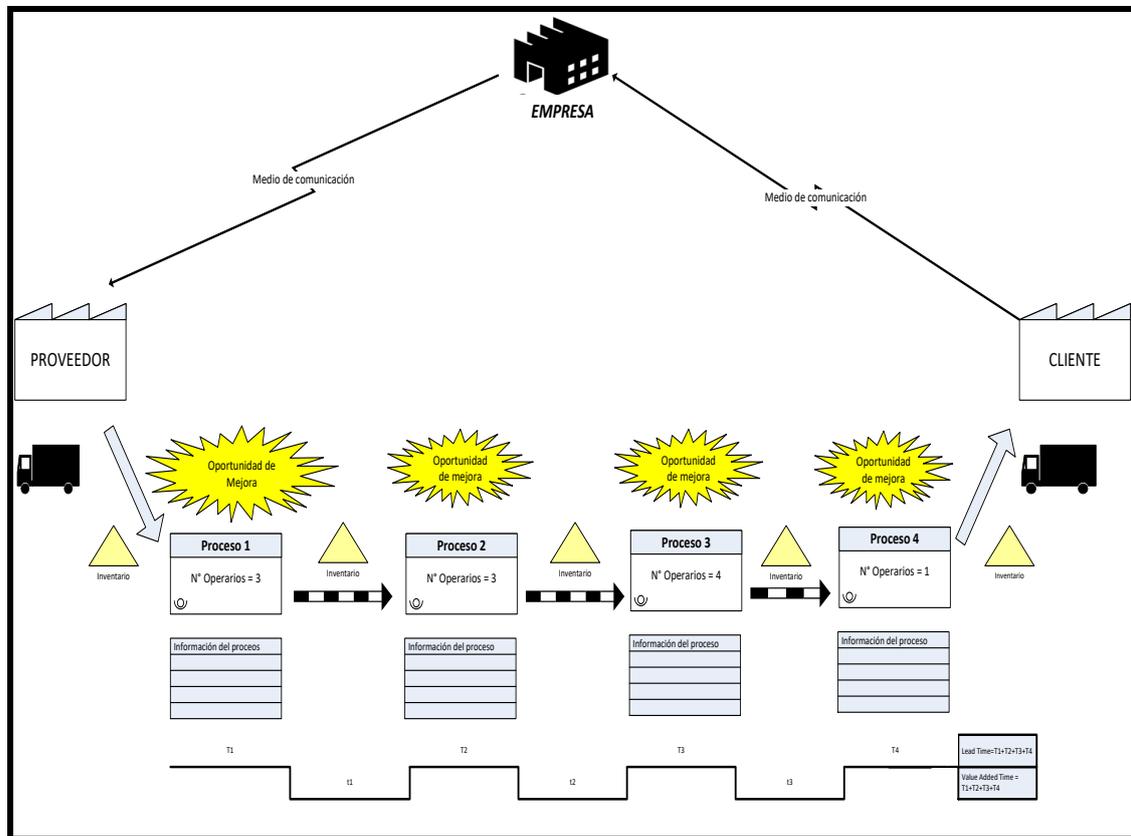
Fuente: Adaptación de Arvind 2012: 896

El cual debe ser utilizado tanto en los operarios como con los supervisores de los puestos de trabajo. La realización de la consulta ha de ser tanto para el VSM actual como para el propuesto como mejora.

²³ Cfr. Arvind 2012: 896

Una vez comprobada la información, se ha elaborar y presentar a los interesados el VSM. En la Figura N° 1.5 se muestra el modelo de un VSM²⁴:

Figura N° 1-5 : Ejemplo de esquema de un VSM en planta manufacturera



Fuente: Elaboración Propia

1.4.4 Manufactura celular

La manufactura celular es una forma de organizar un proceso para un producto en particular o para productos similares en un grupo o celda en forma de U, en que se incluyen toda la maquinaria, equipo y operadores necesarios.

Asimismo, ofrece una serie de ventajas importantes, como la reducción de los plazos de entrega y los inventarios de trabajos en proceso y la reducción de la configuración de máquina por veces debido a la similitud de los tipos de piezas producidas²⁵. Sin embargo,

²⁴ Cfr. Dixon 2008: 5

²⁵ Cfr. Islier 2011: 533

un punto crítico para el diseño celular es que su efectividad radica en que sólo es eficaz²⁶ cuando las familias de productos son suficientemente estables y los volúmenes de producción son relativamente grandes o fáciles de mover y las estaciones de máquinas son reconfigurables lo que supone implícitamente una rapidez para la célula. Para lograr la flexibilidad necesaria, se requieren tres factores muy importantes: una apropiada disposición de la maquinaria en la planta, empleados aptos y una evaluación continua de la distribución de las operaciones a los operarios.

1.5 Metodología Six Sigma

Según Antony²⁷, una de las definiciones que se le atribuye al Six Sigma es la búsqueda de la “casi perfección en el cumplimiento de los requisitos del cliente”. Esta metodología se centra en el cliente, usa hechos y datos para ofrecer mejores soluciones. De acuerdo a Stephen²⁸, el nombre del Six Sigma proviene de la habilidad del proceso manufacturero en producir altas cantidades de los productos con las especificaciones dadas. En dicho contexto, el Six Sigma es usado para eliminar defectos e ineficiencias en un proceso o servicio. Una de las metas principales es eliminar todo aquello que no aporte valor a las necesidades del cliente. Por lo tanto, una de las tareas del Six Sigma es establecer qué es importante para el cliente, es decir qué es crítico para que el cliente pueda percibir la calidad del producto²⁹. Esta información está referida como Crítico de la Calidad (CTQ).

Cuando se identifican correctamente los CTQ, se puede emplear el Six Sigma como iniciativa principal para mejorar los procesos y estandarizar la calidad. Según Rabee’a³⁰, los beneficios de las iniciativas de mejora del proceso se argumentan a partir de su potencial para:

²⁶ Cfr. Tejeda 2011: 293

²⁷ Cfr. Antony 2012: 32

²⁸ Cfr. Stephen 2009: 19

²⁹ Cfr. Sharma 2013: 296

³⁰ Cfr. Rabee’a 2012: 99

1. Aumentar la satisfacción del cliente mediante la mejora de la calidad del producto;
2. Reducir los costos de producción mediante la reducción de los costes asociados con la mala calidad

Según Mellat, el Six Sigma no sólo es útil para seguir el enfoque tradicional de reducción de variación, sino también puede ser empleado como herramienta de innovación y mejor desempeño del personal:

“Six Sigma se ha centrado tradicionalmente en la reducción de costos y en la eficiencia; sin embargo, estudios recientes muestran que podría ser utilizado como una metodología para aumentar la rentabilidad. Asu vez, podría conducir la creatividad, mejorar el aprendizaje organizacional y facilitar la innovación. En cuanto a la variación en el rendimiento, el equipo que trabaja la metodología del Six Sigma exhibe el más alto nivel de variación de aprendizaje entre los diferentes grupos en una organización” (Mellat 2011: 49)

Donde queda explicado que no sólo trae beneficios por una mejora propia del proceso, sino también incluye nueva mentalidad del personal y una posibilidad de innovación apuntando a un mercado.

Refiriendo a las metodologías existentes, el Six Sigma utiliza 2 metodologías definidas: DMAIC y DMADV.

Por un lado, el DMAIC define 5 pasos: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. Este tipo de metodologías se usa cuando se requiere mejorar un proceso existente. Por otro lado, el DMADV: Definir, Medir, Analizar, Diseñar y Verificar, se emplea cuando un nuevo proceso o servicio es requerido³¹.

Debido a que la finalidad del presente trabajo es realizar una mejora del proceso, se ha de emplear específicamente la metodología DMAIC. Si bien es cierto que diferentes autores recomiendan seguir una metodología para el DMAIC, el presente trabajo presentará una

³¹Cfr. Carter 2010: 58

modificación en lo que respecta al mapeo del flujo de trabajo. Se utilizará el VSM en lugar del Diagrama del Flujo del Proceso³², con el fin de facilitar la información referida a la utilización de recursos en cada etapa del proceso.

1.5.1 Ciclo de mejora continua DMAIC

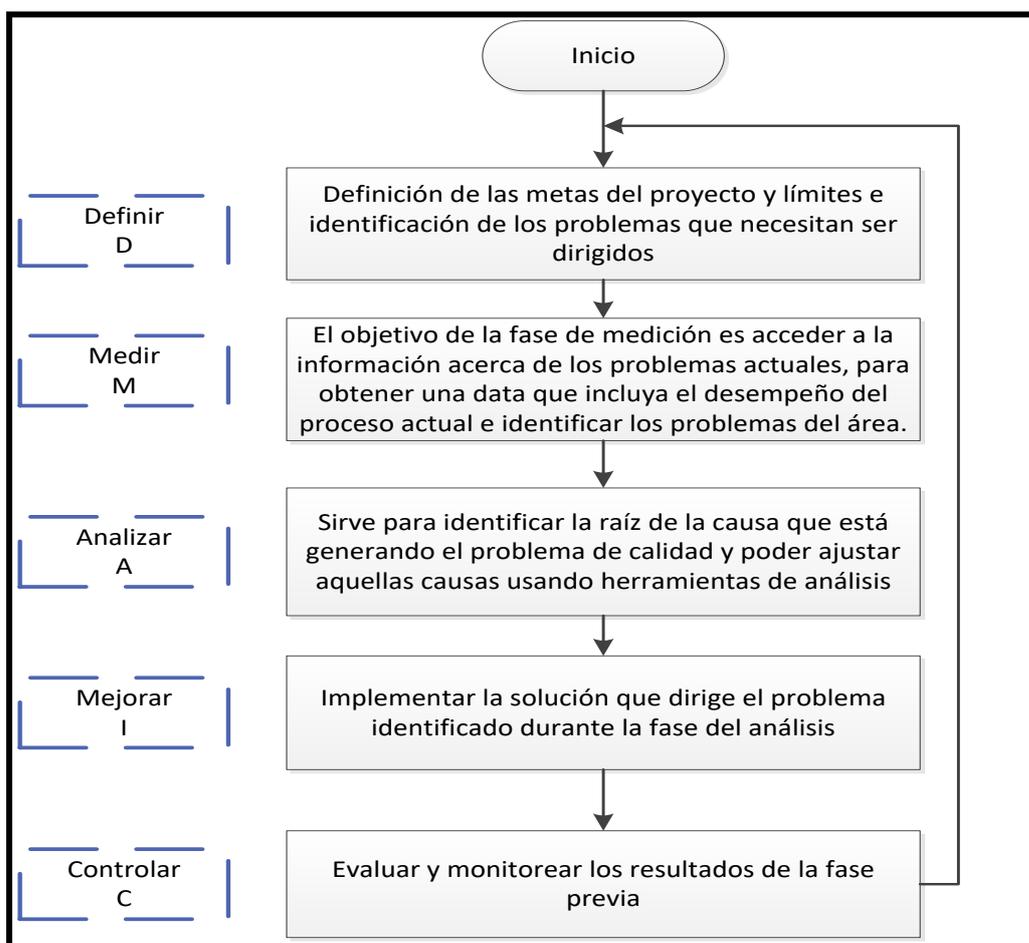
El objetivo puntual del Six Sigma (a través del DMAIC) es que se busca mejorar drásticamente el producto y la calidad del mismo mediante la correcta comprensión de las relaciones entre los insumos de un producto o proceso y los indicadores que definen el nivel de calidad del producto o proceso. El ciclo de mejora DMAIC se aplica cuando la causa del problema es desconocido o no está claro, existe la potencial posibilidad de lograr un ahorro y el proyecto se puede realizar en un lapso de 4 – 6 meses.³³

A continuación se muestra un flujo dónde se presentan los 5 pasos para la metodología DMAIC:

³² Cfr. Claros 2010: 5

³³ Cfr. Zare 2011: 80

Figura N° 1-6 : Flujo con los pasos de la metodología DMAIC



Fuente: Adaptación de Zare 2011: 81

En lo referido a los pasos recomendados en cada etapa, Kumar³⁴ comenta:

- Definir: En esta etapa se ha de enfocar el proyecto. Consiste en la definición del problema o la selección del proyecto con la finalidad de entender la situación actual y definir objetivos que deben estar alineados con las políticas de la organización. Dichos objetivos deben ser medibles, alcanzables y con beneficios. Asimismo en esta etapa se seleccionarán los equipos de trabajo.

³⁴ Cfr. Kumar 2009: 257

- Medir: Consiste en la definición y descripción del proceso, con el fin de poder entender y cuantificar con data el impacto del problema identificado. Además se hace una evaluación de los sistemas de medición para evaluar el éxito del proyecto.
- Analizar: Se busca identificar las causas raíz del problema, para identificar las causas se utiliza Ishikawa, los cinco por qué, etc. Asimismo, se entiende cómo es que se genera el problema.
- Mejorar: En esta etapa se propone soluciones a la problemática previamente identificada. Si el proceso no es capaz, se deberá optimizar el mismo para reducir su variabilidad (sigma). Además, se debe realizar la validación de la mejora a través de una medición actual de la capacidad del proceso.
- Controlar: Una vez que las mejoras fueron alcanzadas, es decir acorde a los objetivos, se busca diseñar un sistema que garantice la continuidad en el tiempo.

En el siguiente recuadro se muestra las herramientas recomendadas por Zare³⁵ para una mejor aplicación de la metodología DMAIC.

Tabla N° 1-1 : Herramientas para la implementación del DMAIC

Pasos DMAIC	Pasos que deben ser tomados	Herramientas que deben ser usadas
Definir	Definir clientes y sus necesidades (CTQ)	Project Charter
	Desarrollar planteamiento del problema	Flujo del Proceso
	Identificar los miembros del equipo	SIPOC
	Definir recursos	Análisis de Interesados
	Desarrollar el proyecto con sus hitos	EDT
	Desarrollar mapeo de procesos	

³⁵ Cfr. Zare 2011: 82

Pasos DMAIC	Pasos que deben ser tomados	Herramientas que deben ser usadas
Medir	Definir defectos, oportunidades, unidades y medidas	Flujo del Proceso
	Mapear las áreas apropiadas al proceso	Recolección de datos
	Recolección de datos	Voz del cliente (interno, externo)
	$y = f(x)$	Cálculo del sigma
	Determinar la capacidad del proceso	
Analizar	Definir el desempeño de los objetivos	Histograma
	Identificar los pasos que no agreguen valor	Diagrama de Pareto
	Identificar las fuentes de variación	Series de tiempo
	Determinar la causa raíz	Diagrama de Ishikawa
	Determinar las causas raíz principales y la relación con el problema	Análisis de regresión
		Cinco por qué
Análisis estadístico		
Mejorar	Desempeño del diseño de experimentos	Lluvia de ideas
	Desarrollar potenciales soluciones	AMFE
		Casa de la Calidad
Control	Definir y validar el sistema de control	Cálculo del sigma
	Desarrollar procedimientos estandarizados	

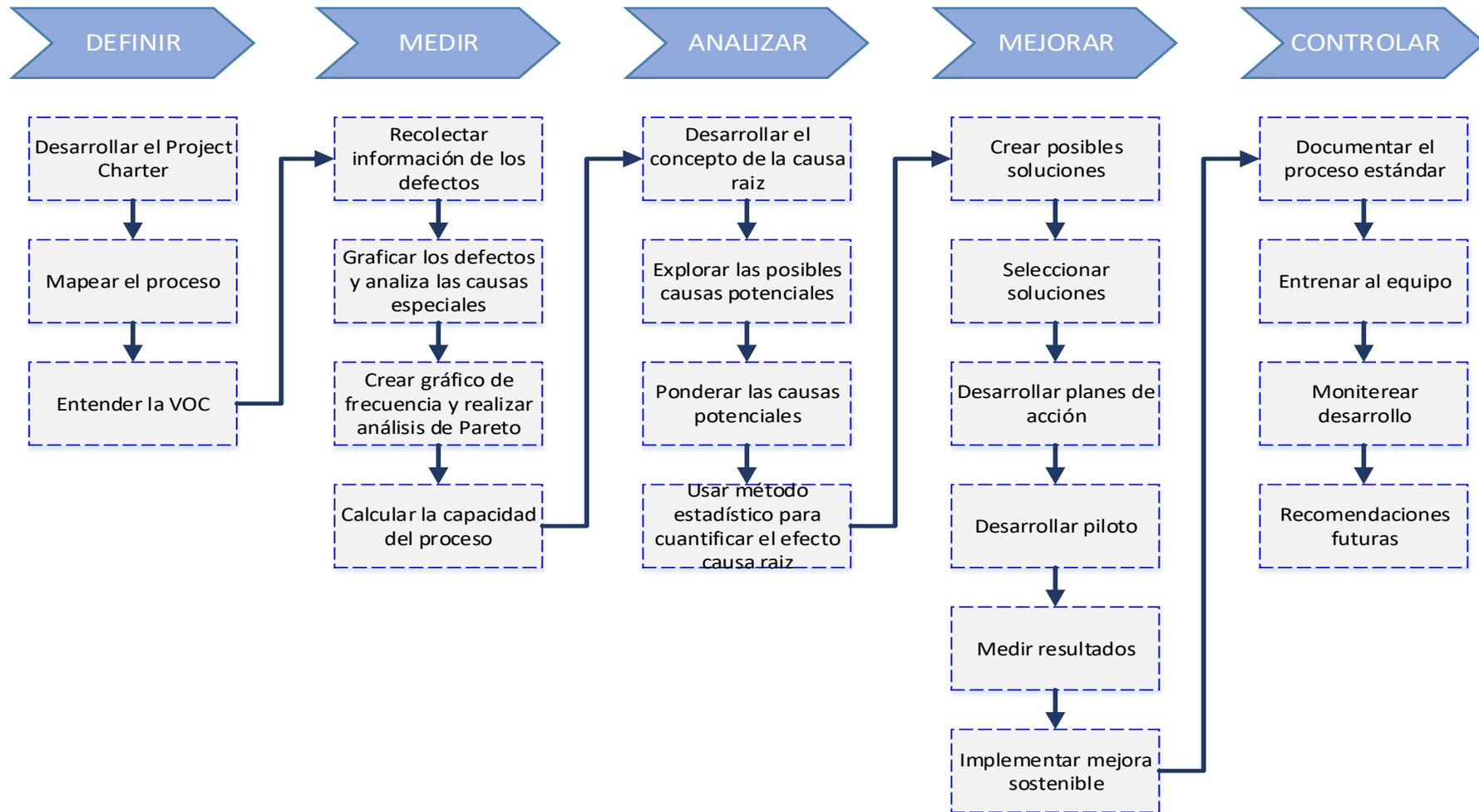
Pasos DMAIC	Pasos que deben ser tomados	Herramientas que deben ser usadas
	Implementar control estadístico de procesos	Gráfica de Control
	Determinar la nueva capacidad del proceso	
	Transferir plan a los dueños del proceso	Calculo del costo-beneficio
	Verificar beneficios	

Fuente: Adaptación Zaré 2011: 82

De la misma manera Brassar señala puntos importantes inherentes a cada una de las etapas para una correcta implementación del ciclo de mejora DMAIC³⁶, para ello nos sugiera el siguiente flujo, planteado en la figura 1.7:

³⁶ Cfr. Brassar 2002: 18

Figura N° 1-7 : Flujo de proceso para implementar el DMAIC



Fuente: Adaptación de Brassar

1.5.2 Índices de Capacidad

En términos matemáticos, Six Sigma se puede definir como una función de transferencia: $y = f(x_1; x_2; \dots; x_n)$; entre las métricas de calidad de un producto o proceso y las entradas que definen y controlan el producto o proceso.³⁷

Según Kumar, Six Sigma se centra en 2 ámbitos, como se muestra a continuación:

Entender cuáles de los insumos (x's) tienen mayor efecto en las métricas de salida (y's)
Controlar esas entradas de modo que las salidas se mantengan dentro de las especificaciones de los límite superior y / o inferior.

Al respecto, Gutierrez³⁸ afirma que el índice de capacidad de un proceso consiste en una comparación entre la variabilidad natural y la variabilidad especificada. En dicho sentido, se define el índice de capacidad del proceso C_p , conocido también potencial del proceso.

La definición de capacidad de un proceso puede expresarse como:

$$C_p = \frac{ES - EI}{6\sigma} = \frac{\text{Variación Tolerada}}{\text{Variación Real}}$$

Donde:

ES: Especificación superior

EI: Especificación inferior

σ : Desviación estándar del proceso

Para la correcta lectura del índice C_p , se utilizará el siguiente cuadro propuesto por Gutiérrez:

³⁷ Cfr. Kumar 2009: 55

³⁸ C fr. Gutierrez 2013: 130

Tabla N° 1-2 : Valores del C_p y su interpretación

Valor del índice C_p	Clase o Categoría	Decisión
$C_p \geq 2$	Clase mundial	Se tiene calidad Six Sigma
$C_p > 1,33$	1	Adecuado
$1 < C_p < 1,33$	2	Parcialmente adecuado, requiere control estricto
$0,67 < C_p < 1$	3	No adecuado para el proceso
$C_p < 0,67$	4	No adecuado para el trabajo, cambio inmediato

Fuente: Gutiérrez 2013: 99

Para aquellos casos que el valor nominal de la especificación no se encuentre centrado se ha de utilizar el C_{pk} :

$$C_{pk} = \min\left[\frac{\mu - EI}{3\sigma}, \frac{ES - \mu}{3\sigma}\right]$$

Para dichos casos, la definición de capacidad de un proceso puede expresarse como:

$C_{pk} > 1.25$: Capacidad satisfactoria

$C_{pk} < 1.25$: Proceso no capaz

Para ambas situaciones, el proceso dará lugar a una característica capaz de satisfacer la especificación de calidad, encontrándose la incidencia mayor parte (más del 99.73%) del producto resultado del proceso dentro de tolerancia $(\mu \pm 3\sigma)^{39}$.

³⁹ Cfr. Orlandoni 2012: 273

1.6 Herramientas adicionales

1.6.1 Diagrama de Causa – Efecto (Ishikawa)

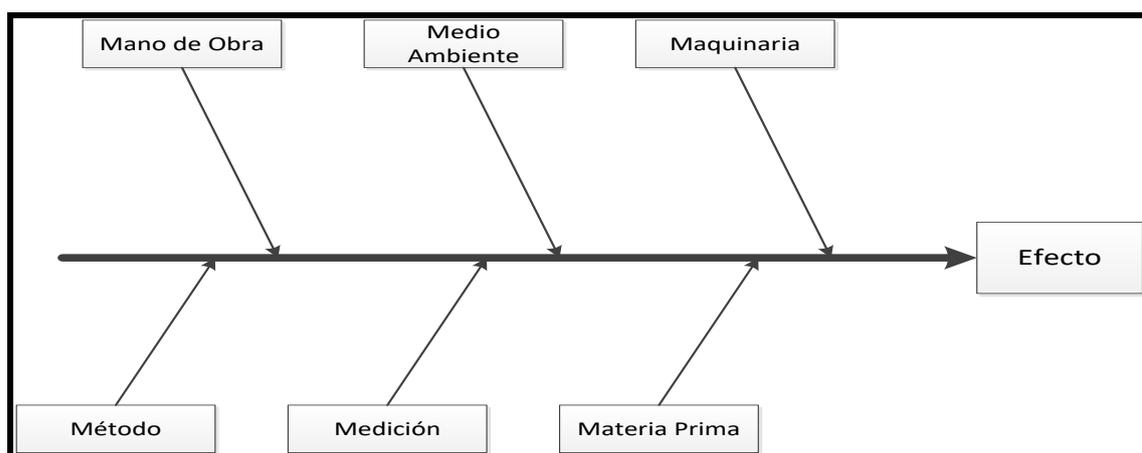
El diagrama de Causa – Efecto (Ishikawa) es un mapa de relaciones que muestra la relación entre una característica de calidad y sus factores. Para ello se considera en la mayoría de casos las 6 M's⁴⁰:

- Materia Prima
- Medio Ambiente
- Medición y Seguimiento
- Mano de Obra
- Método
- Maquinaria e Infraestructura

Para armar la estructura se considera: en el lado derecho se coloca el tema que deseamos analizar y en el lado izquierdo las causas que pudieran afectar al tema. A continuación se muestra un bosquejo de la estructura de un Diagrama de Ishikawa:

⁴⁰ Canales 2004: 1

Figura N° 1-8 : Diagrama básico de Causa - Efecto



Fuente: Adaptación de Bullington 2012: 18

1.6.2 Gráficas de Control

Las gráficas de control se enfocan hacia las causas especiales de variación cuando estas aparecen y reflejan la magnitud de la variación debida a las causas comunes. Las causas comunes o aleatorias se deben a la variación natural del proceso. Las causas especiales o atribuibles son las primeras en ser analizadas para garantizar que un proceso se encuentre bajo control, para tener un proceso estable y predecible. Cuando existen causas especiales el proceso está fuera de Control Estadístico; las gráficas de control detectan la existencia de estas causas en el momento en que se dan, lo cual permite que podamos tomar acciones al momento⁴¹.

Se presentan de 2 tipos:

- Por Variables:

Se designa a cualquier característica de calidad medible como la longitud, peso, temperatura, presión, etc.

- Por Atributos:

Refiere a las características de calidad que no son medibles y que presentan diferentes estados tales como conforme y disconforme o defectuoso y no defectuoso.

⁴¹ Cfr. Maynar 2013: 36

Para la elaboración de las Cartas o Gráficas de Control, Gutierrez recomienda.

Caso : Cartas de control $\bar{X} - R$ (variables)

Paso 1: Recolectar los datos

Los datos son el resultado de la medición de las características del producto, los cuales deben de ser registrados y agrupados de la siguiente manera:

Se toma una muestra (subgrupo) de 2 a 10 piezas consecutivas y se anotan los resultados de la medición (se recomienda tomar 5). También pueden ser tomadas en intervalos de tiempo de $\frac{1}{2}$ - 2 horas., para detectar si el proceso puede mostrar inconsistencia en breves periodos de tiempo.

Se realizan las muestras de 20 a 25 subgrupos.

Paso 2: Se debe calcular el promedio \bar{X} y R para cada subgrupo

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 \dots X_N}{N}$$

$$\bar{R} = X_{mayor} - X_{menor}$$

Paso 3: Calcular el rango promedio (\bar{R}) y el promedio del proceso ($\bar{\bar{X}}$).

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots R_K}{K}$$

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots \bar{X}_K}{K}$$

Donde: K es el número de subgrupos, R_1, R_2, \dots es el rango de cada subgrupo; $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots$ son el promedio de cada subgrupo.

Paso 4: Calcular los límites de control

Los límites de control son calculados para determinar la variación de cada subgrupo, están basados en el tamaño de los subgrupos y se calculan de la siguiente forma:

$$LSC_R = D_4 \bar{R}$$

$$LSC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$$

$$LIC_R = D_3 \bar{R}$$

$$LIC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$$

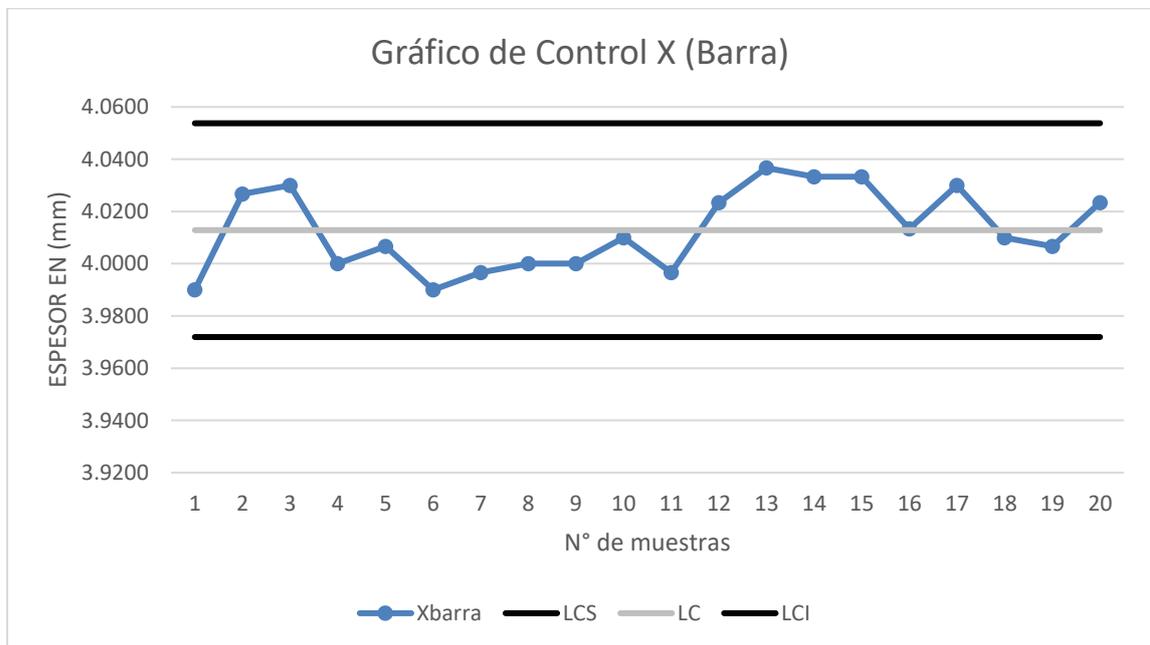
Paso 5: Trazar la gráfica de control

Dibuje las líneas de promedios y límites de control en las gráficas.

Los límites de Control se dibujan con una línea discontinua y los promedios con una línea continua para ambas gráficas. Marcar los puntos en ambas gráficas y unirlos para visualizar de mejor manera el comportamiento del proceso.

Paso 6: Analizar la gráfica de control

Figura N° 1-9 :Ejemplo gráfico de control



Fuente: Elaboración propia

2. CAPÍTULO 2: DIAGNÓSTICO DE LA EMPRESA

El objetivo del presente capítulo es realizar un análisis del entorno en el que se desarrolla la empresa, considerando la composición del mercado y nuevos competidores. Asimismo, se describirá la empresa, sus principales productos, clientes y desarrollo del proceso productivo. Bajo el desarrollo de la metodología DMAIC, se desarrollarán los puntos Definir, Medir y Analizar para evidenciar con datos cuantificables el diagnóstico de la empresa.

2.1 Coyuntura del Entorno

2.1.1 Composición del Mercado

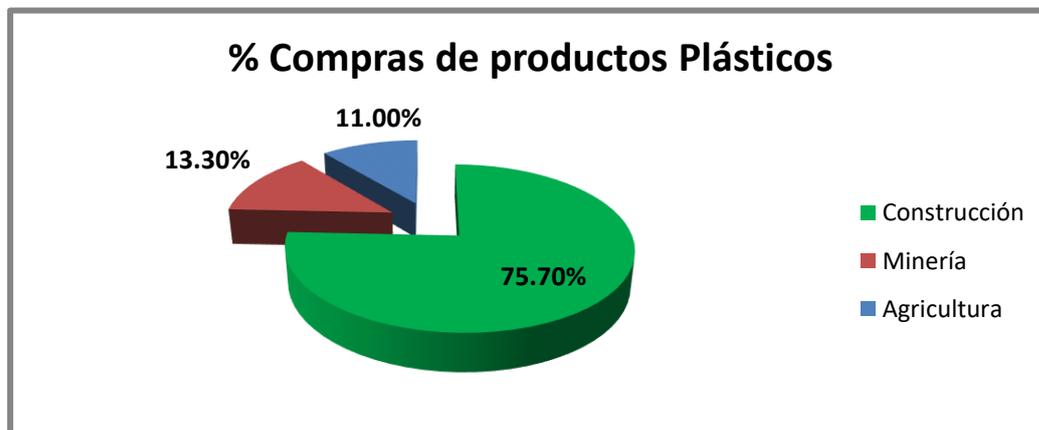
La demanda de tubería y accesorios se compone de 3 sectores principalmente:

Sector Construcción

Sector Minería

Sector Agricultura

Figura N° 2-1: Compra de productos plásticos por sectores



Fuente: Censo de Empresas de Manufactura 2008

Donde queda detallado que el sector de mayor consumo está direccionado a la construcción y los rubros relacionados al mismo.

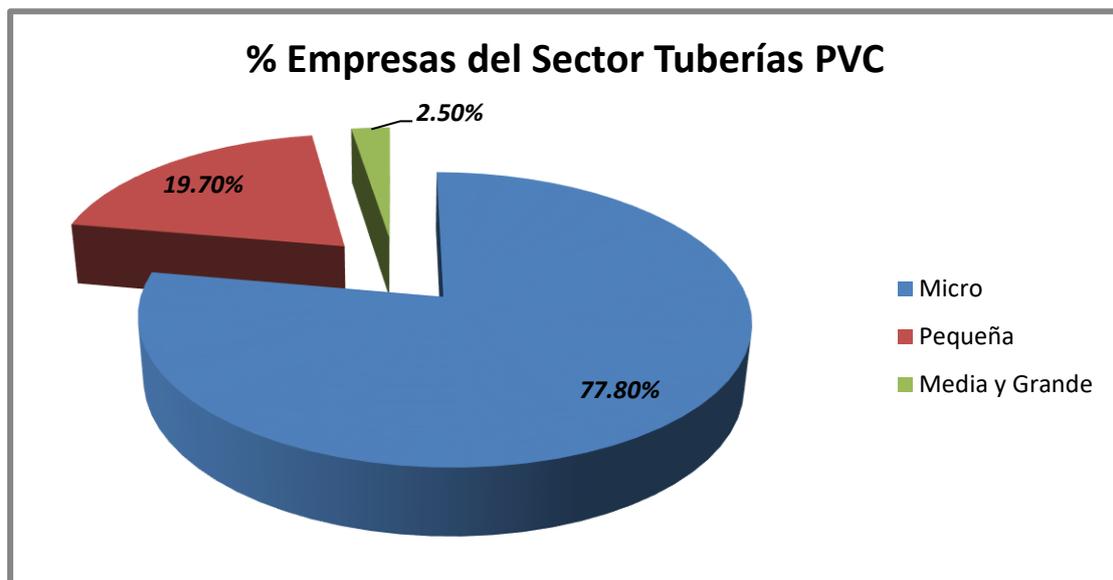
Dentro del sector construcción se identifican dos mercados potenciales generales:

Público: Comprendido principalmente por las obras de Gobierno que pueden ser; renovación o aumento de redes de agua y alcantarillado, nuevas líneas de unión de las viviendas a las redes existentes, etc.

Privado: Comprendido principalmente por las construcción de nuevas viviendas en zonas residenciales, centros comerciales, locales industriales, etc.

Para conocer qué tipos de empresas atienden la demanda, se presenta el análisis del tamaño de empresas que elaboran productos de tuberías PVC. El Censo de Manufactura del año 2008 indica lo siguiente:

Figura N° 2-2: Participación de las empresas por tamaño de empresa

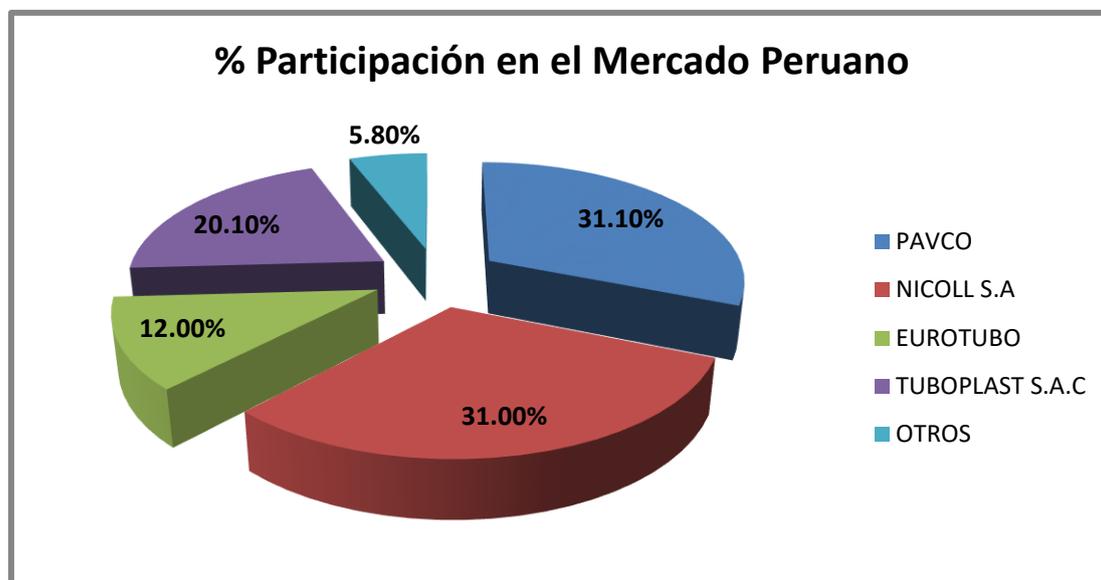


Fuente: Censo de Manufactura 2008

Donde se evidencia que existen mayor cantidad de empresas manufactureras de tuberías PVC en las microempresas, aunque no necesariamente el volumen de producción esté relacionado con la cantidad de empresas.

Las principales empresas productoras de tubería PVC y su participación en el mercado peruano son:

Figura N° 2-3: Participación de las principales empresas del sector



Fuente: INEI 2011. Elaboración propia

Cabe mencionar que dentro del 12% de la participación total se encuentra EUROTUBO; empresa cuya parte del volumen de ventas es consecuencia de adquirir los productos de la producción de DIFEMPLAST S.A.C.

2.1.2 Análisis del entorno

En los últimos años, la demanda de productos plásticos ha ido en aumento debido a las políticas de inclusión social y facilidades en las condiciones básicas de la calidad de vida; las cuales incluyen agua, electricidad, etc. Asimismo la Cámara de Comercio de Lima pronostica un crecimiento 3.7% para el año 2017 debido al aumento de mayor ejecución

de obras en viviendas multifamiliares, centros comerciales, oficinas y otras construcciones.⁴²

Dicho aumento también responde a la necesidad del boom inmobiliario, según cifras actuales del Diario Gestión⁴³. El consumo de dichos productos se centra en la producción local, debido a las especificaciones de las Normas Técnico Peruana; por lo que cada vez existen mayores fabricantes de estos productos, pero también mayor exigencia por parte de las autoridades. Sin embargo el mercado peruano depende de la importación de las materias primas con las que producir el producto final, puesto que la industria petroquímica nacional no produce todos los insumos que la industria necesita, de tal manera que éstos se importan de EE.UU, Brasil, Colombia o Venezuela, representando el 99% del total de insumos empleados por las empresas locales.⁴⁴

Según el Diario Gestión, Mexichem invirtió S/.100 millones de soles en la construcción de una planta en Arequipa con lo que se ha convertido en la planta más grande de dicho rubro. Con esta acción Mexichem estará abasteciendo mercados como los de: Moquegua, Arequipa, Puno, Cusco y Tacna con 18 mil toneladas de tuberías para agua, desagüe y riego.

El ingreso de dicho capital extranjero hace entender que ahora los precios han de ser más competitivos y la necesidad de las empresas por atender a los clientes aumentará.

42 Cfr. Cámara de Comercio 2016 (<http://m.camaralima.org.pe/principal/noticias/noticia/sector-construccion-creceria-3-1-el-2016-y-3-7-el-2017/580>)

⁴³ Cfr. Gestión 2014 (<http://gestion.pe/inmobiliaria/viviendas-promovidas-sectores-publico-y-privado-suman-158587-abril-2014-2095246>)

⁴⁴Cfr. Sociedad Nacional de Industrias (SNI) 2012

2.2 Desarrollo de la Fase Definir (D)

En el desarrollo de la fase Definir, se explicará la coyuntura en la que labora la empresa para entender a cabalidad el proceso productivo y las actividades concernientes al mismo. Siguiendo la metodología DMAIC, se definirá el problema principal de la empresa mediante el uso de la Matriz de Priorización de Problemas. Se presentará el diagrama SIPOC del proceso, el Project Charter con el que se formalizará el proyecto y el programa de trabajo para una correcta gestión y seguimiento del proyecto.

2.3 Descripción de la empresa

La empresa seleccionada para la realización del presente trabajo de investigación es DIFEMPLAST S.A.C con número de RUC: 20477660011. Dentro de la clasificación que reciben las empresas, según el número de trabajadores que posee, es catalogada como una microempresa por poseer 11 trabajadores (8 productivos, 1 para la supervisión y 2 para los procesos de soporte). En la Clasificación Industrial Internacional Uniforme, por sus siglas CIIU, se encuentra bajo la denominación de 2220 que refiere a las empresas del sector industrial que producen productos plásticos.

DIFEMPLAST S.A.C fue fundada en el año 2010 por Marco Díaz Felix en el departamento de Trujillo y al iniciar operaciones trajo consigo un acuerdo de negocios con la empresa EUROTUBO, en el que se establecía acuerdos mutuos de trabajo para ambas empresas. Actualmente, la empresa se dedica a la fabricación de accesorios de tuberías PVC y su centro de operaciones se encuentra localizado en el departamento de Trujillo – La Libertad, exactamente en la Mz E2-E3, Parque Industrial, Trujillo - La Libertad.

2.3.1 Coyuntura actual de la empresa

Un punto importante a resaltar es la situación en la que labora la empresa. DIFEMPLAST trabaja como proveedor exclusivo para EUROTUBO y mantienen un acuerdo de trabajo para ello. Parte de las cláusulas contractuales entre ambas empresas es que la totalidad de la producción de DIFEMPLAST será vendida exclusivamente a EUROTUBO bajo el precio de venta que disponga DIFEMPLAST. Asimismo, la merma que tenga DIFEMPLAST pasará al proceso de molienda de EUROTUBO sin precio de venta alguno adicional. Es decir, al existir un producto no procesable en la producción de DIFEMPLAST se considera 100% merma porque todo el esfuerzo aplicado en dicho proceso no puede ser recuperado de alguna manera.

Otro punto importante para tener en consideración es que DIFEMPLAST elabora sus productos asumiendo que la demanda anterior de sus productos seguirá presentándose en el tiempo, es decir, si alguno de estos históricamente tuvo mayor demanda en algún mes, la empresa los produce asumiendo que continuará dicha tendencia. Asimismo, mantiene un colchón de inventario de producto en proceso, el cual no ha sido establecido con cálculos, para poder atender con celeridad los pedidos de EUROTUBO sobre algún producto en específico.

2.4 Organización

2.4.1 Misión :

Proveer productos de calidad con la finalidad de obtener la satisfacción de nuestros clientes, teniendo como premisa sus necesidades y la responsabilidad social y ambiental.

2.4.2 Visión :

Ser reconocidos en la industria peruana de accesorios PVC por la calidad del producto

2.4.3 Valores de la empresa :

Los valores definen el compromiso de la empresa con el equipo de trabajo, clientes y medio ambiente y forma parte de la cultura de trabajo orientada por la empresa.

- Seriedad y Respeto por las condiciones laborales: La responsabilidad para las condiciones laborales de nuestro principal recurso: el trabajador

- Calidad; Nos basamos en las necesidades de nuestros clientes para atenderlos a cabalidad
- Eficiencia: Buscamos ser óptimos en los procesos para garantizar una competitividad en el mercado de tuberías.

2.4.4 Presentación de la empresa :

La empresa, al ser una microempresa, consta de 8 colaboradores operativos, 1 supervisor de producción y 2 colaboradores administrativos y el funcionamiento de la empresa se detalla en base al siguiente organigrama de la Fig. N° 2.4:

Figura N° 2-4: Organigrama de la empresa



Fuente: Elaboración propia

2.5 Distribución de Planta

La empresa se encuentra operando dentro de un almacén de EUROTUBO. El área total del almacén es de 5 000 m² y por acuerdo de ambas empresas, a DIFEMPLAST le corresponde un área total de 500 m². Dentro de dicha área se encuentran los trabajadores, supervisor de producción y el dueño de la empresa, correspondientes al proceso productivo. Las tareas contables la realiza una asistente contable la cual trabaja fuera de dicho área. Asimismo, los productos terminados que no fueran despachados y productos

en proceso pueden ser almacenados dentro del área perteneciente a EUROTUBO sin costo alguno de almacenaje. El transporte de llegada de insumos así como la entrega del producto final es gestionado por EUROTUBO.

2.6 Lista de Productos

La empresa elabora una amplia gama de accesorios para tubería PVC (Ver Anexo N° 01). Con el fin de dar un tratamiento a la información y pueda ser mejor gestionada, se presenta la misma agrupada por tipo de familia, considerando la similitud del producto final:

Tabla N° 2-1 : Lista de familia para los diferentes productos

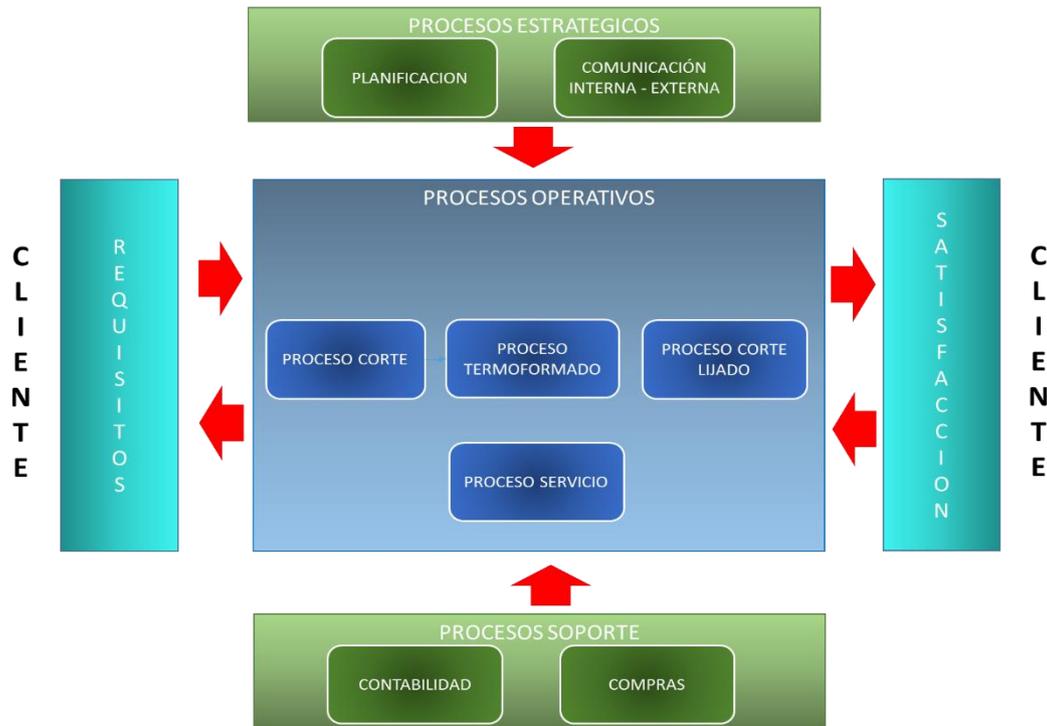
N°	Tipo de Producto
1	Codo
2	Cruceta
3	Curva
4	Unión
5	Tee
6	Reducción
7	Niple
8	Cachimba
9	Tapón
10	Yee
11	Conector

Fuente: Elaboración propia

2.7 Proceso Productivo

Para la elaboración de sus productos, la empresa emplea la metodología de trabajo descrita en el Mapa de Procesos:

Figura N° 2-5: Mapa de procesos de la empresa



Fuente: Elaboración Propia

2.7.1 Procesos Operativos

Dentro de los procesos operativos se encuentran:

Proceso de Corte:

Para realizar el corte de la tubería total en segmentos, el supervisor de producción dispuso situar la cuchilla a una distancia del punto de apoyo del tubo de modo que se garantice el mismo tamaño de cada segmento. Para dicha labor, la tarea demanda 2 trabajadores para pesos livianos, en el caso de ser un tubo pesado y de grandes dimensiones demanda 3 trabajadores.

Proceso de Termoformado:

Una vez obtenido un segmento de tubo, la sección pasará a ser calentada en un medio aceitoso durante un tiempo no estandarizado. La tarea ha de ser repetida en 2 oportunidades y demanda hasta 4 trabajadores por estación.

Proceso de Corte:

En esta etapa se corta los bordes de la sección para que tenga la medida adecuada acorde a la especificación del producto. La tarea es realizada por una persona.

2.7.2 Procesos de Soporte:

Compras:

El gran beneficio que tiene DIFEMPLAST para el traslado de sus compras es que EUROTUBO se encuentra situado al frente de su lugar de operaciones, por lo que no requiere mayores implementos para generar una orden de compra. La características de los productos que se adquieren a EUROTUBO se presentan en el Anexo N° 02.

Contabilidad:

La agente contable con la que cuenta la empresa sólo recibe las facturas e indicaciones del dueño ya que no labora en el lugar de operaciones. Su función sirve para evidenciar que la elaboración y venta de productos es rentable para la empresa en un período determinado.

2.7.3 Procesos Estratégicos

Proceso de Planificación:

Los pedidos de productos son ingresados a una base para la planificación de compra de material y preparar programación de personal por proceso y tipo de producto a elaborar.

Proceso de Comunicación Interna y Externa:

Se definen y normalizan los canales regulares y los agentes partipantes de la información pertinente. Asimismo, se incluye el tratamiento de productos no conformes y las comunicaciones que deben existir en este proceso.

2.8 Descripción e identificación de los problemas

En esta etapa se identificarán los principales problemas que se han podido evidenciar a través de las visitas a la empresa y recolección de comentarios del dueño del proceso que fueron sustentadas con información proporcionada por el dueño de la empresa.

Inventario de producto en proceso

Engloba todos aquellos productos en proceso (WIP) que están “almacenados” y se encuentran a la espera hasta que el cliente solicite dicho tipo de familia de producto. Dentro de los productos en espera se encontraron principalmente secciones de tubos que han finalizado el primer termoformado, es decir sólo recibieron el acampanado (representando un 60% del total de los productos cuyo impacto económico asciende a S/. 10 000 por año)

Productos entregados fuera de tiempo

Se enfoca en aquellos pedidos que no pudieron ser entregados a tiempo, generando insatisfacción en el cliente. Sin embargo este problema, bajo su indicador de cumplimiento OTD (On Time Delivered) está en un 96%; el 4% genera una disminución del ingreso valorizado en S/. 4 000 anuales.

Alto consumo de combustible en los hornos

El sistema de calentamiento que emplea la empresa no se encuentra aislado por lo que la necesidad del incremento de la temperatura es algo natural en el proceso. Se pronostica anualmente la utilización de 10 balones al mes, sin embargo, se llega a emplear hasta 13; anualmente esto impacta en (S/. 1 000 anuales)

Alta rotación de personal

La empresa emplea trabajadores cuyas edades oscila entre los 18 a 23 años a los que capacita durante 2 semanas en el proceso antes de apoderarse de la labor a totalidad. Según los comentarios del dueño de la empresa en el año 2015 hubo alta rotación (hasta 7 trabajadores, con un impacto económico de S/. 3 150 anuales por tema de capacitación)

Alta cantidad de merma

El proceso productivo que maneja DIFEMPLAST no emplea maquinaria con la que pudiera reprocesar el producto defectuoso y ser reincorporado nuevamente al proceso. En dicho sentido se considera todo producto defectuoso una merma, con un impacto económico de S/. 98 000 anuales.

Se empleará la matriz de priorización de problemas para la elección del problema principal de estudio de acuerdo a la ponderación obtenida. Luego del análisis y mejora del problema se sugiere nuevamente el volver a realizar el análisis para la elección del nuevo problema y así mantener constantemente el ciclo de mejora continua. En la Tabla N° 2.2, se muestra la escala de criterios que se asignado para la selección del problema principal mediante la matriz de priorización de problemas (Tabla N° 2.3)

Tabla N° 2-2 : Escala de criterios de la matriz de priorización de problemas

Item	Criterio	Explicación	Descripción	Puntaje
1	Duración del trabajo	Tiempo invertido en solucionar el problema	Hasta 3 meses	50
			De 3 a 6 meses	30
			Más de 6 meses	10
2	Implicancia del problema	Impacto del problema al lugar de trabajo, clientes interno o externos	Impacto sólo en el área	15
			Impacto en el área y algunos clientes internos	45
			Impacto en el área, clientes internos y el cliente externo	75
3	Inversión para solucionar el problema	Inversión (S/.) para la implementación de la solución	Baja inversión para solucionar el problema: Monto menores a S/. 50000	90
			Mediana inversión para solucionar el problema: Monto entre S/. 50000 y S/. 70000	60
			Mediana inversión para solucionar el problema: Monto mayores a S/. 70000	30
4	Resultados esperados	Mide los efectos tangibles e intangibles de las mejoras	Bajo impacto económico (Menores a S/. 1000)	40
			Moderado impacto económico (Monto entre S/. 1000 y S/. 30000)	120
			Alto impacto económico (Mayores a S/. 30000)	200

Fuente: La empresa. Elaboración propia

Tabla N° 2-3 : Matriz de priorización de problemas

Item	Problema	Duración del Trabajo	Implicancia del problema	Inversión para solucionar el problema	Resultados esperados	Puntaje Total
1	Inventario de producto en proceso	50	45	90	120	305
2	Productos entregados fuera de tiempo	50	15	90	40	195
3	Alto consumo de combustible en los hornos	30	15	90	40	175
4	Alta rotación de personal	10	45	90	40	185
5	Alta cantidad de merma	30	75	90	200	395

Fuente: La empresa. Elaboración Propia

Según la matriz de priorización de problemas, la alta cantidad de merma que está generando la empresa y el inventario de producto en proceso son los principales problemas que existen en la empresa. Se está seleccionando como problema la alta cantidad de merma.

2.9 Diagrama del Proceso: SIPOC

A continuación se mostrará el mapa de proceso de la elaboración de Codos y cachimbas, los cuáles son los productos más representativos.

Figura N° 2-6: Hoja SIPOC de los procesos

Hoja de procesos		Version 02	Fecha de Revisión:	Fecha de Aprobación:
SIPOC		Elaborado: JAVIER MATSUOKA DIAZ	20/04/2014	25/04/2014

Nombre de la organización:	DIFEMPLAST S.A.C
Nombre del Proceso:	ELABORACIÓN DE ACCESORIOS PVC
Dueño de Proceso:	MARCO DIAZ FELIX
Resultado del proceso:	PRODUCTO TERMINADO
Mediciones del Proceso	% MERMA DE PRODUCCIÓN

Suppliers (S)	Inputs (I)		Process (P)		Outputs (O)		Customers (C)	KPI'S
Nombre del proveedor	Descripción de la entrada	Tipo de entrada *	Sub-Procesos		Descripción de resultados/salida	Especificación de la salida	Nombre del cliente	
EUROTUBO	Tubo entero	Fisico	1	Proceso de Corte	Secciones de tubos cortadas a la medida que requiere el producto	FISICO	DIFEMPLAST	% de Secciones con la longitud adecuada
DIFEMPLAST	Sección de tubo	Fisico	2	Proceso de 1er Termoforado	Secciones de tubos termodeformadas (acampanado)	FISICO	DIFEMPLAST	% de Secciones con el acampanado correcto
DIFEMPLAST	Sección de tubo deformada	Fisico	3	Proceso de 2do Termoforado	Secciones de tubos termodeformadas (Cunatura)	FISICO	DIFEMPLAST	% de Secciones con la curvatura correcta
DIFEMPLAST	Sección de tubo con cunatura	Fisico	4	Proceso de Corte	Sección de tubo sin sobrantes	FISICO	DIFEMPLAST	% de Secciones con la longitud adecuada
DIFEMPLAST	Sección de tubo sin sobrantes	Fisico	5	Proceso de Lijado	Producto terminado	FISICO	EUROTUBO	% de Producto terminado correcto

Fuente: La empresa. Elaboración propia

2.10 Resumen del Proyecto

La Tabla N° 2.4 nos muestra el cuadro resumen del proyecto (Project Charter) con el que se formalizará el proyecto.

Tabla N° 2-4 : Cuadro resumen del Proyecto

Project Charter	
Nombre del Proyecto	Mejora del proceso en la elaboración de accesorios PVC
Definición	Durante los años 2012 y 2015 se tuvo una merma del 13% de producción (aproximado) generando un impacto económico de S/. 392,688 soles o 115,497 USD
Objetivo Especificos	Reducción de la merma de producción al 6% Reducir variabilidad del proceso Reducir los inventarios Reducir el consumo de combustible
Sponsor	Marcos Díaz F. - Gerente General
Equipo de Trabajo	Dueño de la empresa Lider del proyecto Supervisor de producción Operarios de producción
Requerimientos	- Garantizar el mínimo requerido de espesor según necesidad del cliente - El color del material no debe ser distinto en el cuerpo
Alcance	Se mejorará el proceso de elaboración de accesorios de tubería PVC y procesos inherentes a la elaboración del producto que no generen una inversión mayor de S/. 50,000.
Restricciones	- No se podrá comprar equipamiento de gran dimensionado por solicitud del sponsor. - Ningún equipamiento puede ser anclado a las instalaciones del cliente
Hitos Principales	- Diagnóstico del proceso - Implementación de la mejora - Pruebas - Cierra y conformidad
Presupuesto	Hasta \$ 17,000 USD
Duración	10/12/2015 - 30/04/2016

Fuente: Elaboración propia

2.11 Desarrollo de la Fase Medir (M)

En el desarrollo de la fase medir se evidenciará el impacto económico producto del principal problema identificado. Se presentará los principales grupos de familias que tienen participación en dicho problema. Asimismo, se analizará el proceso utilizando el VSM, con lo cual se mostrará las características de los subprocesos internos y los desperdicios de cada uno de ellos.

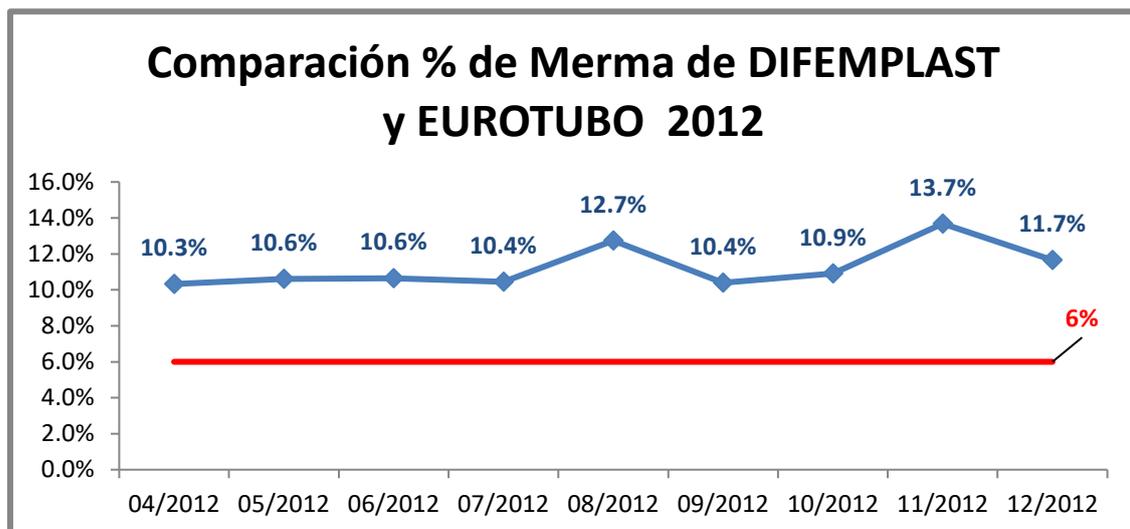
2.11.1 Porcentaje de merma

Si bien es cierto que la empresa no maneja indicadores con los cuales comparar su nivel de productividad, la mejor condición para iniciar el análisis será la utilización del benchmarking con su proveedor, EUROTUBO, además de ser uno de los indicadores iniciales para medir su desempeño la informalidad de este tipo de pequeñas empresas hace Actualmente el proveedor tiene un indicador de merma del 6% mensual.

En el consolidado mensual de producción, se evidencia que la merma de la producción en el año 2012 y 2015 ha oscilado entre el 11% y 12 % en promedio, respectivamente; es decir cerca de 6 puntos porcentuales por encima de la meta base.

Año 2012:

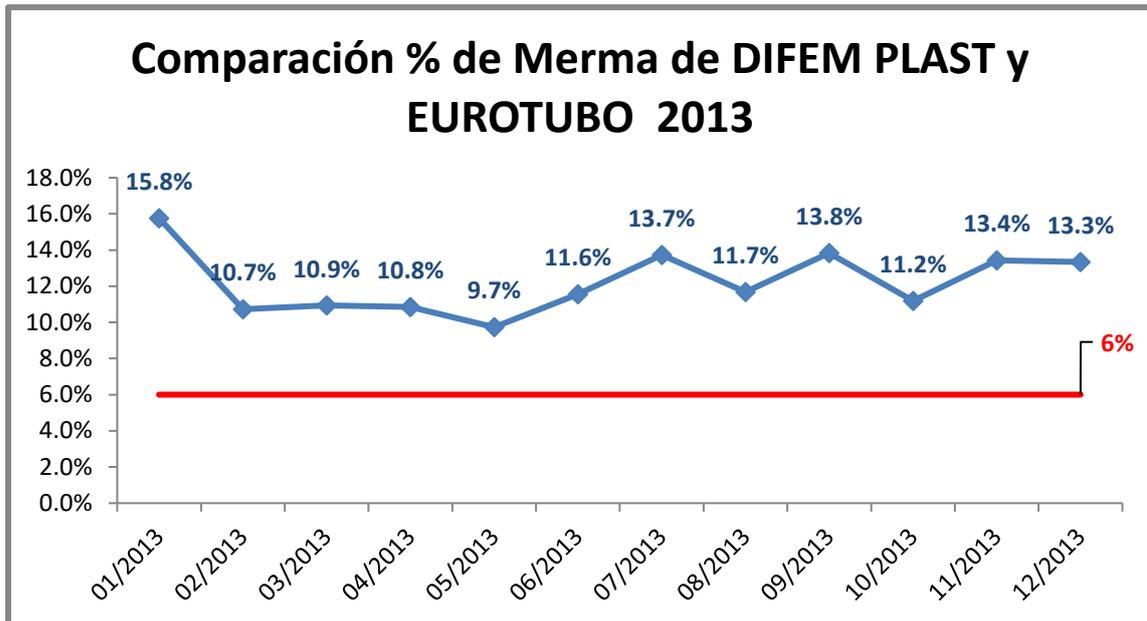
Figura N° 2-7: Comparación merma de producción 2012



Fuente: Adaptación a datos de la empresa

Año 2013:

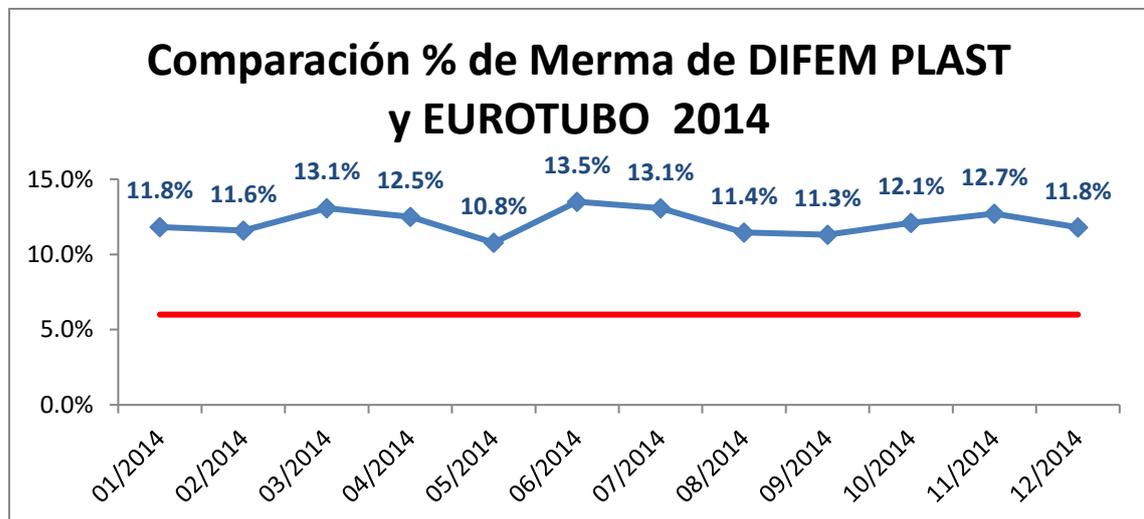
Figura N° 2-8: Comparación merma de producción 2013



Fuente: Adaptación de la empresa

Año 2014:

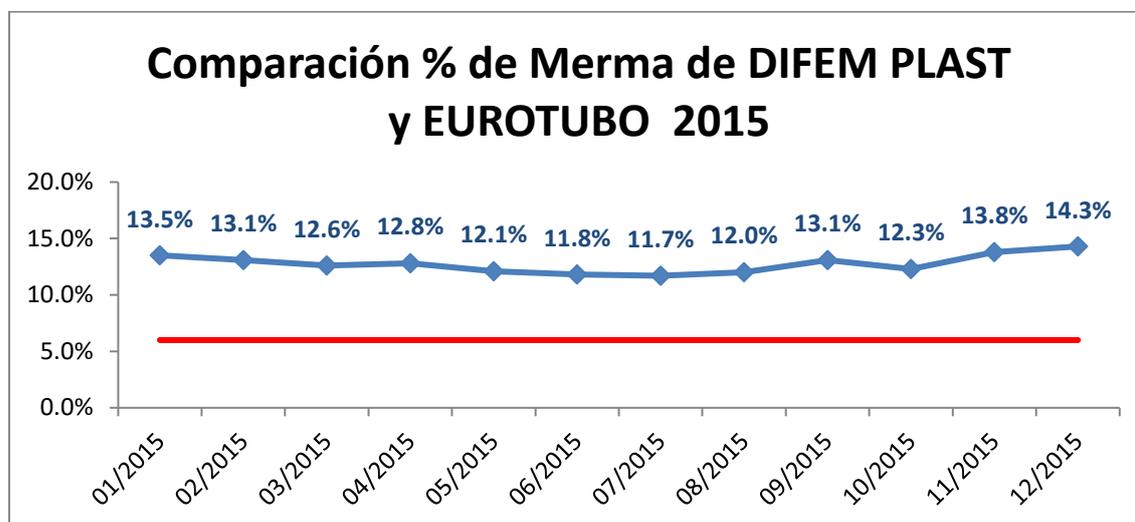
Figura N° 2-9: Comparación merma de producción 2013



Fuente: Adaptación de la empresa

Año 2015:

Figura N° 2-10: Comparación merma de producción 2015



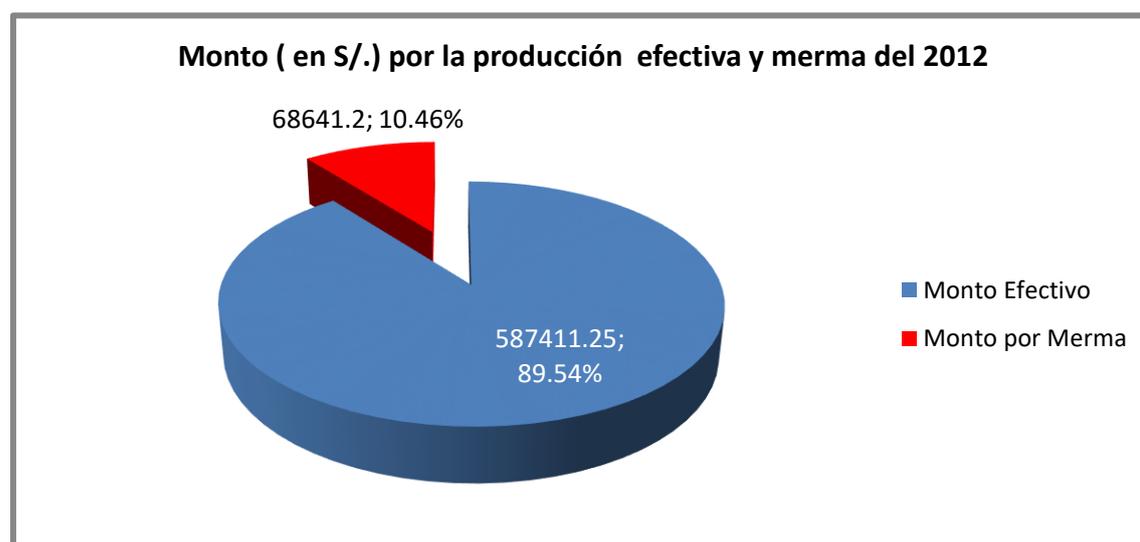
Fuente: Adaptación de la empresa

2.11.2 Impacto económico

Si bien se ha priorizado por tipo de productos para saber cuáles son más significativos, el siguiente gráfico muestra de manera consolidada cuanto es que la empresa ha dejado de percibir por la merma generada. Considérese que en el precio de venta está incluido todo costo asociado a la producción como: Mano de obra, materia prima, servicios varios, etc.

Año 2012:

Figura N° 2-11: Monto perdido (S/.) por merma en el 2012



Fuente: La empresa

Donde los montos quedan explicados por la Tabla N° 2.5:

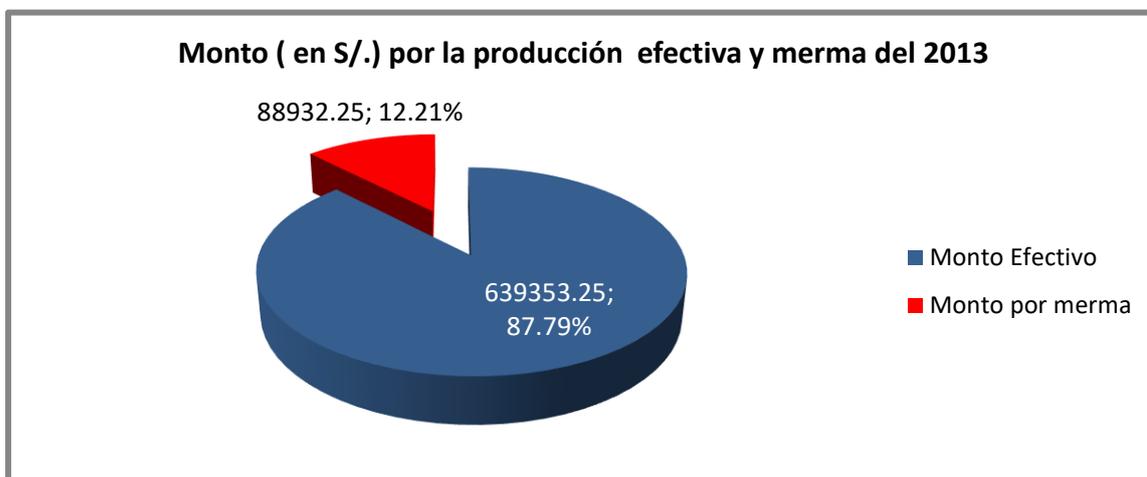
Tabla N° 2-5 : Montos de venta efectiva y merma por familia 2012

Producto	Monto por Venta Efectiva (S/.)	Monto por Merma (S/.)
Codo	198759.7	25060.9
Cachimba	161875.6	19769.6
Reducción	66719	7224
Curva	45344.55	4376.2
Unión	27442.1	2349.9
Niple	21583.7	2139.7
Silla	20938.1	2569.1
Yee	20386	2400
Tee	10640	1310
Tapón	10619.6	1115.9
Cruceta	2627.5	284.5
Conector	475.4	41.4

Fuente: La empresa. Elaboración propia

Año 2013:

Figura N° 2-12: Monto perdido (S/.) por merma 2013



Fuente: La empresa

Donde los montos quedan explicados por la Tabla N° 2.6:

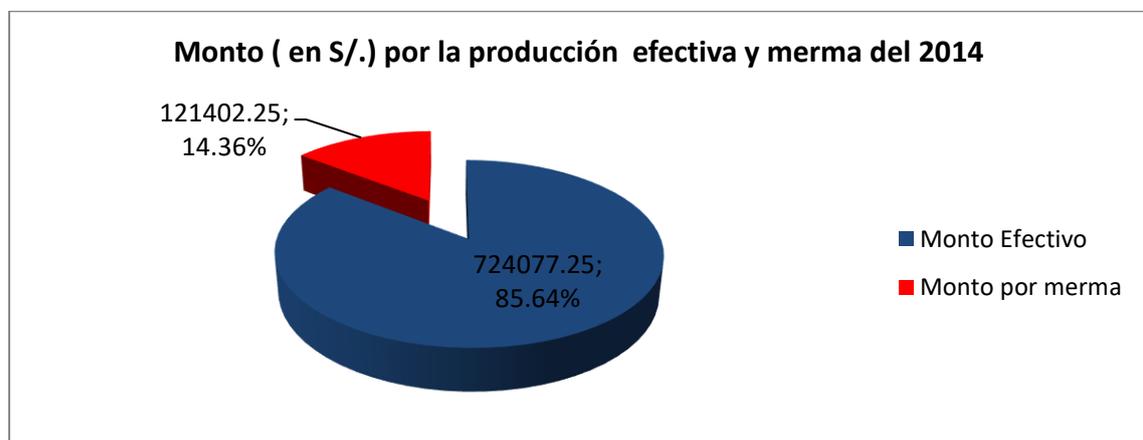
Tabla N° 2-6 : Montos de venta efectiva y merma por familia 2013

Producto	Monto por Venta Efectiva (S/.)	Monto por Merma (S/.)
Codo	288473.2	45126.3
Cachimba	182556.7	23509.9
Tee	34355	3861
Curva	31941.4	3381.1
Reducción	30124.5	3772.2
Unión	24110.25	3383.45
Cruceta	14966	1664
Tapón	14099.5	1590.9
Yee	8909	1311
Silla	6142.9	878.2
Niple	2287.8	336.2
Conector	1387	118

Fuente: La empresa. Elaboración propia

Año 2014:

Figura N° 2-13 : Monto perdido (S/.) por merma en el 2014



Fuente: La empresa

Donde los montos quedan explicados por la Tabla N° 2.7:

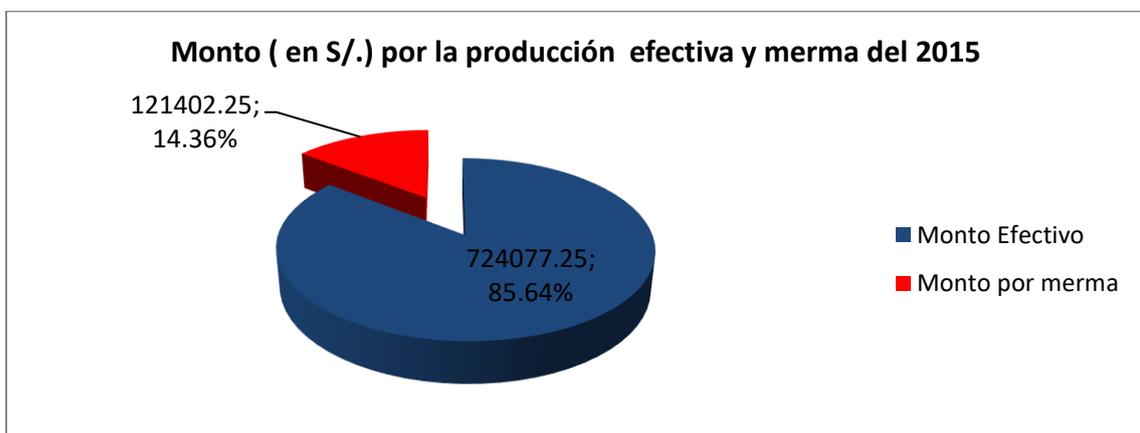
Tabla N° 2-7 : Montos de venta efectiva y merma por familia 2014

Producto	Monto por Venta Efectiva (S/.)	Monto por Merma (S/.)
Codo	344286.2	62449.3
Cachimba	207227.7	34740.9
Reducción	28901.5	5003.2
Curva	30718.4	4612.1
Unión	25220.25	2160.45
Niple	2422.8	239.2
Silla	7252.9	989.2
Yee	7798	1508
Tee	41676	4882
Tapón	12876.5	2821.9
Cruceta	13855	1861
Conector	1842	135

Fuente: La empresa. Elaboración propia

Año 2015:

Figura N° 2-14 : Monto perdido (S/.) por merma en el 2015



Fuente: La empresa

Donde los montos quedan explicados por la Tabla N° 2.8:

Tabla N° 2-8 : Montos de venta efectiva y merma por familia 2015

Producto	Monto por Venta Efectiva (S/.)	Monto por Merma (S/.)
Codo	277163.2	52337.3
Cachimba	220338.7	30419.9
Reducción	30101.5	4238.2
Curva	36828.4	5812.1
Unión	23678.25	3014.45
Niple	2554.8	200.2
Silla	7213.9	987.2
Yee	7675	1607
Tee	40176	5868
Tapón	13387.5	2257.9
Cruceta	14312	2006
Conector	1943	144

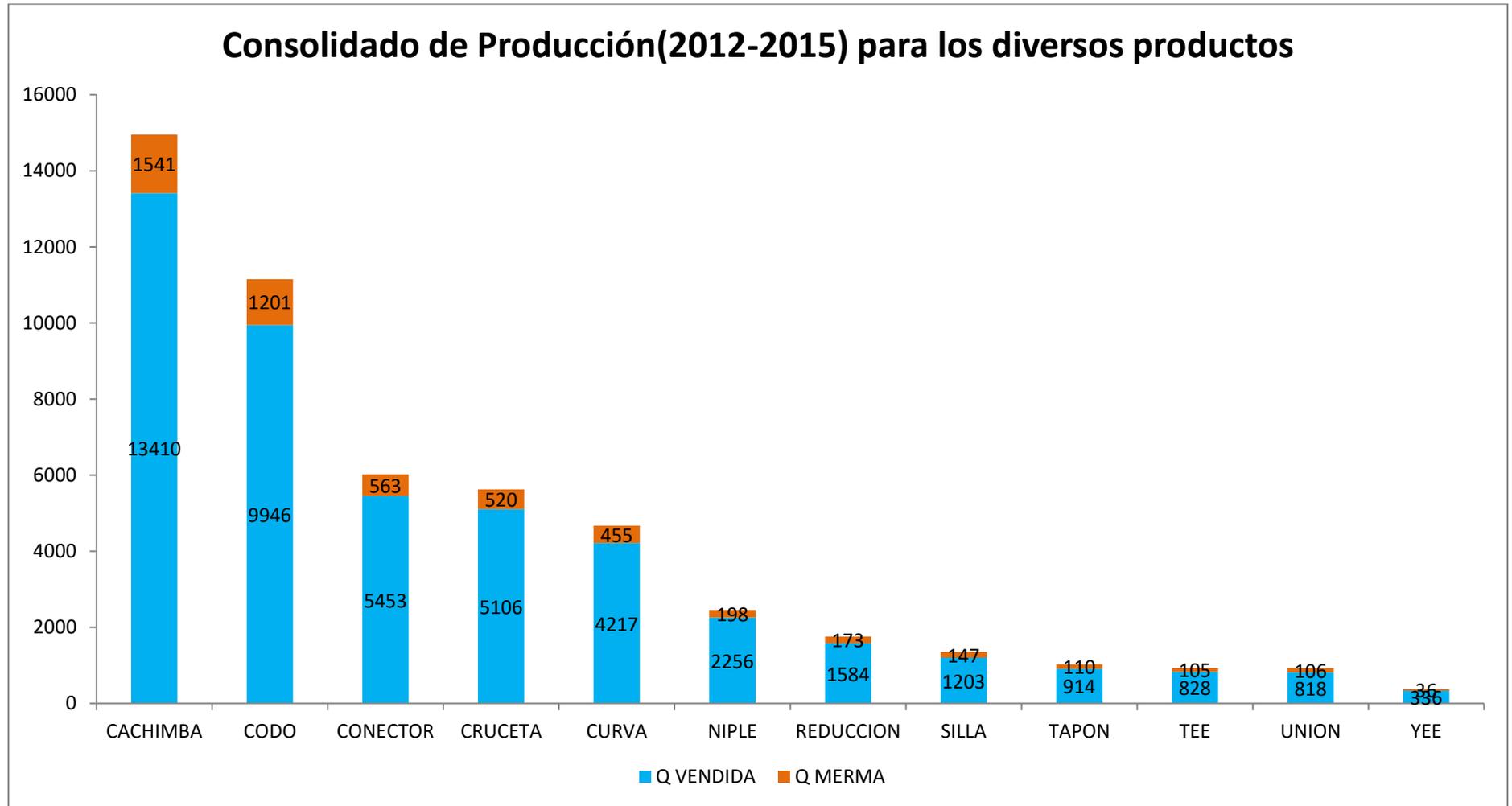
Fuente: La empresa. Elaboración propia

Donde se evidencia que desde los años 2012 al 2015, la empresa dejó de percibir alrededor de 97 mil soles, representando cerca del 12 % de los ingresos promedios anuales en promedio.

2.11.3 Participación de productos en la merma generada

El siguiente gráfico muestra un consolidado de la producción para los diversos tipos de productos que se elaboran. Asimismo, está indicado el nivel consolidado de merma a lo largo de los 2 años de información disponible.

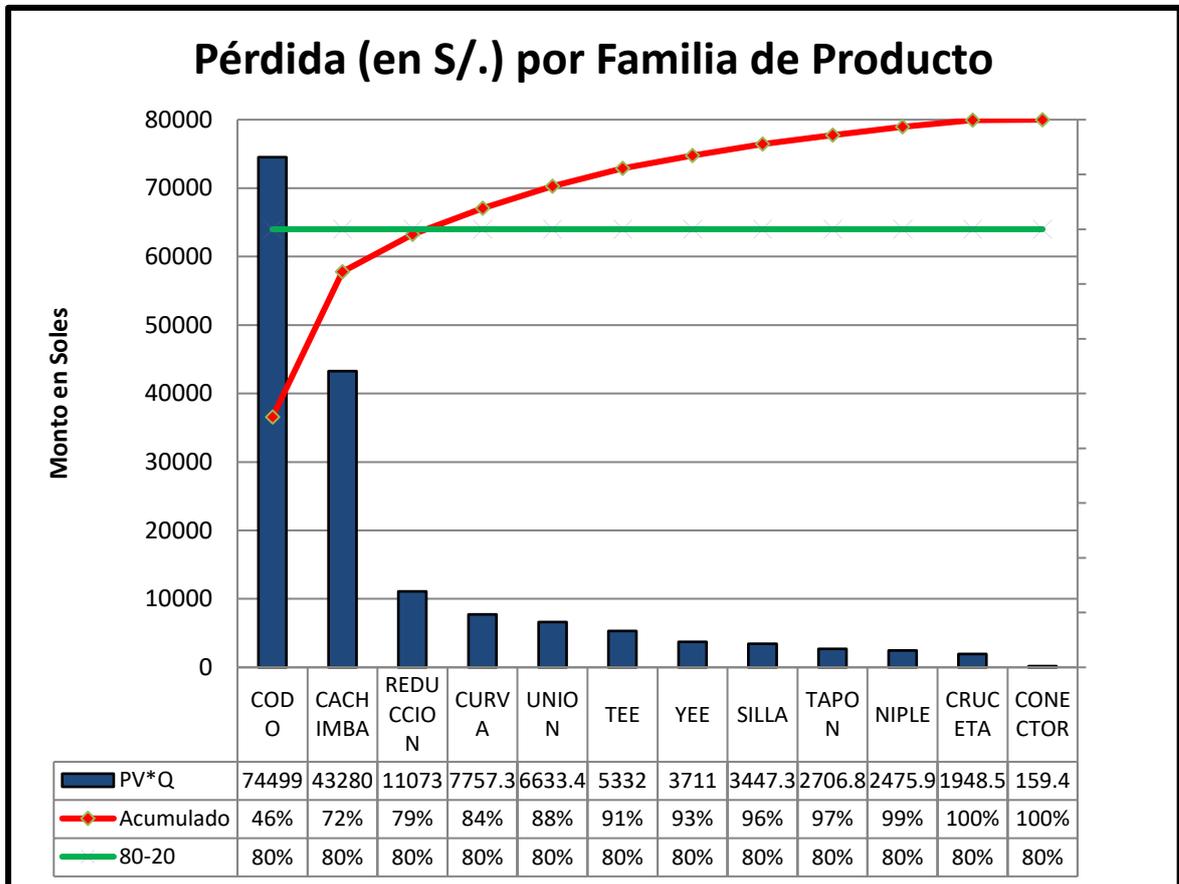
Figura N° 2-15: Consolidado de producción para las familias de productos



Fuente: La empresa. Elaboración propia

Para evidenciar cuáles de los tipos de productos son los de mayor significancia en la merma consolidada mensual, se presenta el siguiente gráfico de Pareto (P*Q)

Figura N° 2-16: Pérdida (S/.) por familia de productos en 2012-2015



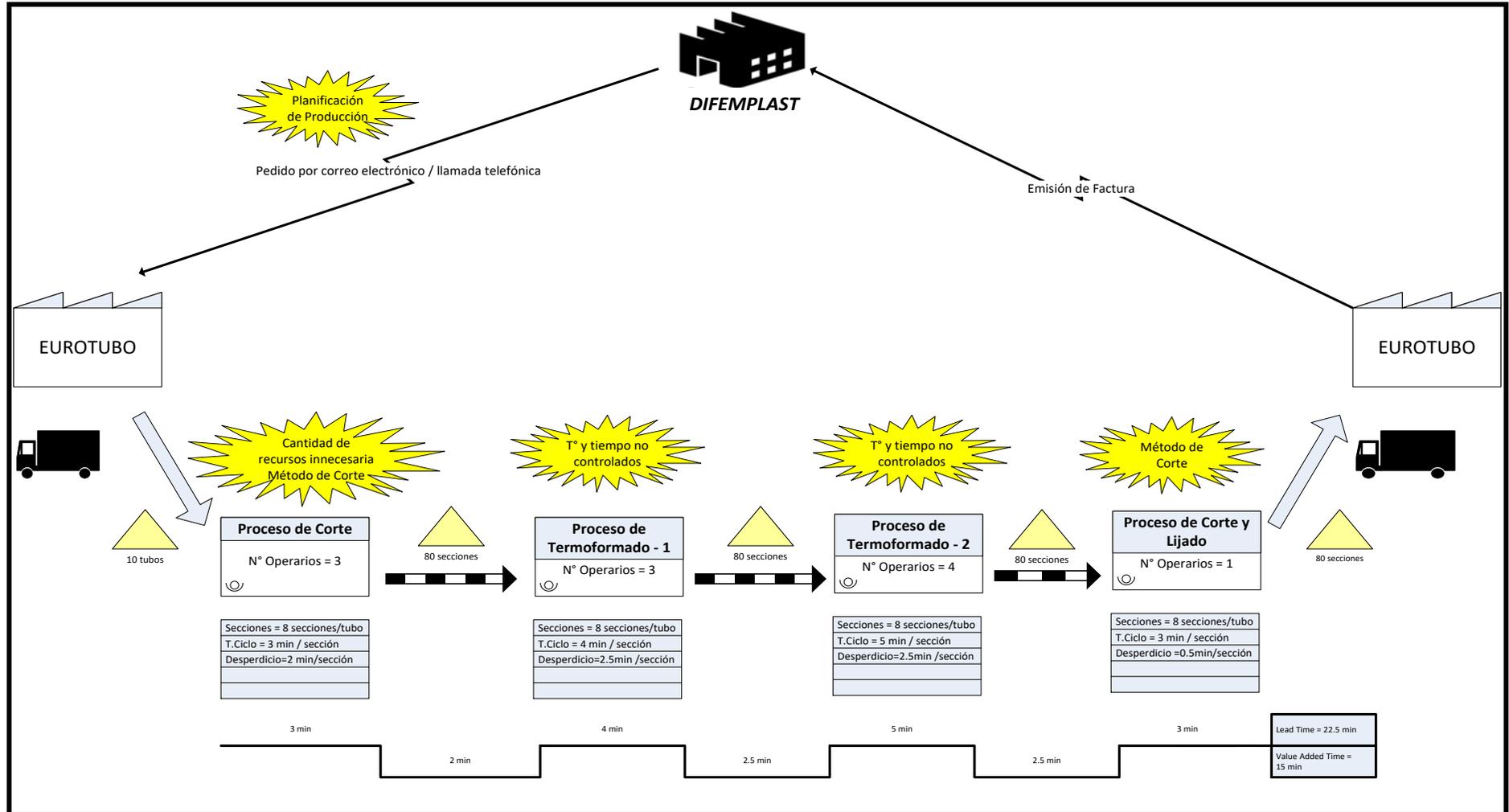
Fuente: La Empresa. Elaboración propia

Donde se observa que enfocándose en solucionar la variabilidad de producción y merma de los productos: *Codo*, *Cachimba* y *Reducción*; se estaría mejorando el 80% de mermas totales anuales o mensuales.

2.11.4 Mapeo de la Cadena de Valor (VSM)

Se presenta el VSM (Value Stream Mapping) del proceso productivo actual de DIFEMPLAST en la Figura N°2.17 con su respectiva utilización de recursos:

Figura N° 2-17: VSM del proceso actual



Fuente: La empresa. Elaboración propia

En la Tabla N° 2.9 se muestra el resumen del VSM del Proceso Actual:

Tabla N° 2-9 : Resumen del VSM del proceso actual

Lead Time:	22.5 min
Value Added Time:	15 min
Non - Value Added Time:	7.5 min
Value Added / Total Lead Time:	67%

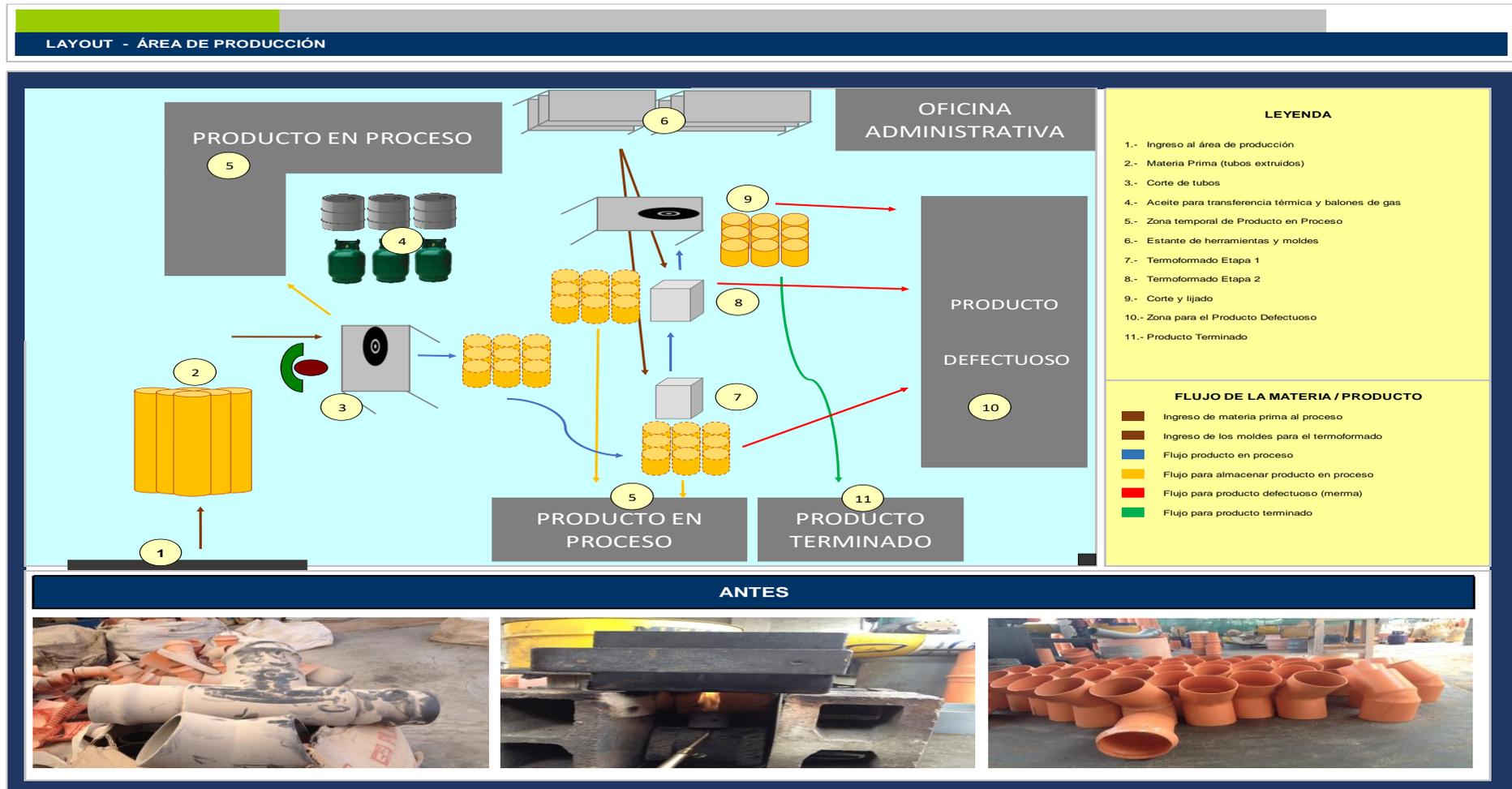
Fuente: La empresa. Elaboración propia

Donde se tiene un tiempo desperdiciado de 7.5 min por la elaboración de una sección, el cual representa el 33% del Lead Time.

2.11.5 Layout del Proceso Productivo:

En la Figura N° 2.18 se presenta el layout donde la empresa elabora su producción diaria. Se considera sólo el área que tienen permitido emplear puesto que su ubicación es dentro de un área perteneciente a su cliente Eurotubo.

Figura N° 2-18 : Layout del proceso actual



Fuente : Elaboración propia

2.11.6 Diagnóstico 5's

Se realizó una inspección al área productiva para evidenciar el estado actual del área. Para la puntuación correspondiente se utilizó un rango del 0 al 4, donde 0 representa que se realizó esfuerzo alguno y 4 representa sostenimiento en la actividad definida y documentada. Cada uno de estos intervalos son medidos por etapa del 5'S, con un puntaje obtenido de 38 puntos (rango 2), el cual implica que es un proceso definido que tiene muchas oportunidades de mejora.

Tabla N° 2-10. Registro de Auditoría 5's Inicial

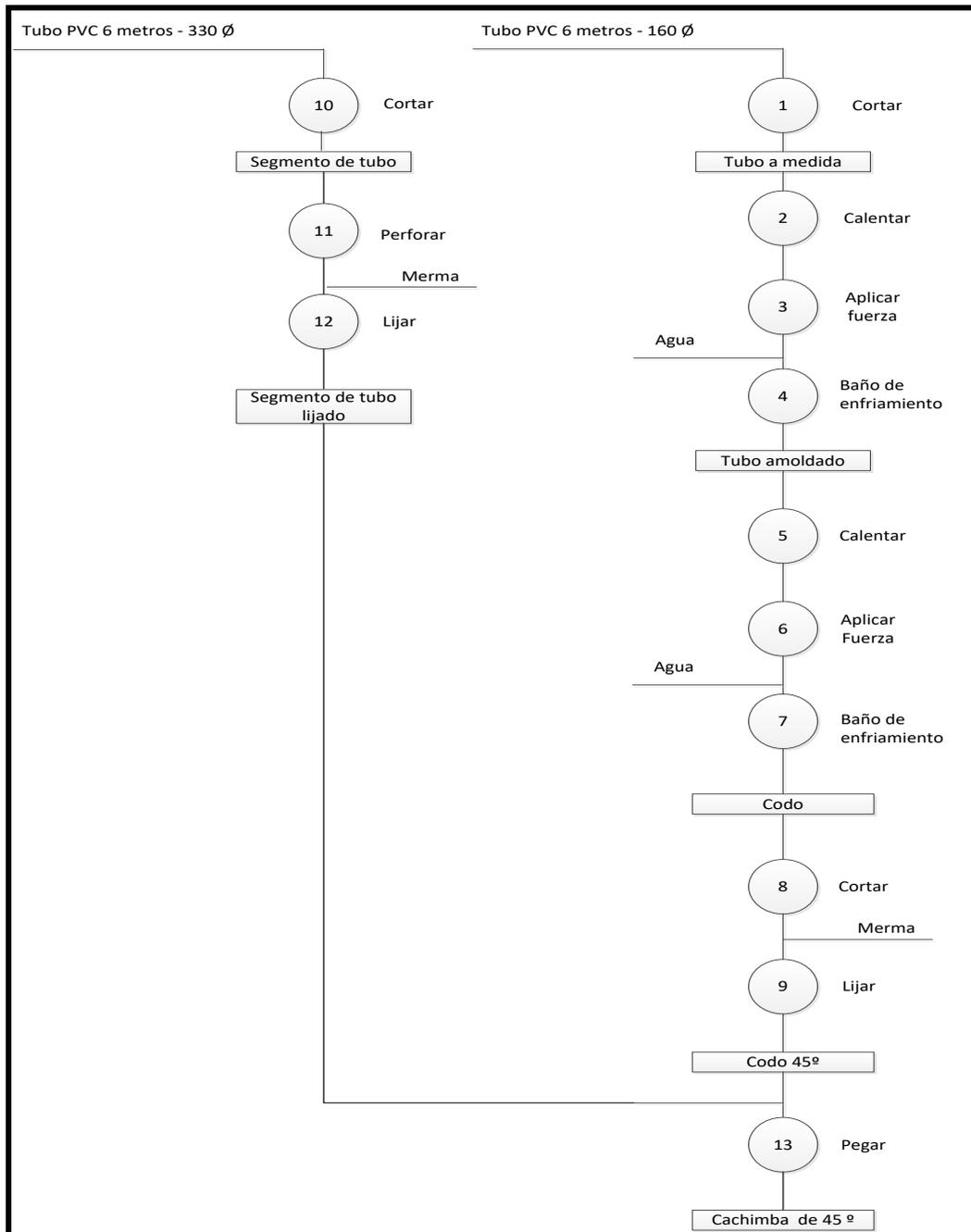
Formato de Auditoría 5s						
		Resumen de puntuación				
		0-25 Ver #1	26-50 Ver #2	51-75 Ver #3	76-100 Ver #4	
Área o Subsector:	PRODUCCIÓN	Puntaje: Obtenido de un max de 100.			38	Auditor:
Fecha:	/ /	Puntaje Anterior:			0	Javier Matsuoka
¿Cómo calificar cada área?						
0	1	2	3	4		
No iniciado; Cero esfuerzo	Actividad iniciada, esfuerzo ligero	Actividad ampliamente utilizada, sin embargo aún existen muchas oportunidades de mejora.	Nivel mínimo aceptable. Sólo puntuar, si este nivel fue sostenido por al menos un (01) mes.	Resultados como Mejor de su clase. Revisado por Gerentes / Jefes / Supervisores. Sólo puntuar, si este nivel fue sostenido por al menos un (01) mes.	Puntuación - Verifique la puntuación para cada punto.	
						0 1 2 3 4
PASO 1: Seleccionar						
1	Componentes, materiales & partes.	Solo el nivel de inventario necesario para realizar el trabajo se encuentra en el área. Desperdicios (desechos) y elementos de re-trabajo, se colocan en recipientes claramente identificados.		1		
2	Maquinaria, equipamiento y racks	Sólo los elementos necesarios para realizar el trabajo se encuentran en el área. No hay máquinas que no sean necesarias, equipos y materia prima en el área.			2	
3	Herramientas, accesorios & otros equipos.	Todas las herramientas y los equipos del área se utilizan de forma regular. Todos los elementos que se utilizan menos de una vez al día, se almacenan fuera del área de trabajo. Cualquier elemento presente que no se utilice, es marcado con una etiqueta roja y ubicado en una zona de etiquetas rojas claramente definida.		1		
4	Pizarras (tableros) informativas.	No hay anuncios / boletines desactualizados, obsoletos, rotos o sucios mostrados. Todos los anuncios / boletines están organizados de una manera recta y ordenada.			2	
5	Primera impresión en general.	La impresión general debe transmitirle que es lo mejor que ha visto para una empresa de manufactura de plásticos			2	
PUNTACIÓN TOTAL						8
PASO 2: Clasificar						
6	Layout del área.	Los equipos, elementos y materiales de trabajo están dispuestos de una manera lógica y ordenada para promover un flujo continuo de producto a través del área de trabajo.		1		
7	Pasillos y marcas en el piso para delimitar áreas.	Las líneas en el piso señalan claramente los pasillos, áreas de trabajo, lugares de almacenamiento y áreas de riesgo.			2	
8	Documentación y señales visuales.	Sólo documentación actualizada y necesaria para hacer el trabajo se almacena y publica en las estaciones de trabajo. La documentación se almacena de una manera limpia y ordenada.			2	
9	Indicadores visuales y almacenamiento.	Los elementos se organizan, dividen, y etiquetan claramente de tal manera que resulta obvio el lugar de almacenamiento y si es que se requiere reponer.			2	
10	Lugar específicos para los accesorios y herramientas de trabajo.	Las herramientas, medidores y accesorios se encuentran almacenadas de forma correcta, limpias y libres de cualquier riesgo de daño. Están ubicados con un fácil acceso para los cambios.			2	
PUNTACIÓN TOTAL						9
PASO 3: Limpieza						
11	Condición de los pisos.	Todos los pisos están limpios y libres de desperdicios, aceites y suciedad. La limpieza de suelos se realiza de manera rutinaria y adecuada a intervalos predeterminados.			2	
12	Máquinas & Equipos.	La limpieza rutinaria de las máquinas es evidente; no hay aceite, alimentos o desperdicios sobre las superficies de trabajo. Los vidrios, luminarias, entre otros; están limpios y en su lugar.			2	
13	Artículos y herramientas de limpieza.	Los equipos de limpieza se almacenan ordenadamente. Deben ser de fácil ubicación y acceso. Los materiales peligrosos y los recipientes de almacenamiento están correctamente etiquetados.		1		
14	Limpieza mas allá de las maquinas.	Todos los equipos, mesas, máquinas, y herramientas se limpian con regularidad. El hábito (consciencia) de limpieza y orden del operario va mas allá que solo su estación de trabajo.		1		
15	Limpieza como hábito (costumbre).	Cuando una demora / parada (de insumos, materia prima y/o equipo) inesperada ocurre, el operario por hábito y de forma automática limpia su área de trabajo y fomenta el orden.			2	
PUNTACIÓN TOTAL						8
PASO 4: Estandarizar						
16	Control Visual.	Existen pizarras informativas en cada área de trabajo productiva y está accesible a todo el personal en el área.		1		
17	Auditorías semanales / mensuales.	Las auditorías 5S se realizan en cada área de trabajo al menos una vez al mes. Los resultados, objetivos y planes de acción se comparten con los trabajadores para alcanzar los resultados propuestos.		1		
18	Seguridad (Personal).	La información relacionada al uso obligatorio y adecuado de los EPP's está disponible en todas las áreas operativas. Todos los operarios usan los EPP's respectivos (guantes, botas, etc).		1		
19	Trabajo estándar.	Los trabajadores que realizan funciones similares, utilizan métodos estándar para lograr resultados consistentes.			2	
20	Revisión de procesos (métodos de trabajo).	Los procesos, métodos de trabajo, son revisados (auditados) constantemente. Los nuevos procesos desarrollados, son documentados, estandarizados y adoptados por todos los involucrados.		1		
PUNTACIÓN TOTAL						6
PASO 5: Sostener						
21	Mantenimiento.	Los empleados están adecuadamente capacitados de modo que los equipos funcionen correctamente. Existe un programa de mantenimiento preventivo implementado y en uso.		1		
22	Responsabilidad del área.	Cada área de la operación está bajo la responsabilidad de un jefe / supervisor / encargado con la autoridad de auditar y hacer cumplir las 5s.			2	
23	Documentos: Control	Todos los documentos están claramente identificados según su contenido. La responsabilidad del control y revisión es clara. Nada está sin identificar.			2	
24	Visitas al área de trabajo.	El gerente/jefe/supervisor visita cada área de trabajo de forma regular y retroalimenta con información y/o recomendaciones sobre los esfuerzos y los resultados de las 5S.		1		
25	Control y mantenimiento (sostenibilidad) de las 5s.	Existen controles para asegurar que cada uno de los elementos anteriores se mantengan en el más alto nivel. Hay un sentido de la responsabilidad de todos los empleados para mantener los sistemas.		1		
PUNTACIÓN TOTAL						7

Fuente : Elaboración propia

2.11.7 Diagrama de Operaciones (DOP)

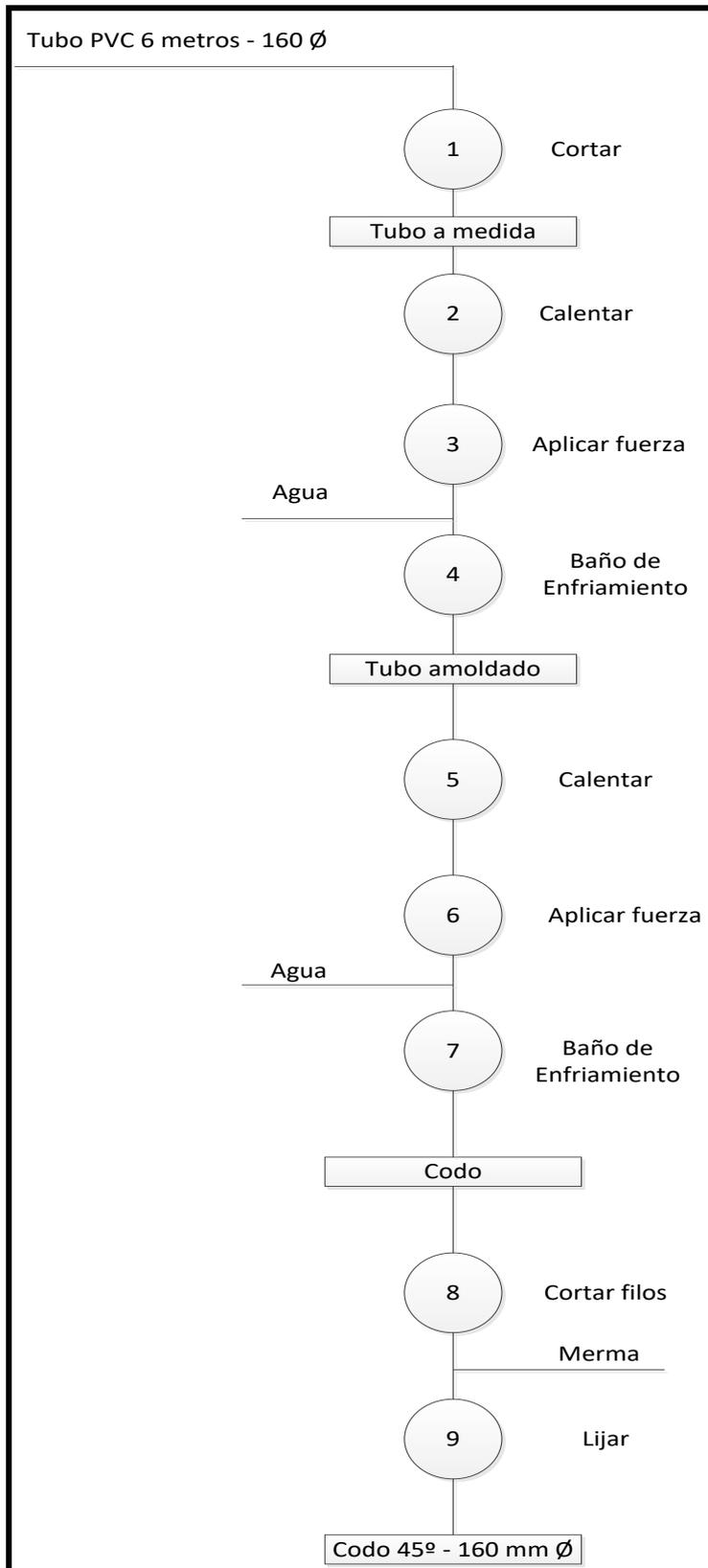
Para una clara representación gráfica, se presenta los Diagramas de Operaciones de las familias de productos descritos en secciones anteriores. En la Figura N° 2.19 se presenta la elaboración de la Cachimba y en la Figura N° 2.20 la elaboración de los Codos, los cuales son los productos más representativos

Figura N° 2-19: Diagrama de Operaciones (DOP) - Cachimbas



Fuente: La empresa. Elaboración propia

Figura N° 2-20: Diagrama de Operaciones (DOP) - Codos



Fuente: La empresa. Elaboración propia

El proceso inicia con el calentamiento del aceite donde se realizará el calentamiento de las secciones del tubo. En paralelo se realiza el corte dimensionado de un tubo entero, proveniente de la empresa EUROTUBO, en secciones acorde a lo requerido. Luego cada sección es calentada de manera individual en un recipiente con un aceite especial por un tiempo aún no establecido. Luego, la sección calentada es empujada horizontalmente a un molde fijo, con lo que adquiere su primera deformación y en paralelo se le aplica un baño de agua fría. Posteriormente, se retira la sección del molde y es apilada junto con las otras secciones.

Luego este grupo de productos en proceso son trasladados para su segundo calentamiento. Cada de una de las piezas individualmente vuelven a ser calentadas por el otro extremo de la pieza. De igual manera el tiempo de calentamiento no ha sido determinado, sólo se basan en el tacto para decidir si ya se encuentra en la temperatura ideal para recibir su segunda deformación. Luego se aplica, con un tubo como molde, una fuerza perpendicular al molde con lo que se logra la curvatura del accesorio de PVC. Finalmente se vuelve aplicar un baño de agua fría, se retira del molde y se apila con el resto de los productos.

Una vez los productos han recibido la curvatura necesaria, estos son trasladados al área de corte, donde perderán una sección de su extensión para luego ser lijados en ambos extremos por una máquina lijadora. Finalmente se les retira el polvo y toda pequeña fibra que pueda quedar debido a esta última etapa y son apilados para su posterior entrega.

2.11.8 Capacidad y desempeño del proceso

Se analizó el tamaño de muestra necesaria para que pueda ser representativa en relación a la producción que se tiene, considerándose la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{N * E^2 + Z^2 * p * q}$$

Donde se consideró la siguiente información:

$$N = 1600$$

$$Z_{(0.95)} = 1.96$$

$$p = 0.5$$

$$q = 0.5$$

$$E = 0.15$$

$$n = \frac{800 * 1.96^2 * 0.5 * 0.5}{800 * 0.15^2 + 1.96^2 * 0.5 * 0.5}$$

$$n = 40 \text{ secciones}$$

El tamaño de muestra requerida será de 40 secciones, con un nivel de confianza del 95% y un error de estimación del 15%.

Una vez determinado el tamaño de muestra representativa, se midió el espesor de la curva de las secciones de tubería de 200 mm de diámetro nominal. Para ello se empleó un compás de exteriores con lo que se pudo obtener el espesor en la curvatura, información que luego era verificada con la medición del vernier de los extremos del compás. Los datos obtenidos de la curvatura de los codos están localizados en el Anexo N° 03.

Según la política del cliente EUROTUBO, se debe cumplir con lo indicado en la Tabla N° 2.11:

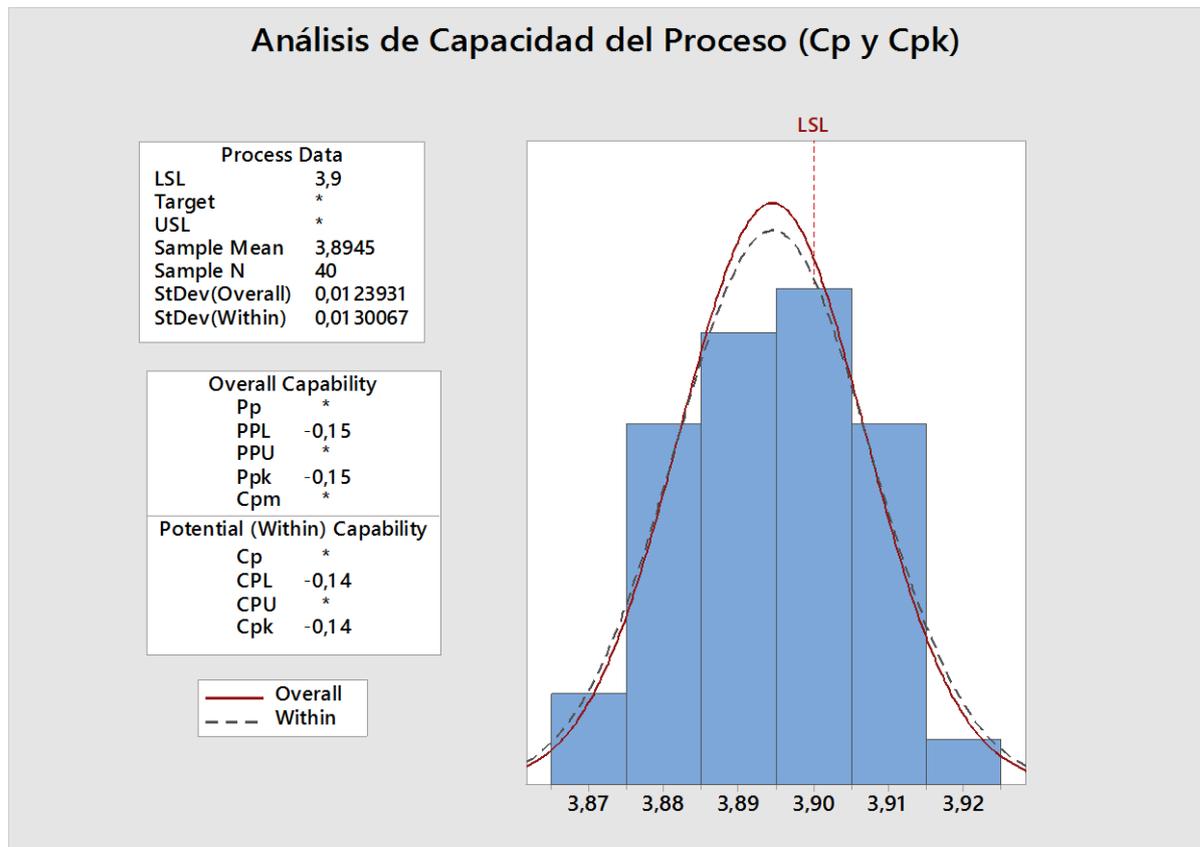
Tabla N° 2-11 : Tabla de espesores mínimos requeridos de los accesorios

Diámetro Nominal (mm)	Espesor min (en mm)	
	Agua	Desagüe
110	3.2	3.2
160	3.2	3.2
200	3.9	3.9
250	4.9	4.9
315	6.2	6.2
400	7.9	7.9

Fuente: EUROTUBO. Elaboración propia

Luego de la medición, se ingresaron los datos recopilados en el software Minitab 17, arrojando la siguiente información que se presenta en la Figura N° 2.21:

Figura N° 2-21: Análisis de la Capacidad del Proceso (C_p)

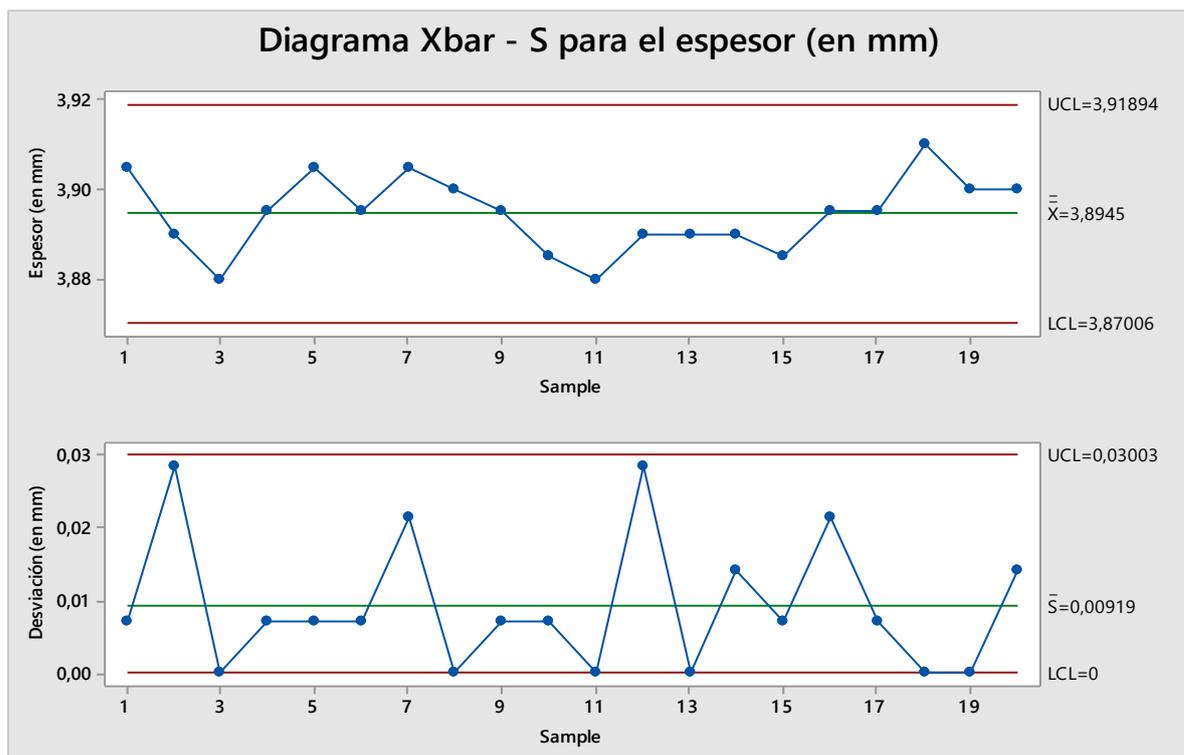


Fuente: La empresa. Elaboración propia

Donde se obtuvo un índice de capacidad potencial del proceso de $C_p = -0.14 < 1$ lo cual señala que el proceso no es el adecuado. El valor negativo se debe a que el indicador toma el valor extremo en caso no se tengan ambas especificaciones y como se tiene la especificación inferior (USL) se trabaja con dicho C_{pi} , lo cual indica que el proceso no cumple con el límite indicado por el cliente y se requiere con urgencia un cambio en el proceso. Asimismo el C_{pk} es -0.14 y es igual al C_{pi} debido que el indicador C_{pk} toma el menor valor de los extremos de las especificaciones y al sólo existir la especificación inferior, ambos indicadores son iguales. El indicador señala que el proceso no es capaz y que se requiere cambios urgentes inmediatos.

En la Figura N° 2.22 se presenta la variación de los espesores a través de una curva \bar{X} (barra) – S:

Figura N° 2-22: Diagrama X barra - S del espesor (en mm)



Fuente: Elaboración propia

Donde se muestra que la tendencia de la dispersión de los datos sugiere un proceso no controlado.

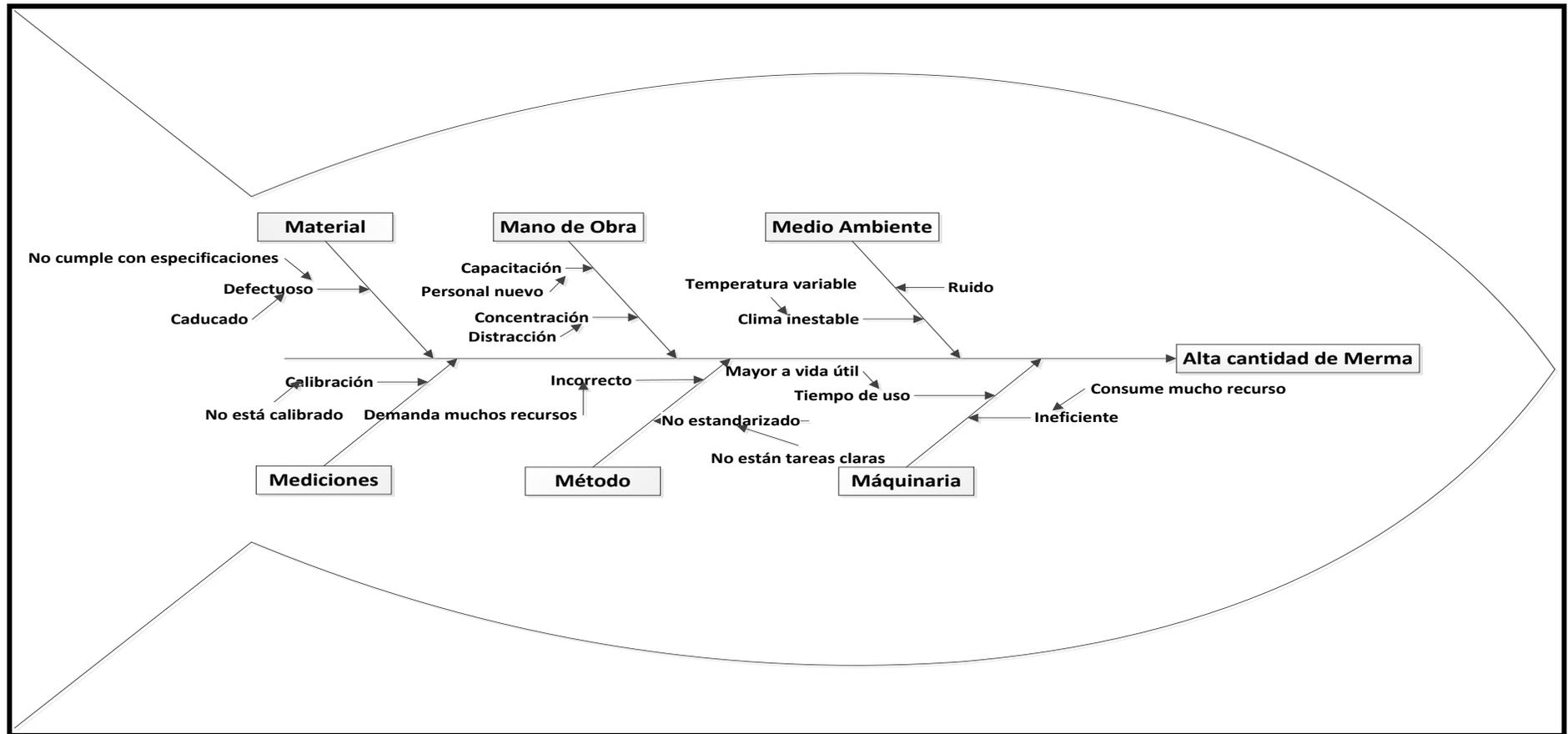
2.12 Desarrollo de la Fase Analizar (A)

Para realizar el análisis del proceso, se inició con diagrama Causa – Efecto (Ishikawa), donde se expondrán las principales posibles causas. Luego con la recopilación de información se ha de poder evidenciar y priorizar las causas que generen el problema y situación de mejora.

2.12.1 Diagrama Causa - Efecto

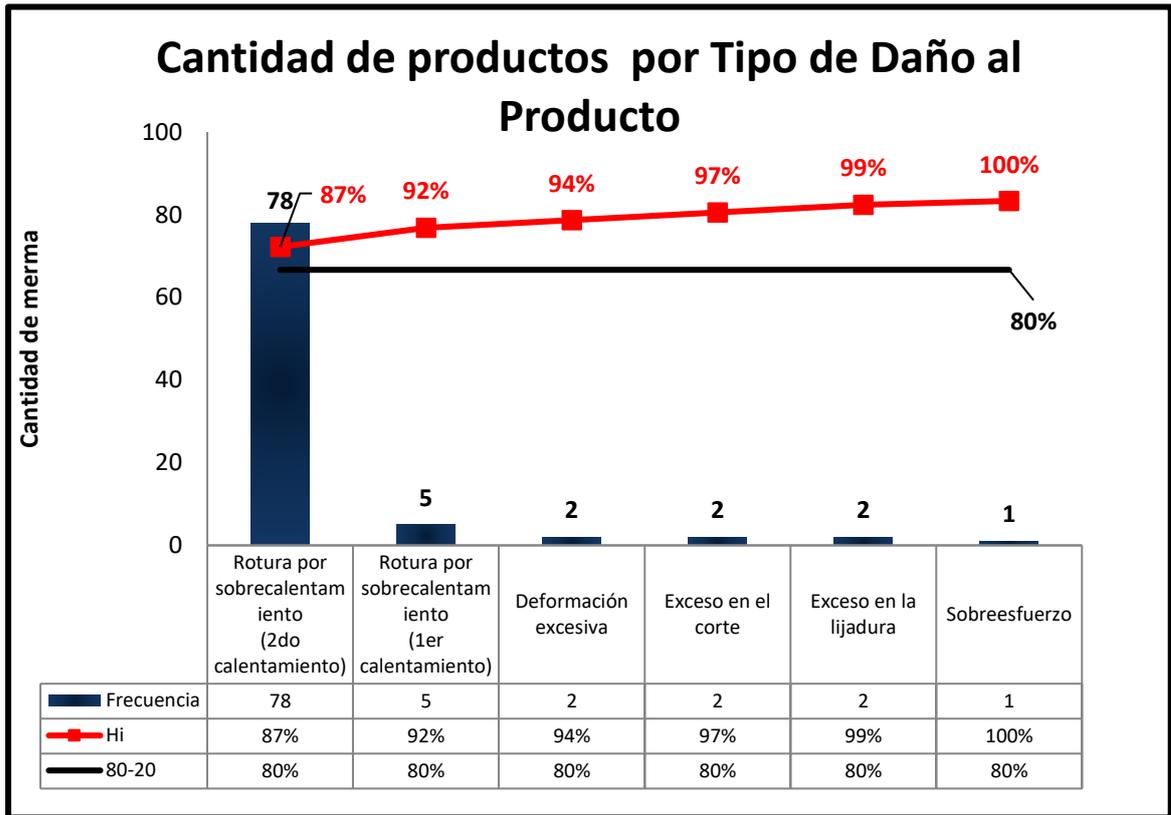
Se realizó un *focus group* contando con la participación de 3 operarios, el supervisor de producción y el dueño de la empresa para la elaboración del siguiente diagrama causa efecto (Ver Figura N° 2.23)

Figura N° 2-23: Diagrama de Ishikawa



Fuente: La empresa. Elaboración propia

Figura N° 2-24: Cuantificación de los tipos de daños



Fuente: La empresa. Elaboración propia

Para realizar el análisis del proceso se tomó como punto inicial de partida 3 factores claves:

Método de Trabajo:

- Temperatura en el aceite
- Tiempo de cocción
- Mano de Obra



Hipótesis de Correlación

Grado de concentración del trabajador

Fuerza para la segunda termodeformación

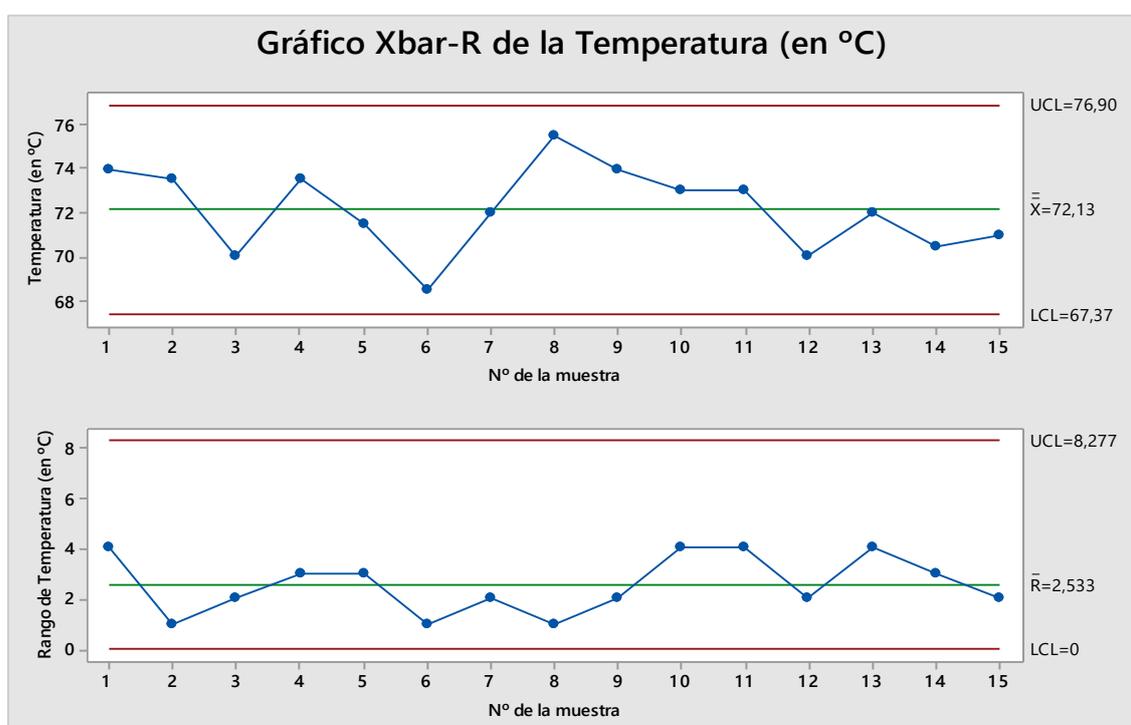
Si bien no existe un procedimiento ni instructivo de trabajo para la empresa, se tomará como punto preliminar de partida lo recomendado por EUROTUBO y otras empresas que elaboran productos de tubería PVC quienes trabajan bajo la normativa NTP ISO

2507-2:1999, la cual señala que la temperatura vítrea (temperatura a la cual empieza a cambiar de estado e inicia su flexibilidad) es de 80° C.

2.12.2 Análisis de la Variabilidad de Factores:

Se consideró tomar 3 muestras de 10 mediciones en un lapso de 30 minutos de una jornada laboral (Ver Anexo N° 04) de producción de codos 45° para obtener la variabilidad de la temperatura del aceite para las secciones muestreadas, los resultados se presentan en la Figura N° 2.25

Figura N° 2-25: Gráfica X barra - R de la Temperatura



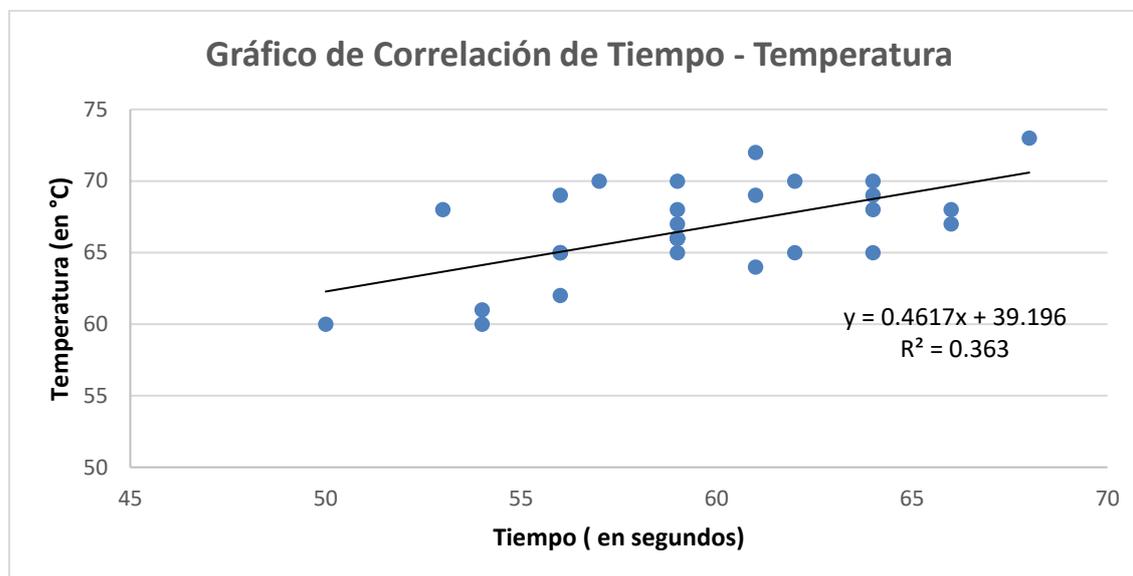
Fuente: La empresa. Elaboración Propia

2.12.3 Análisis de Correlación:

Se consideró tomar 3 muestras de 10 mediciones en un lapso de 45 minutos de una jornada laboral (Ver Anexo N° 04) de producción de codos 45° para obtener el cálculo

de correlación de las variables: Tiempo de Cocción (X) – Temperatura del aceite (Y); obteniéndose la siguiente gráfica:

Figura N° 2-26: Gráfico de correlación Tiempo - Temperatura



Fuente: Elaboración propia

Donde se obtuvo que las variables en estudios están representadas por la siguiente ecuación:

$$Y = 0.4617 * X + 39.196$$

Según la tabla de coeficientes críticos de correlación de Pearson⁴⁵, para 28 puntos (GL = 30 - 2 = 28), el valor mínimo de coeficiente de correlación es 0.361 y el R actual es de 0.602; por lo tanto se acepta la hipótesis de que las 2 variables si están correlacionadas positivamente.

⁴⁵ Ver el Anexo N° 05: Tabla de Valores Críticos de Pearson.

2.12.4 Identificación de las mudas:

A continuación, en la Tabla N° 2.12 se presenta la identificación de las mudas para cada etapa del proceso productivo:

Tabla N° 2-12 : Identificación de mudas por proceso

N° registro	Tipo de Muda	Sub-proceso			
		Corte	Termoformado -1	Termoformado-2	Corte-Lijado
1	Sobreproducción		x		
2	Demora /Tiempo de espera		x	x	x
3	Inventario		x	x	
4	Transporte	x			
5	Defectos	x	x	x	x
6	Desperdicios	x	x	x	
7	Movimiento	x	x	x	x
8	Sub-utilización personal				x

Fuente: La empresa. Elaboración propia

Donde se evidencia que cada proceso tiene al menos el 50% de los desperdicios que indica la metodología Lean Manufacturing, siendo los desperdicios relacionados a los defectos, desperdicios y movimiento innecesarios los de mayor incidencia en los 4 subprocesos.

3. CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE MEJORA DEL PROCESO

El objetivo del siguiente capítulo es presentar la propuesta de mejora al proceso en estudio. Siguiendo el ciclo de mejora DMAIC, corresponde al desarrollo de la fase Mejorar (I). Se analizará el VSM con el fin de reducir los desperdicios identificados en cada subprocesso identificado y mejorar la productividad de cada etapa en mención.

3.1 Desarrollo de la Fase Mejorar (I)

De los procesos identificados, se planteó las siguientes propuestas:

3.1.1 Proceso de Corte:

Los operarios realizan el corte de la sección de tubo con una cuchilla giratoria empotrada a una base. Para ello, 2 operarios cargan parte del cuerpo y una tercera persona dirige la acción del corte propiamente dicho. Dicho corte es realizado de manera perpendicular a la cuchilla, por lo que no siempre se tiene exactitud del corte a lo largo de la circunferencia.

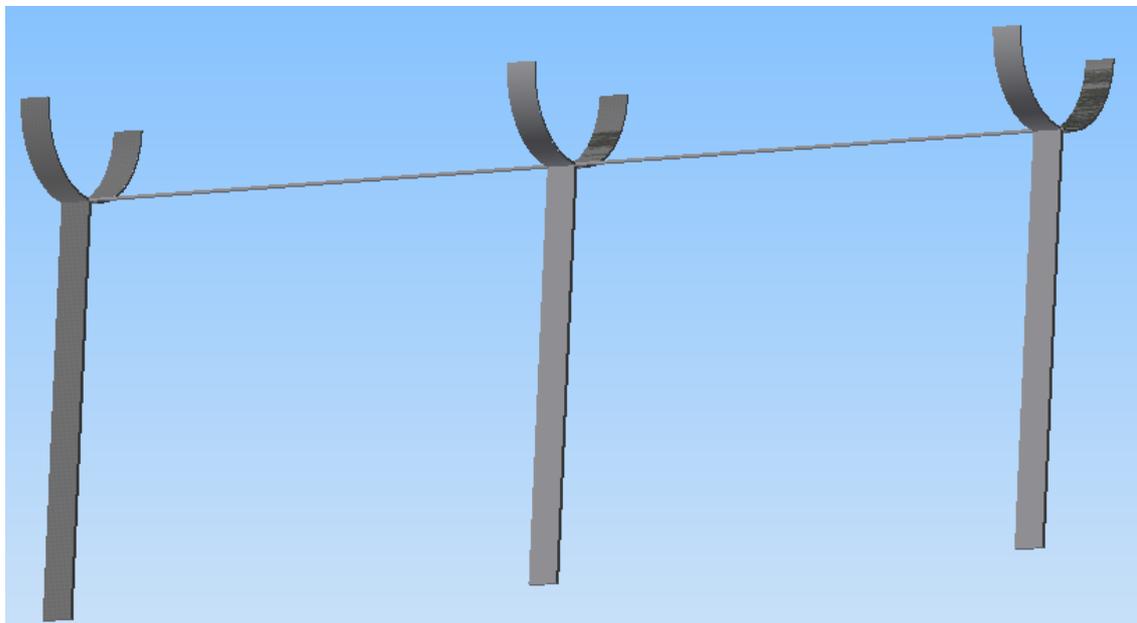
Según se pudo visualizar en el VSM, dicho proceso está empleando 3 personas para realizar la acción de marcar y seccionar el tubo en partes, con un tiempo de corte de 3 min/sección.

3.1.2 Propuesta al Proceso de Corte:

Para una mejor forma de agarre del tubo completo, utilizar 3 canaletas de apoyo unidas – distanciadas 2 metros de cada una - por una sección de metal que permita el

deslizamiento del tubo mientras se corta, así se deja de necesitar a las 2 personas adicionales que sostienen el tubo mientras la persona que dirige la acción corta el tubo.

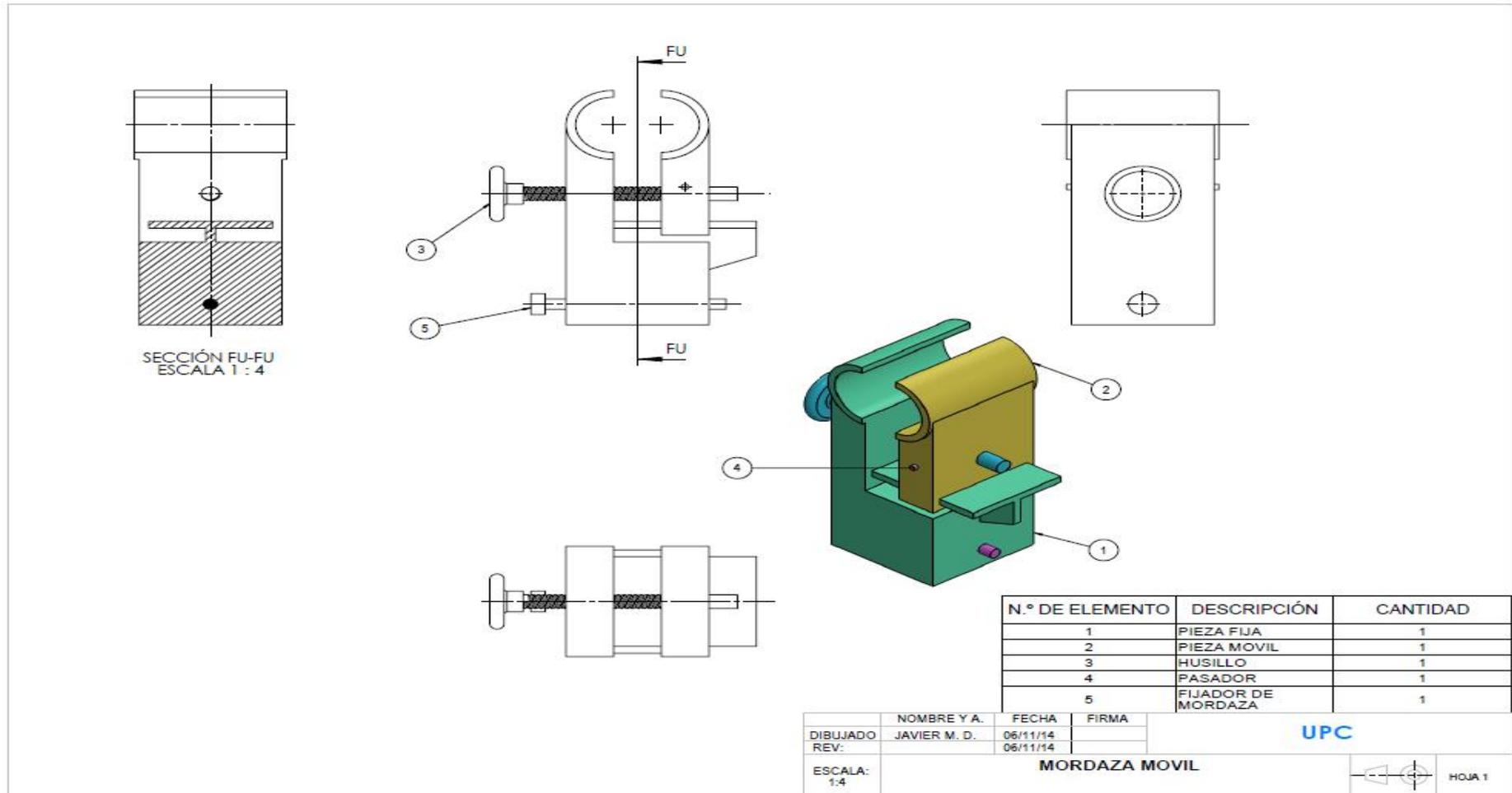
Figura N° 3-1: Prototipo de soportes



Fuente: Elaboración propia

Una vez garantizado el soporte y estabilidad del cuerpo de la tubería, se requiere garantizar la anulación del movimiento de la sección durante el contacto con la ingleteadora. Para ellos se propone colocar en la base un soporte que permita sujetar al tubo mediante 2 sujetadores laterales. La propuesta se presenta en la Figura N° 3.2. El detalle de las dimensiones y cantidades utilizadas se presenta en el Anexo N° 06.

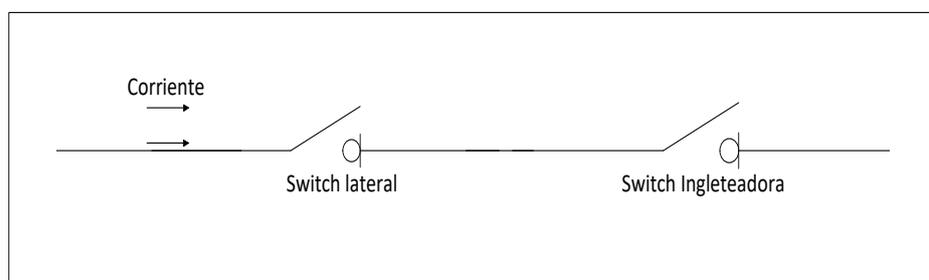
Figura N° 3-2: Diseño de los sujetadores laterales o mordaza móvil



Fuente: Elaboración propia

Cuando ya se encuentra estático el cuerpo del tubo en los sujetadores laterales, se procede a activar la ingleteadora. Para garantizar el bienestar del trabajador, se propone modificar el sistema de alimentación del sistema eléctrico del motor mediante 2 switches que finalmente activen y permitan el paso de corriente. Para ello se usará un sistema poka joke rápido que controle y condicione el paso de la corriente eléctrica cuando el operario ya se encuentre en una posición determinada que garantice su integridad. En la Figura N°3.3 se presenta la propuesta de instalación y en la Tabla N° se presenta N° el momento en el que se habilita el pase de corriente a la ingleteadora.

Figura N° 3-3: Sistema poka joke para la alimentación de la ingleteadora



Fuente: Elaboración propia

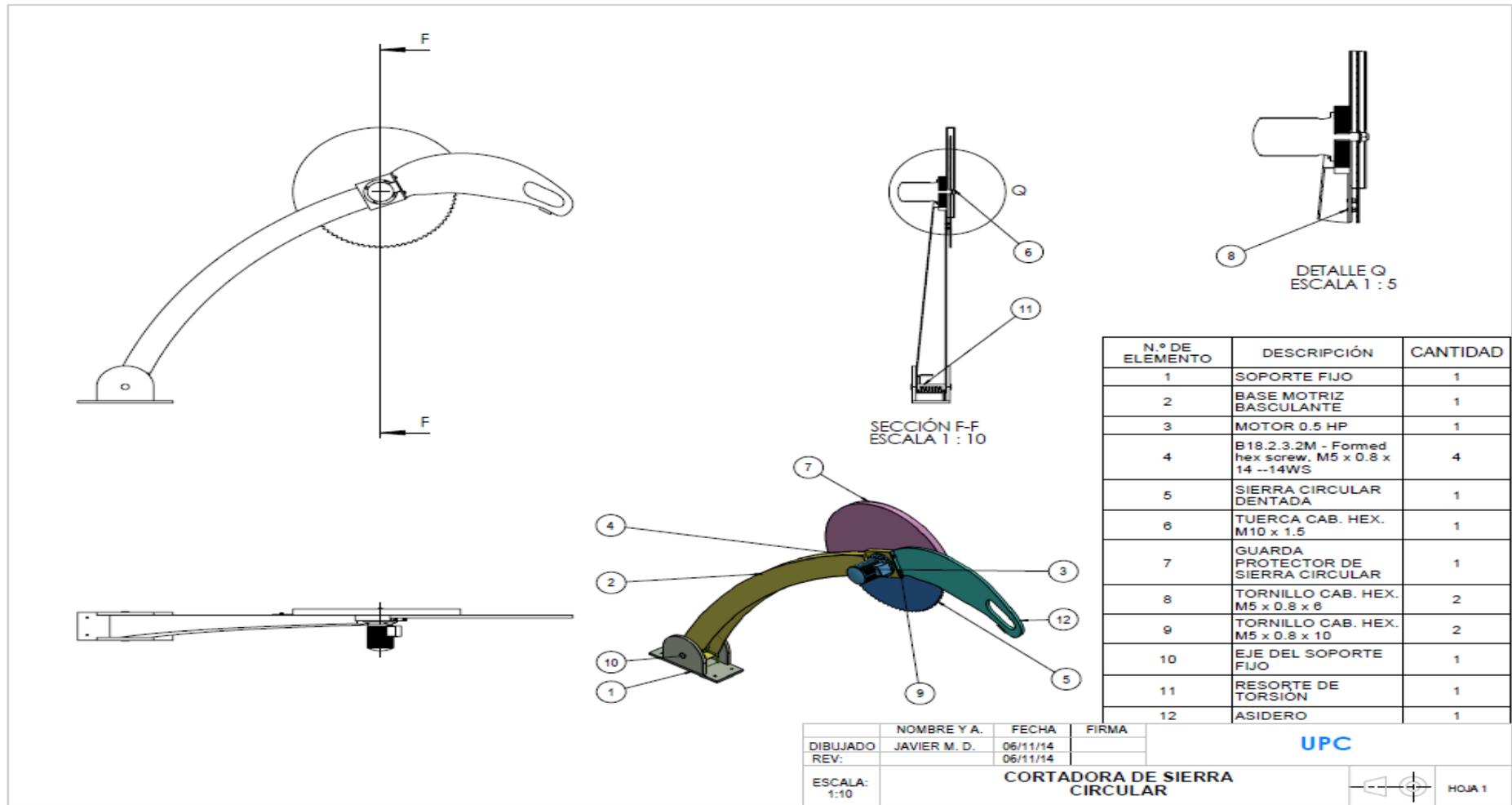
Tabla N° 3-1 : Tabla de lógica de funcionamiento del Poka Joke

Switch Lateral	Switch Ingleteadora	Resultado
Off	Off	No pasa corriente
Off	On	No pasa corriente
On	Off	No pasa corriente
On	On	Pasa corriente

Fuente: Elaboración propia

El corte será realizado por la ingleteadora de manera perpendicular al tubo cuando ya se haya garantizado la estabilidad del tubo. En la Figura N° 3.4 se presenta la propuesta de ingleteadora para la tarea a realizar. El detalle de las dimensiones y cantidades utilizadas se presenta en el Anexo N° 07.

Figura N° 3-4: Diseño de la cortada de sierra circular o ingleteadora



Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Proceso del Termoformado:

En la fase del análisis (A), se evidenció que el 87% de la merma de producción (de una muestra de 90 secciones) se presenta en la 2ª etapa del termoformado. Asimismo, el tiempo de cocción como la temperatura de cocción no están definidos ni controlados, y la única forma para definir si es momento de iniciar la deformación física de la sección es el contacto con el tubo calentado.

Cabe resaltar que existen 2 etapas de calentamiento, y se tratan de manera independientes debido al sistema de producción que emplean y para ello utilizan 2 sistemas de calentamiento independientes, es decir 2 pequeños hornos y 2 moldes empotrados, que según sea el diámetro requerido son cambiados.

3.1.4 Propuesta al Proceso de Termoformado:

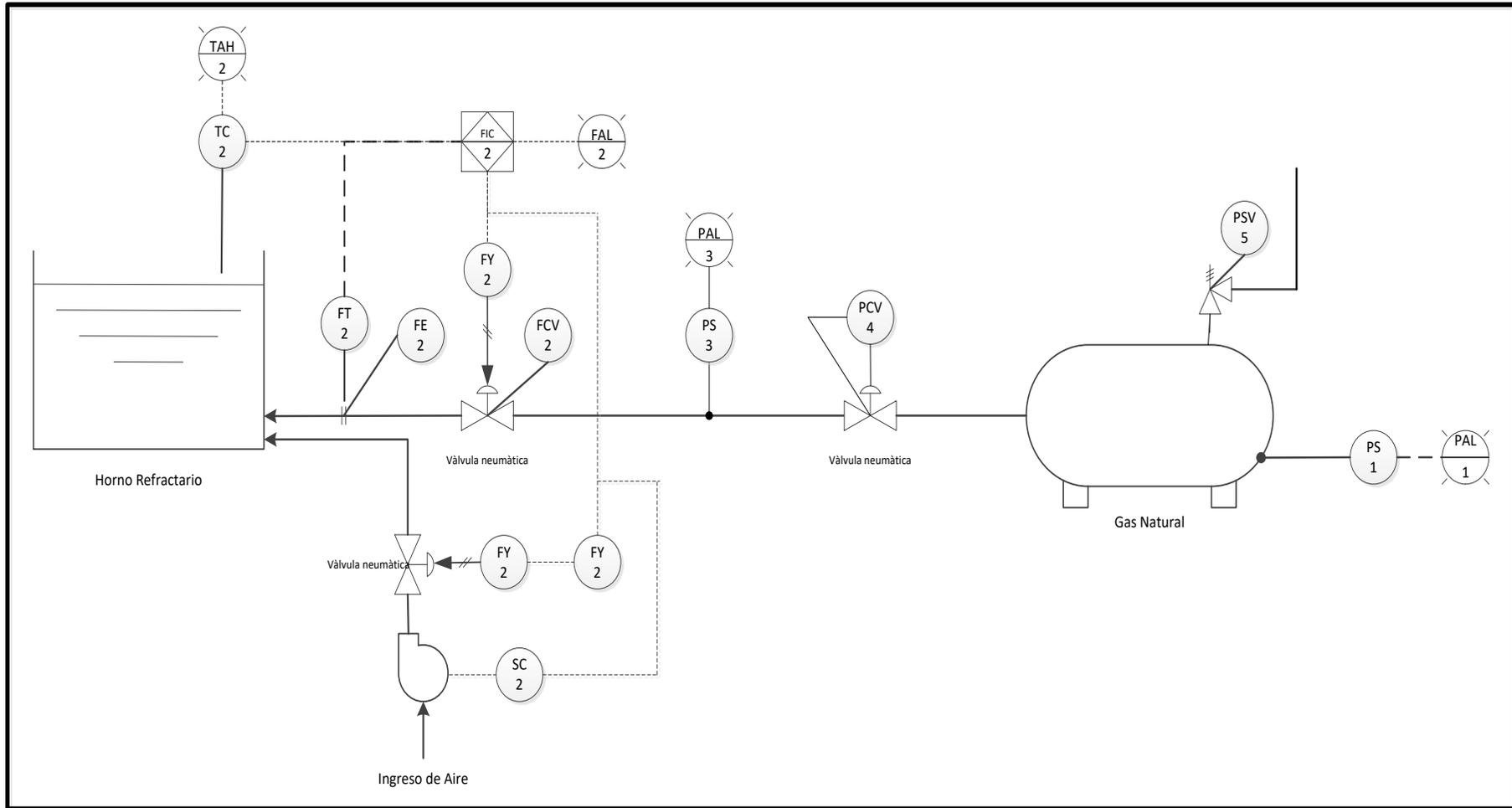
Al estar el sistema de cocción al aire libre, se pierde calor de transferencia, no se puede uniformizar el tiempo de cocción ni tener una temperatura estándar con la cual iniciar la operación.

Según la NTP ISO 2507, la temperatura en la cual el tubo empieza a perder rigidez y ganar flexibilidad, conocido como temperatura de transición vítrea o reblandecimiento VICAT, es de 80 °C. A partir de allí es que se realizaron pruebas con un pequeño horno refractario que aisle el calor y poder establecer mediante pruebas el tiempo promedio que demora una sección de tubo en lograr ganar la flexibilidad adecuada para el inicio de la operación. Los datos obtenidos se presentan en el Anexo N°08, con lo que se pudo estimar un tiempo promedio con los que trabajar bajo la temperatura de 80 °C, de 23 segundos.

Para ello controlar dichos factores y adaptarse a lo que el proceso demanda, se propone implementar un horno de material refractario y un sistema de control de temperatura PLC⁴⁶ que indicará la temperatura y graduará el flujo de gas acorde al set-up que se haya definido. En la Figura N°3.5, se presenta el diagrama de tuberías e instrumentación propuesto para el sistema de termoformado.

⁴⁶ PID: Según sus siglas significa Controlador Lógico Programable.

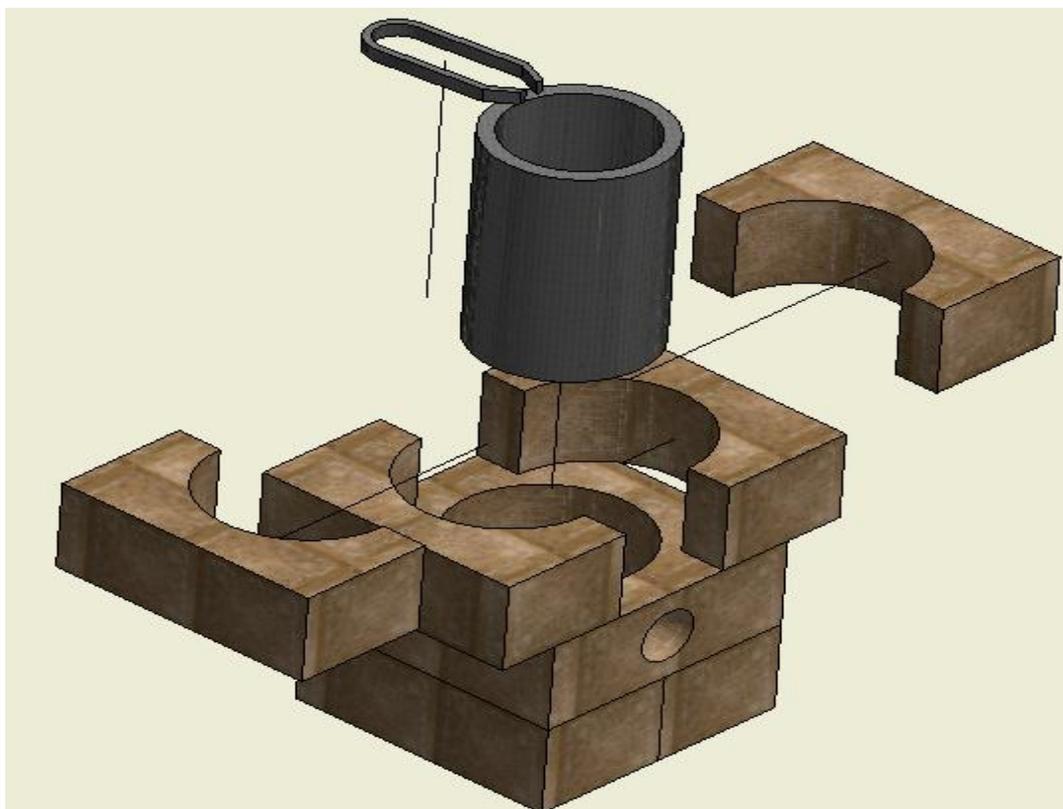
Figura N° 3-5: Diagrama de tuberías del sistema propuesto



Fuente: Elaboración propia

Para retener el calor del sistema de cocción propuesto, se requiere de un horno refractario. En la figura N° 3.6 se presenta el prototipo del horno refractario mencionado.

Figura N° 3-6: Prototipo del horno refractario (Explosión de materiales)



Fuente: Elaboración Propia

Características del Horno Refractario:

Tabla N° 3-2 : Lista de materiales del horno

Materiales	Cantidad
<input type="checkbox"/> Ladrillos refractarios para fogones	8
<input type="checkbox"/> Pegamento(mortero) refractario	2 Bolsas de 500 gr.
<input type="checkbox"/> Láminas de acero galvanizada	12 varillas
<input type="checkbox"/> Combustible : Gas Natural	-

Fuente: Elaboración Propia

Procedimiento de Construcción:

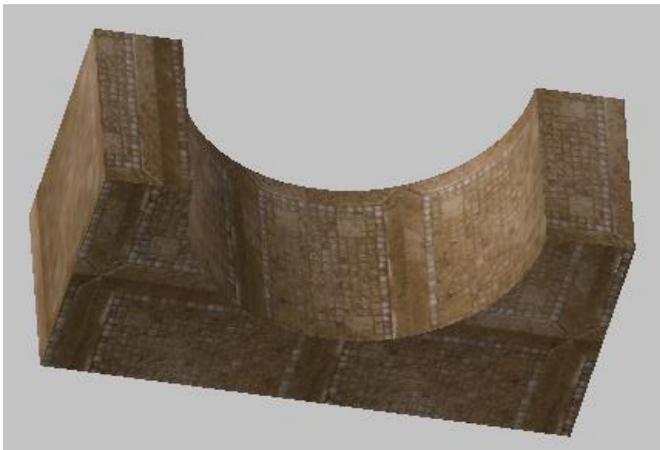
Formación de la cámara de combustión:



Cortar 6 ladrillos refractarios haciendo una media luna de 9" de diámetro, sea con un taladro o una cuchilla. En esta primera etapa se ha de tener mucho cuidado por la fragilidad del material.

El trabajador ha de contar con lentes que protejan la vista y mascarilla para protegerse del polvo que produce el proceso.

El trabajador ha de contar con lentes que protejan la vista y mascarilla para



Con ello se busca tener la sección que servirá de base para el metal que llevará el aceite y permitirá aislar el sistema del ambiente, reteniendo el calor.

Para la transmisión del gas al horno refractario, se ha de perforar un ladrillo con la ayuda de un taladro, teniendo en cuenta que el ladrillo es frágil. La hendidura ha de tener aproximadamente 4 cm de diámetro para permitir el ingreso de la sección de tubo metálico que transporta Gas y luego participará de la combustión.

Armado del Horno Refractario:

- Colocar 2 ladrillos como base del horno y unirlos con pegamento refractario. El pegamento refractario debe ser disuelto con agua hasta que se forme una sustancia

pastosa y aplicado a las juntas para evitar la fuga del calor y garantizar la unión de los ladrillos.

- Colocar en la parte superior a la base los ladrillos con corte circular e ir aplicándoles el pegamento refractario.

- De esa manera quedará armado el horno refractario. Se debe dejar reposar el horno para que puedan quedar juntas las secciones.

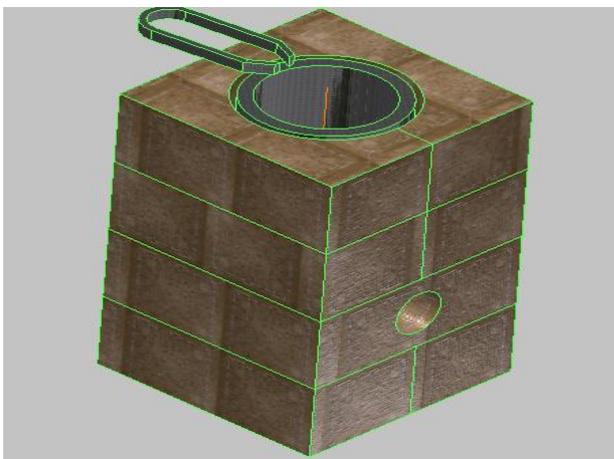
Para garantizar la unión y durabilidad de las secciones y del horno, se ha de colocar en los bordes unas láminas de acero galvanizado. Para ello se ha de soldar las juntas en todo el contorno del horno a modo de armadura y protección del horno.

Acoplamiento del recipiente:

Asimismo, dentro del horno refractario se ha de colocar un recipiente de acero que ha de contener el aceite que se calentará. Este recipiente ha de tener unas varillas exteriores que permitan su fácil extracción del horno refractario y cambio de aceite cuando se necesite.

A continuación se muestra un prototipo del horno en mención:

Figura N° 3-7: Prototipo del horno refractario (armado)



Fuente: Elaboración propia

3.1.5 Transmisión del gas:

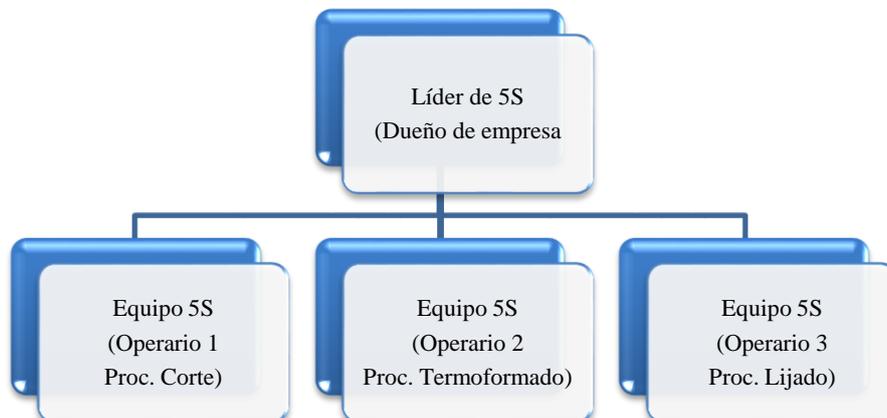
Para la cocción de los tubos, la empresa utiliza Gas Butano como fuente de poder energético debido a la alta capacidad calorífica que tiene dicho gas (107069 kJ/m³). Asimismo, como se presentó en el diagrama de tuberías el sistema requiere de tuberías de cobre para la transmisión del gas y válvulas que regulen el paso del gas bajo la lógica programada en el PLC.

3.1.6 Aplicación 5's

Formación de Equipo 5's:

Para la propuesta de implementación de las 5's en la empresa se consideró la formación de un equipo que tenga como prioridad el soporte del cumplimiento de la mejora. En la Figura N° 3.8 se muestra el organigrama del equipo 5 S:

Figura N° 3-8: Organigrama del equipo 5S



Fuente: Elaboración propia

El equipo de trabajo, además de la propuesta de mejora, deberá de revisar y analizar las condiciones y el escenario ideal que desean de las estaciones de trabajo. Para ello se ha de utilizar el siguiente formato:

Tabla N° 3-3 : Plantilla de evaluación 5'S por proceso

Formato de Auditoría 5s									
Área o Subsector:		Resumen de puntuación				Auditor:			
Fecha: / /		Puntaje: Obtenido de un max de 100.		0					
		Puntaje Anterior:				Javier Matsuoka			
¿Cómo calificar cada área?									
0	1	2	3	4	Puntuación - Verifique la puntuación para cada punto.				
No iniciado; Cero esfuerzo	Actividad iniciada, esfuerzo ligero	Actividad ampliamente utilizada, sin embargo aún existen muchas oportunidades de mejora.	Nivel mínimo aceptable. Sólo puntuar, si este nivel fue sostenido por al menos un (01) mes.	Resultados como Mejor de su clase. Revisado por Gerentes / Jefes / Supervisores. Sólo puntuar, si este nivel fue sostenido por al menos un (01) mes.	0	1	2	3	4
PASO 1: Seleccionar									
1	Componentes, materiales & partes.	Solo el nivel de inventario necesario para realizar el trabajo se encuentra en el área. Desperdicios (desechos) y elementos de re-trabajo, se colocan en recipientes claramente identificados.							
2	Maquinaria, equipamiento y racks	Sólo los elementos necesarios para realizar el trabajo se encuentran en el área. No hay máquinas que no sean necesarias, equipos y materia prima en el área.							
3	Herramientas, accesorios & otros equipos.	Todas las herramientas, vajilla y los equipos del área se utilizan de forma regular. Todos los elementos que se utilizan menos de una vez al día, se almacenan fuera del área de trabajo. Cualquier elemento presente que no se utilice, es marcado con una etiqueta roja y ubicado en una zona de etiquetas rojas claramente definida.							
4	Pizarras (tableros) informativas.	No hay anuncios / boletines desactualizados, obsoletos, rotos o sucios mostrados. Todos los anuncios / boletines están organizados de una manera recta y ordenada.							
5	Primera impresión en general.	La impresión general debe transmitirle que es lo mejor que ha visto para una empresa de manufactura de plásticos							
PUNTACIÓN TOTAL					0				
PASO 2: Clasificar									
6	Layout del área.	Los equipos, elementos y materiales de trabajo están dispuestos de una manera lógica y ordenada para promover un flujo continuo de producto a través del área de trabajo.							
7	Pasillos y marcas en el piso para delimitar áreas.	Las líneas en el piso señalan claramente los pasillos, áreas de trabajo, lugares de almacenamiento y áreas de riesgo.							
8	Documentación y señales visuales.	Sólo documentación actualizada y necesaria para hacer el trabajo se almacena y publica en las estaciones de trabajo. La documentación se almacena de una manera limpia y ordenada.							
9	Indicadores visuales y almacenamiento.	Los elementos se organizan, dividen, y etiquetan claramente de tal manera que resulta obvio el lugar de almacenamiento y si es que se requiere reponer.							
10	Lugar específicos para los accesorios y herramientas de trabajo.	Las herramientas, medidores y accesorios se encuentran almacenadas de forma correcta, limpias y libres de cualquier riesgo de daño. Están ubicados con un fácil acceso para los cambios.							
PUNTACIÓN TOTAL					0				
PASO 3: Limpieza									
11	Condición de los pisos.	Todos los pisos están limpios y libres de desperdicios, aceites y suciedad. La limpieza de suelos se realiza de manera rutinaria y adecuada a intervalos predeterminados.							
12	Máquinas & Equipos.	La limpieza rutinaria de las máquinas es evidente; no hay aceite, alimentos o desperdicios sobre las superficies de trabajo. Los vidrios, luminarias, entre otros; están limpios y en su lugar.							
13	Artículos y herramientas de limpieza.	Los equipos de limpieza se almacenan ordenadamente. Deben ser de fácil ubicación y acceso. Los materiales peligrosos y los recipientes de almacenamiento están correctamente etiquetados.							
14	Limpieza mas allá de las maquinas.	Todos los equipos, mesas, máquinas, y herramientas se limpian con regularidad. El hábito (consciencia) de limpieza y orden del operario va mas allá que solo su estación de trabajo.							
15	Limpieza como hábito (costumbre).	Cuando una demora / parada (de insumos, materia prima y/o equipo) inesperada ocurre, el operario por hábito y de forma automática limpia su área de trabajo y fomenta el orden.							
PUNTACIÓN TOTAL					0				
PASO 4: Estandarizar									
16	Control Visual.	Existen pizarras informativas en cada área de trabajo productiva y está accesible a todo el personal en el área.							
17	Auditorías semanales / mensuales.	Las auditorías 5S se realizan en cada área de trabajo al menos una vez al mes. Los resultados, objetivos y planes de acción se comparten con los trabajadores para alcanzar los resultados propuestos.							
18	Seguridad (Personal).	La información relacionada al uso obligatorio y adecuado de los EPP's está disponible en todas las áreas operativas. Todos los operarios usan los EPP's respectivos (guantes, botas, etc).							
19	Trabajo estándar.	Los trabajadores que realizan funciones similares, utilizan métodos estándar para lograr resultados consistentes.							
20	Revisión de procesos (métodos de trabajo).	Los procesos, métodos de trabajo, son revisados (auditados) constantemente. Los nuevos procesos desarrollados, son documentados, estandarizados y adoptados por todos los involucrados.							
PUNTACIÓN TOTAL					0				
PASO 5: Sostener									
21	Mantenimiento.	Los empleados están adecuadamente capacitados de modo que los equipos funcionen correctamente. Existe un programa de mantenimiento preventivo implementado y en uso.							
22	Responsabilidad del área.	Cada área de la operación está bajo la responsabilidad de un jefe / supervisor / encargado con la autoridad de auditar y hacer cumplir las 5s.							
23	Documentos: Control	Todos los documentos están claramente identificados según su contenido. La responsabilidad del control y revisión es clara. Nada está sin identificar.							
24	Visitas al área de trabajo.	El gerente/jefe/supervisor visita cada área de trabajo de forma regular y retroalimenta con información y/o recomendaciones sobre los esfuerzos y los resultados de las 5S.							
25	Control y mantenimiento (sustentabilidad) de las 5s.	Existen controles para asegurar que cada uno de los elementos anteriores se mantengan en el más alto nivel. Hay un sentido de la responsabilidad de todos los empleados para mantener los sistemas.							
PUNTACIÓN TOTAL					0				

Fuente: Elaboración Propia

a. Seiri: Clasificar

Acondicionar un lugar para el inicio de la eliminación de los materiales que no sean necesarios en el proceso productivo.

Asignar a cada herramienta u objeto un etiquetado diferenciado en el color según su utilización. Se empleará los colores amarillos y rojos para aquellos elementos de bajo uso y elementos innecesarios, respectivamente. En la Figura N° 3.9 se muestran el formato que se llenará para el etiquetado.

Figura N° 3-9: Formato para el etiquetado

Información General Recopilada	
Nombre del elemento:	.....
Fecha de identificación:	.....
Cantidad:	.....
Proceso:	.....
Categoría	
Maquinaria:	.....
Herramienta:	.....
Insumo:	.....
Producto en proceso:	.....
Repuesto:	.....
Producto terminado:	.....
Equipo de oficina:	.....
Motivo de Etiqueta	
No necesario:	.....
Defectuoso:	.....
Obsoleto:	.....
Otros:	.....

Fuente: Elaboración propia

b. Seito: Organizar

Cuando ya tengan su marca de color, se procede a elaborar una lista para ver el tratamiento de dichos elementos. En la Figura N° 3.10, se muestra el formato que se empleará para el tratamiento luego de clasificar los elementos. Finalmente, en la Figura N° 3.11., se muestra el formato para llevar un control de los elementos etiquetados y el tratamiento que tendrán por el tipo de proceso.

Figura N° 3-10: Formato para plan de acción

Plan de Acción sobre las Etiquetas	
Desechar:	.....
Vender:	.....
Reubicar:	.....
Otros:	.....

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3-11: Formato para el control de artículos etiquetados por proceso

Resumen				
Proceso	N° de artículos identificados			
	Desechar	Vender	Reubicar	Otros
Corte				
Termoformado-1				
Termoformado-2				
Corte-Lijado				

Fuente: Elaboración propia

c. Seiso: Limpiar

Se determinará el tiempo promedio de utilización del aceite término de transferencia de calor para establecer un cronograma en el que se pueda planificar la llegada del *service* encargado del tratamiento de dicho insumo.

Para la limpieza de la viruta sobrante del proceso de corte y lijado se empleará mascarillas faciales con el fin de garantizar que el operario no aspire dicho polvo. La

limpieza ha de realizarse de manera diaria con 30 minutos antes de la culminación del jornal diario. Los empleados han de rotarse la labor de manera semanal para lograr una equidad y sentido de responsabilidad de cada uno de ellos. En la Figura N° 3.12, se presenta un formato para el control semanal del cumplimiento por parte de los operarios. Es responsabilidad del líder del equipo 5s y los operarios el cumplimiento de dicho control.

Figura N° 3-12: Formato de control de limpieza en las estaciones de trabajo

Planificación de Limpieza												
	Mes1				Mes2				Mes3			
	Semana1	Semana2	Semana3	Semana4	Semana1	Semana2	Semana3	Semana4	Semana1	Semana2	Semana3	Semana4
Operario1												
Operario2												
Operario3												
Operario4												
Operario5												
Operario6												

Fuente: Elaboración propia

d. Seiketsu: Estandarización

Una vez realizada los 3 pasos anteriores, se debe realizar una planificación diaria y mensual para velar el cumplimiento de la mejora en curso.

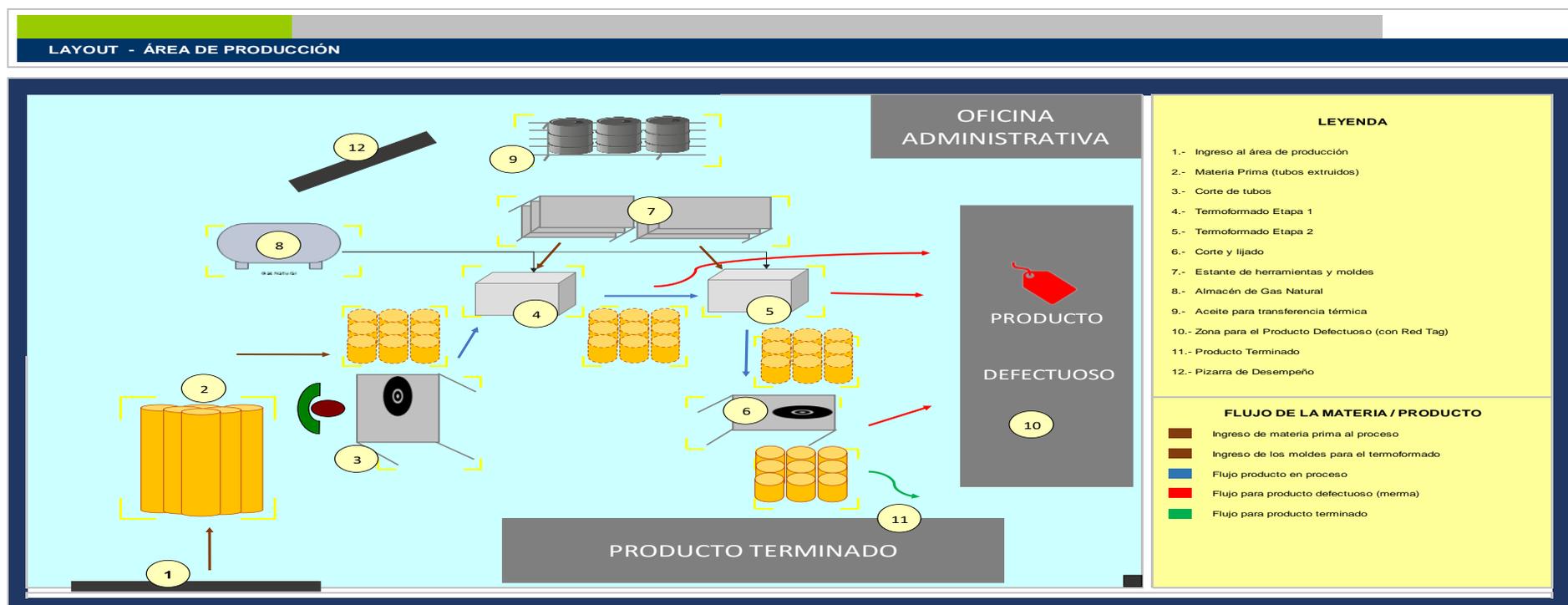
e. Shitsuke: Disciplina

Para lograr el involucramiento del personal en el proceso de mejora, se debe evidenciar la mejora que se logra. Utilizar para ello registro fotográfico de cómo eran las estaciones de trabajo antes de la implementación y cómo es que se va progresando a lo largo del tiempo. Es importante que esta implementación sea parte de la rutina de los operarios para lograr un impacto permanente en el tiempo.

3.1.7 Propuesta de Layout:

En la Figura N° 3.13 se presenta la propuesta de mejora con las consideraciones propuestas como mejora al proceso productivo. Se evidencia una coherencia en el proceso y delimitación para cada parte del proceso (cada cosa en su sitio). Asimismo, se incluye una pizarra de desempeño donde diariamente se tocarán los temas importantes y el desempeño de la producción.

Figura N° 3-13 : Propuesta de Layout



Fuente: Elaboración propuesta

3.1.8 Lista de recursos

En la Tabla N° 3.3 se presenta el cuadro con los recursos requeridos para la implementación de las mejoras propuestas:

Tabla N° 3-4 : Lista de recursos para la propuesta de mejora

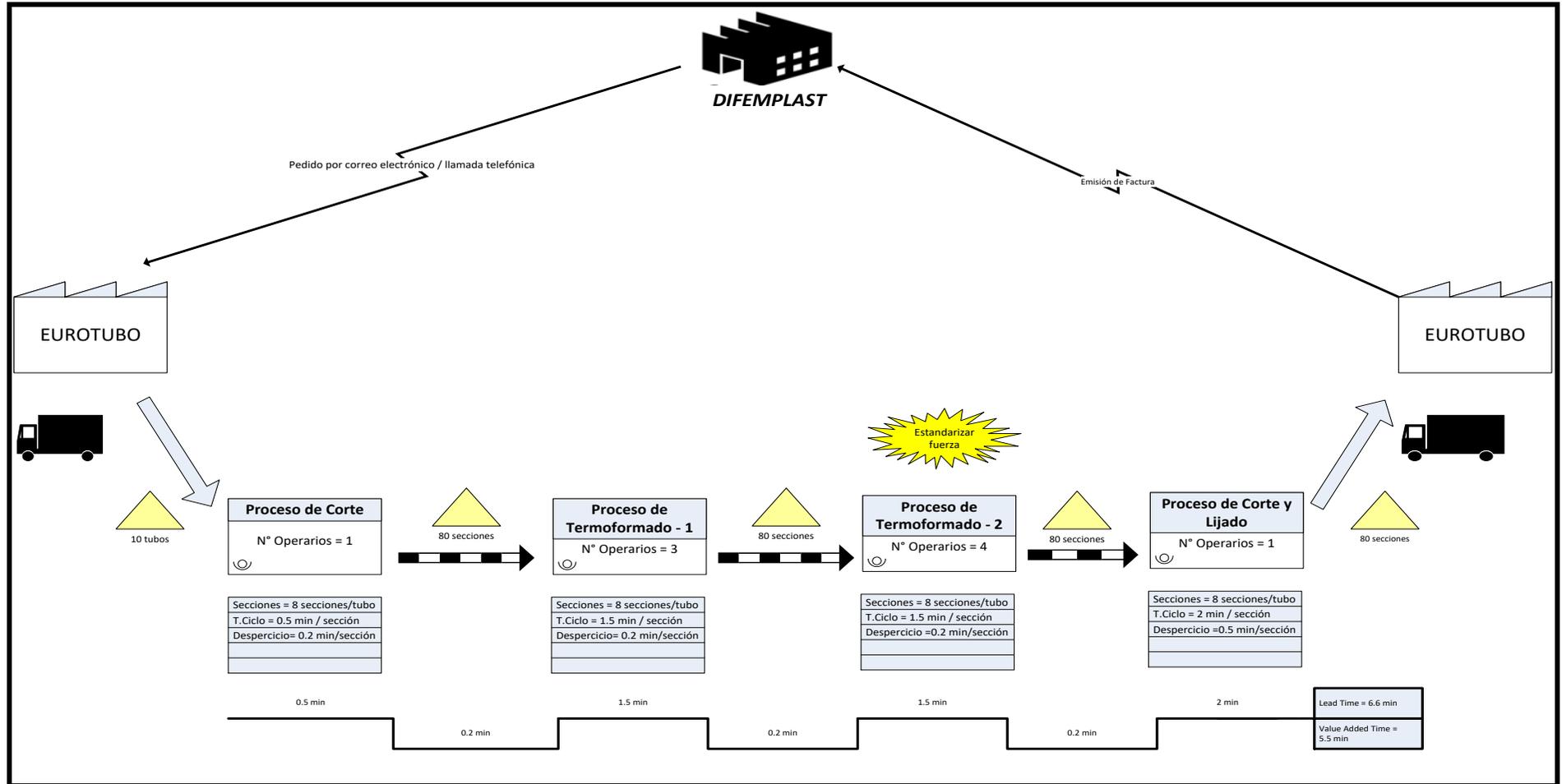
Descripción	Cantidad estimada
5's	
Horas de capacitación (en horas)	24
Habilitación de espacio	1
Tarjetas rojas (en unidades)	250
Programa de limpieza (equipos)	
Programa de limpieza (en horas)	12
Six Sigma	
Horas de capacitación (en horas)	16
Producto para prueba	200
Equipo de medición	1
Propuesta de Mejora	
Horno refractario	2
Soportes	3
Base de Trabajo	1
Sistema de Sujeción Lateral (incluido diseño)	2
Sistema brazo cortador (incluido diseño)	1
Cuchilla giratoria + motor	1
Modificación Poka Yoke	1
Sistema de Gas	1

Descripción	Cantidad estimada
Válvulas	1
PLC (+cable)	1
Licencia de Software	1
Precio de Especialista Electrónico	1
Laptop	1

3.1.9 Situación esperada del VSM:

Con lo anteriormente propuesto, si bien los subprocesos siguen siendo los mismos, las características individuales fueron mejoradas, como se presenta en el VSM de la Figura N° 3.14:

Figura N° 3-14: VSM Propuesto



Fuente: Elaboración propia

3.1.10 Entrenamiento del Personal y Registros de Procedimientos :

Con la mejora realizada, la velocidad de cocción del segmento de tubo ha de ser más rápida, por lo que se requiere mayor concentración del operario. Una herramienta para facilitar su trabajo es el sensor de temperatura que ya indica cuando iniciar el trabajo de calentamiento, el cual indica al PLC el aumento o disminución del flujo de gas según sea la necesidad.

Asimismo, el trabajador ya no necesita realizar su “sistema” de control con el que antes definía la flexibilidad del tubo a través del tacto. Dicho sistema de control será cambiado por un tiempo de cocción ya definido. Según las pruebas, siguiendo la temperatura de reblandecimiento VICAT (80 °C) es de 23 segundos.

Al ser la nueva propuesta un sistema más rápido, el personal de requiere capacitación, para ello se toma en consideración los siguientes procedimientos:

Procedimiento para el método de corte: Ver Anexo N°09

Procedimiento para el método de termoformado: Ver Anexo N° 10

4. CAPÍTULO 4: EVALUACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Desarrollo de la Fase Controlar (C)

Siguiendo la Metodología del Six Sigma - DMAIC, corresponde el desarrollo de “CONTROLAR (C)”. Para el presente capítulo se ha de verificar el impacto de las mejoras propuestas mediante la medición de los indicadores planteados anteriormente. Cabe resaltar que ha pedido del dueño de la empresa se realizó un piloto rápido para sustentar la veracidad de la propuesta y tener mayor garantía en la inversión que demanda la mejora.

De los indicadores propuestos en el Value Stream Mapping (VSM):

Para los codos:

Tabla N° 4-1 : Análisis del VSM para la familia Codos

	Actual	Esperado	% de Mejora
Lead Time:	22.5	6.6	71%
Value Added Time:	15	5.5	63%
Non - Value Added Time:	7.5	1.1	85%
Value Added / Total Lead Time:	67%	83%	-

Fuente: La empresa. Elaboración propia

Para las cachimbas:

Tabla N° 4-2 : Análisis del VSM para la familia Cachimbas

	Actual	Esperado	% de Mejora
Lead Time:	26.5	12	55%
Value Added Time:	19	10	47%
Non - Value Added Time:	7.5	2	73%
Value Added / Total Lead Time:	72%	83%	-

Fuente: La empresa. Elaboración propia

Distribución Tiempo de Acarreo del Tubo al PP:

Se realizaron muestreos del tiempo que demora en poner el tubo en el proceso productivo, considerándose ya las canaletas de apoyo:

Tabla N° 4-3 : P-Valor de las distribuciones para el tiempo de acarreo

Function	Sq Error
Normal	0.00074
Beta	0.00264
Weibull	0.0038
Triangular	0.00554
Erlang	0.0142
Gamma	0.0149
Lognormal	0.03
Uniform	0.064
Poisson	0.114

Fuente: Información del Input Analyzer a dicha medición

Donde el tiempo de acarreo queda definida por la distribución: *Poisson (6.76 segundos)*

Distribución Tiempo de Corte:

Para el proceso de corte, se indicó al trabajador realizar el corte de manera tal que acerque el tubo a la cuchilla empotrada. Se obtuvo la siguiente data:

Tabla N° 4-4 : P-Valor de las distribuciones para el tiempo de corte

Function	Sq Error
Erlang	0.01
Gamma	0.0106
Lognormal	0.0109
Weibull	0.0122
Beta	0.0141
Triangular	0.0175
Uniform	0.0222
Normal	0.0248
Exponential	0.033
Poisson	0.0501

Fuente: Información del Input Analyzer a dicha medición

Donde el tiempo de corte queda definida por la distribución: *Poisson (18.8 segundos)*

Asimismo, cuando se realizó la prueba con el prototipo de horno se tomó los tiempos de cocción necesaria para poder realizar el termoformado a la sección. En dicha prueba aún no se tenía el control de la temperatura, pero se trabajaba cuando el sensor térmico indicaba 80 °C aproximadamente y se inspeccionaba manualmente la flexibilidad del material previo a la aplicación de la fuerza. Cabe mencionar que el sensor tiene un error de ± 1.5 °C y que aún no se contaba con la implementación del gas natural, por lo que aún podría disminuirse dicho tiempo de cocción.

Distribución Tiempo de 1er Calentamiento antes del Termoformado:

Tabla N° 4-5 : P-Valor de las distribuciones para el tiempo de cocción (1)

Function	Sq Error
Beta	0.00446
Triangular	0.0128
Normal	0.0138
Uniform	0.0175
Weibull	0.0215
Gamma	0.0345
Erlang	0.0347
Lognormal	0.053
Exponential	0.0906
Poisson	0.148

Fuente: Información del Input Analyzer a dicha medición

Donde el tiempo del 1er calentamiento queda definida por la distribución: *Poisson* (23.2 segundos). Cabe resaltar que sólo se ha considerado el tiempo de cocción, más no el tiempo que tiene la sección en el molde durante el baño de enfriamiento.

Distribución Tiempo de 2do Calentamiento antes del Termoformado:

Tabla N° 4-6 : P-Valor de las distribuciones para el tiempo de cocción (2)

Function	Sq Error
Normal	0.00386
Weibull	0.00517
Triangular	0.00618
Beta	0.00846
Gamma	0.0132
Erlang	0.0147
Lognormal	0.0255
Uniform	0.0328
Exponential	0.0865
Poisson	0.0999

Fuente: Información del Input Analyzer a dicha medición

Donde el tiempo del 2do calentamiento queda definida por la distribución: *Poisson* (25.9 segundos). Cabe resaltar que sólo se ha considerado el tiempo de cocción, más no el tiempo en el que se ejerce la fuerza de deformación y el tiempo que tiene la sección en el molde durante el baño de enfriamiento.

Distribución Tiempo de Corte y Lijado:

Tabla N° 4-7 : P-Valor de las distribuciones para el tiempo de corte y lijado

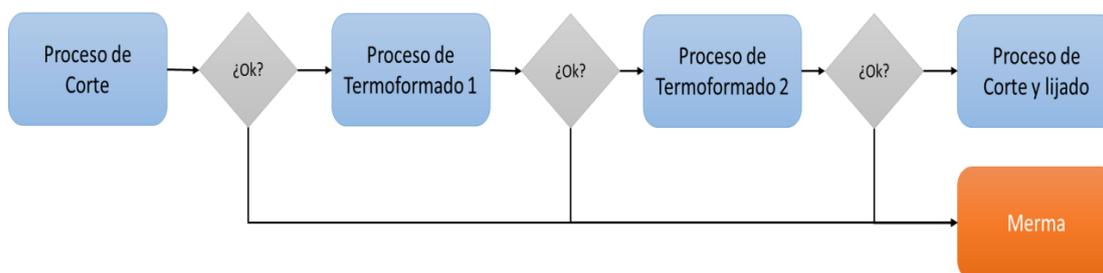
Function	Sq Error
Beta	0.0109
Uniform	0.0141
Normal	0.0166
Weibull	0.0182
Erlang	0.0216
Gamma	0.0217
Triangular	0.0249
Exponential	0.0312
Lognormal	0.0323
Poisson	0.0601

Fuente: Información del Input Analyzer a dicha medición

Donde el proceso de corte y lijado queda definido por la distribución *Poisson* (47.5 segundos)

Con las definiciones de las distribuciones en los diferentes procesos involucrados a la elaboración de los accesorios se procederá a establecer la simulación conjunta del sistema.

Figura N° 4-1 : Modelo utilizado en la simulación Arena



Fuente: La empresa. Elaboración propia

En la Tabla N°, se presenta los resultados de la simulación con un nivel de confianza del 95%:

Tabla N° 4-8 : Tabla de datos con información del software Arena

Identificador	Promedio	Desviación Estándar	Nivel de Confianza 95%	Valor Mínimo	Valor Máximo	N° de Observaciones	H*	N*
TamP1	12.9	0.34	0.84	12.6	13.3	3	1.29	2
TamP2	16	2.26	5.6	13.5	17.7	3	1.6	37
TamP3	5.15	1.41	3.51	4.32	6.79	3	0.515	140
TamP4	25.6	3.67	9.12	21.5	28.5	3	2.56	39
Tsistema	1840	14.7	36.5	1820	1850	3	184	1

Fuente: La empresa. Elaboración propia

Donde:

TamP1: Tiempo en el proceso de Corte

TamP2: Tiempo calentamiento previo al Termoformado – 1

TamP3: Tiempo calentamiento previo al Termoformado – 2

TamP4: Tiempo en el corte - lijado

Tsistema: Tiempo del Sistema

Tabla N° 4-9 : Tabla de datos de la simulación en el software Arena

Identificador	Promedio
TamP1	11.642
TamP2	16.304
TamP3	4.9015
TamP4	23.366
Tsistema	1846.6
Empleado1.Utilización	100%
Empleado2.Utilización	99%
Empleado3.Utilización	98%
Empleado4.Utilización	98%

Fuente: La empresa. Elaboración propia

Lo cual indica que con la mejora propuesta se tendrá una utilización del 98% en promedio del personal a cargo del proceso productivo.

Asimismo, se tuvo una producción estimada de 265 codos, dónde se obtuvo 19 productos fallaron en el 2do termoformado, representando el 6%:

Tabla N° 4-10 : Resultados de la corrida

	Cantidad	Indicador Merma
Producto Terminado	249	6%
Merma	16	
Total	265	

Fuente: La empresa. Elaboración propia

Lo cual estaría garantizando la reducción del a merma (que inicialmente se tenía en un 12% aproximadamente) a un 6%. Cumpliéndose el objetivo inicialmente planteado.

En lo que respecta a las mejoras en los tiempos, se obtuvo:

Tabla N° 4-11 : Resultados de los objetivos versus la simulación

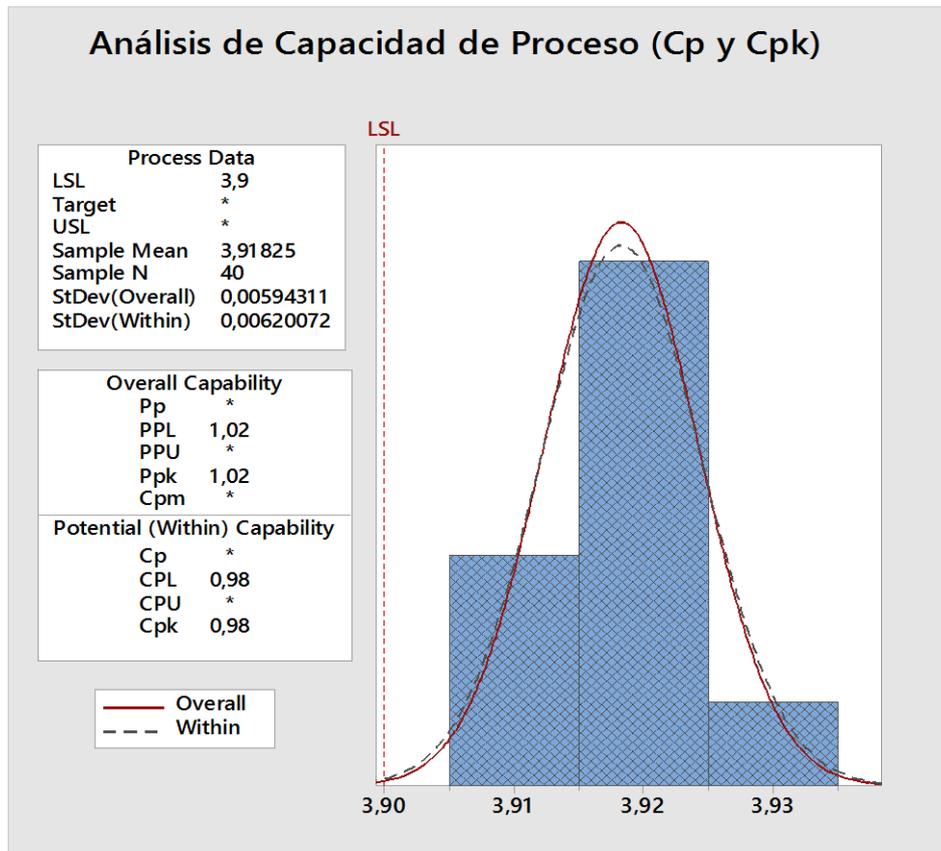
	Actual	Esperado	Simulación	% de Mejora Esperada	% de Mejora Simulación
Lead Time:	22.5	6.6	8.2	71%	64%
Value Added Time:	15	5.5	6.2	63%	59%
Non - Value Added Time:	7.5	1.1	2	85%	73%
Value Added / Total Lead Time:	67%	83%	76%	-	-

Fuente: Elaboración propia

4.1.1 Análisis de Capacidad:

Luego de realizadas las pruebas, se seleccionó una muestra de 40 productos cuyo proceso estuvo relacionado a la mejora. Los tiempos tomados se presentan en el Anexo N° 11, En la Figura N° 4.2 se presenta el análisis de capacidad a dicha muestra:

Figura N° 4-2 : Análisis de Capacidad de Proceso (Cp – Cpk)



Fuente: Elaboración propia

Donde se obtiene un indicador del C_{pi} de 0.98 lo cual indica que el proceso está parcialmente adecuado, pero se requiere un control estricto. De igual manera el indicador C_{pk} tiene 0.98, lo cual indica que el proceso requiere un control estricto.

Se observa que el indicador, en comparación con la medición del diagnóstico, ha mejorado en 115 %, sin embargo se requiere un control estricto para garantizar el cumplimiento de la especificación dada por EUROTUBO.

5. CAPÍTULO 5: EVALUACIÓN ECONÓMICA - AMBIENTAL

En este capítulo se realizará la evaluación económica-financiera de la solución óptima y la inversión que demanda la mejora propuesta según el ciclo de mejora DMAIC para 3 escenarios: pesimista, regular, optimista. Para ello se medirá indicadores financieros como son el Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR). Asimismo, se evaluará el período de recuperación para que el dueño de la empresa pueda tener una idea del tiempo de retorno del posible capital invertido y cuanto es la proporción del costo beneficio. El análisis ambiental correspondiente a la propuesta de mejora se presenta con la matriz de Leopold.

Durante los años 2012 y 2015 la empresa dejó de percibir S/. 392,688 soles producto de la merma de producción la cual ascendía al 12% de su producción, toda esta información fue presentada durante el desarrollo de las fases Medir y Analizar. Sin embargo, las propuestas de mejora tienen enfoque en los productos codos y cachimbas, los cuales representan el 75% de dicha merma cuyo monto asciende a S/. 298,234 de los 4 años en estudio.

En la Tabla N° 5.1, se presenta el costo estimado por cada ítem de la propuesta para la mejora del proceso.

Tabla N° 5-1 : Costos desgregados para la propuesta de mejora

Descripción	Cantidad estimada	Monto estimado
5's		S/. 2,518.00
Horas de capacitación (en horas)	24	S/. 1,212.50
Habilitación de espacio	1	S/. 300.00
Tarjetas rojas (en unidades)	250	S/. 200.00

Descripción	Cantidad estimada	Monto estimado
Programa de limpieza (equipos)		S/. 168.00
Programa de limpieza (en horas)	12	S/. 637.50
Six Sigma		S/. 20,383.01
Horas de capacitación (en horas)	16	S/. 12,500.00
Producto para prueba	200	S/. 7,100.00
Equipo de medición	1	S/. 783.01
Propuesta de Mejora		S/. 34,671.10
Horno refractario	2	S/. 11,000.00
Soportes	3	S/. 405.00
Base de Trabajo	1	S/. 125.00
Sistema de Sujeción Lateral (incluido diseño)	2	S/. 4,000.00
Sistema brazo cortador (incluido diseño)	1	S/. 7,000.00
Cuchilla giratoria + motor	1	S/. 1,000.00
Modificación Poka Yoke	1	S/. 575.00
Sistema de Gas	1	S/. 4,331.60
Válvulas	3	S/. 1,174.50
PLC (+cable)	1	S/. 400.00
Licencia de Software	1	S/. 1,160.00
Precio de Especialista Electrónico	1	S/. 1,000.00
Laptop	1	S/. 2,500.00

Fuente: Elaboración propia

Se consideró el análisis financiero para los 3 escenarios posibles. En la Tabla N° 5.2 se presenta la variación estimada para realizar el cálculo de cada uno los escenarios: pesimista, regular, optimista:

Tabla N° 5-2 : Consideraciones de las variaciones de los distintos escenarios

	Escenario		
	Pesimista	Normal	Optimista
Aumento Sueldo Trabajador	10% anual	10% anual	10% anual
Crecimiento Demanda	3% anual	5% anual	6% anual
Indicador reducción de merma	40%	50%	60%

Fuente: Elaboración propia

5.1 Análisis económico:

La Tabla N° 5.3, muestra los ingresos y egresos proyectados para el período 2017-2021, con las consideraciones del escenario pesimista:

Tabla N° 5-3 : Ingresos y egresos proyectos para el período 2017 - 2021

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Egreso Proyectados	-S/. 57,572.11	-S/. 4,950.00	-S/. 5,150.00	-S/. 5,370.00	-S/. 5,612.00	-S/. 5,878.20	-S/. 6,171.02	-S/. 6,493.12	-S/. 6,847.43	-S/. 7,237.18	-S/. 7,665.90
Ingreso Proyectado		S/. 27,740.00	S/. 28,572.20	S/. 29,429.37	S/. 30,312.25	S/. 31,221.61	S/. 32,158.26	S/. 33,123.01	S/. 34,116.70	S/. 35,140.20	S/. 36,194.41

Fuente: Elaboración propia

La Tabla N° 5.4, muestra los ingresos y egresos proyectados para el período 2017-2021, con las consideraciones del escenario regular:

Tabla N° 5-4 : Ingresos y egresos proyectos del período 2017 - 2021

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Egreso Proyectados	-S/. 57,572.11	-S/. 4,550.00	-S/. 4,650.00	-S/. 4,760.00	-S/. 4,881.00	-S/. 5,014.10	-S/. 5,160.51	-S/. 5,321.56	-S/. 5,498.72	-S/. 5,693.59	-S/. 5,907.95
Ingreso Proyectado		S/. 34,340.00	S/. 35,885.30	S/. 37,500.14	S/. 39,187.64	S/. 40,951.09	S/. 42,793.89	S/. 44,719.61	S/. 46,732.00	S/. 48,834.94	S/. 51,032.51

Fuente: Elaboración propia

La Tabla N° 5.5, muestra los ingresos y egresos proyectados para el período 2017-2021, con las consideraciones del escenario optimista:

Tabla N° 5-5 : Ingresos y egresos proyectados del período 2017 - 2021

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Egreso Proyectados	-S/. 57,572.11	-S/. 4,400.00	-S/. 4,600.00	-S/. 4,820.00	-S/. 5,062.00	-S/. 5,328.20	-S/. 5,621.02	-S/. 5,943.12	-S/. 6,297.43	-S/. 6,687.18	-S/. 7,115.90
Ingreso Proyectado		S/. 42,770.00	S/. 45,336.20	S/. 48,056.37	S/. 50,939.75	S/. 53,996.14	S/. 57,235.91	S/. 60,670.06	S/. 64,310.27	S/. 68,168.88	S/. 72,259.02

Fuente: Elaboración propia

Luego del tratamiento a la información, se obtuvo los indicadores financieros presentados en la Tabla N° 5.6. El detalle del tratamiento que se realizó al escenario pesimista, regular y optimista se presenta en los Anexos N°12, 13 y 14, respectivamente.

Tabla N° 5-6 : Indicadores financieros para cada escenario

	Escenario		
	Optimista	Regular	Pesimista
VAN	S/. 240,486	S/. 162,058	S/. 97,075
TIR	72%	56%	41%
Período de Recuperación Descontado	1 año 6 meses	2 años	2 años 8 meses
Relación Beneficio Costo	5.18	3.81	2.69

Fuente: Elaboración propia

Dentro de los 10 años de periodo de seguimiento y evaluación estimada, el período de recuperación de la inversión como máximo se espera en 2.8 años. Cabe resaltar que no se está considerando la inversión de capital, sino que se está considerando los ahorros estimados. Se tiene un TIR mínimo del 41% para la propuesta planteada y un VAN mínimo de S/. 97,075, lo cual señala que la inversión si genera remanentes en el período de estimación por lo que el proyecto si es rentable en el tiempo. Asimismo, por cada sol que se ha invertido en la propuesta de mejora se espera obtener como mínimo 2.69 soles de retorno.

5.2 Análisis ambiental:

En la Fig. N° 5.7 se presenta la matriz de Leopold, con el análisis correspondiente según el ciclo de mejora DMAIC y la estrategia planteada para la mejora.

Tabla N° 5-7 : Matriz de Leopold

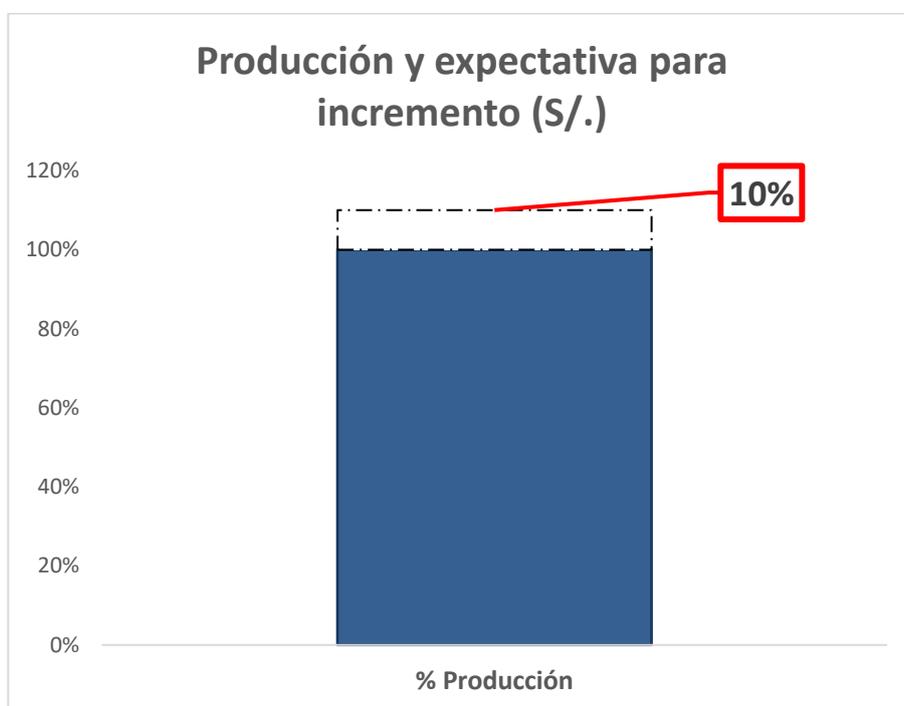
Valoración del impacto		Magnitud: 1-10 Importancia: 1-10		DMAIC														TOTAL ACCIONES			
				DIAGNÓSTICO (DEFINIR, MEDIR Y ANALIZAR)				MEJORA (IMPLEMENTACIÓN Y OPERACIÓN)							CONTROL VERIFICACIÓN						
				Definición e identificación de problema	Medición de merma	Identificación causa principal	Total acción 1	Proceso de Corte			Proceso de termoformado				Total acción 2	Evaluación de piloto	Levantamiento información		Comparación indicadores vs objetivos	Total acción 3	
CTORES AMBIENTALES, SOCIALES Y ECONÓMICOS	A. Características físicas y químicas	1. Tierra	Suelos				0	2	2	2					8			0	8		
			Materiales de construcción				0	2	2						0				0	0	
		2. Atmósfera	Calidad del aire				0					10	5	10		160	10		100	260	
			Ruido				0					10	8	10		0			0	0	
	1. Factores culturales	1. Aspectos culturales	Patrones culturales	10			100								0				0	100	
			Expectativa de aumento de sueldo (por productividad)	8			-36				8				8	-72				0	-108
			Empleo	10			100				8				8	64				0	164

Fuente: Elaboración propia

Sobre los aspectos culturales, la propuesta de mejora tiene un gran impacto en lo referido a la seguridad y salud ocupacional del empleado. Por otro lado, si bien se reduce las emisiones de CO2 al ambiente por el sistema controlado de alimentación, aún se tiene dicho punto como posible mejora ya que la contaminación aún existe. Asimismo, está pendiente la inclusión del tratamiento final del aceite para el termoformado.

Con lo que respecta a la expectativa de aumento de sueldo por incremento de productividad, se realiza el análisis de tener un target de 10% de la producción quincenal para aplicar un bono de 20 soles o acumular 2 horas banco para posterior compensación, previo acuerdo y programación del supervisor.

Figura N° 5-1 : Target para aplicación de incremento



Fuente: Elaboración propia

6. CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

El ciclo de mejora DMAIC es una metodología que permite mejorar procesos, reducir desperdicios, reducir costos del proceso, lograr un mayor compromiso y participación de los trabajadores y mejorar la calidad del producto y/o servicio brindado al cliente.

En la fase Definir, se identifica al problema principal mediante una matriz que considera factores diversos como frecuencia, pérdidas mensuales y facilidad para su implementación. De esta manera, se selecciona como problema principal la alta merma que tiene la empresa. Asimismo, se establecen los alcances del proyecto mediante el Project charter.

En la fase Medir, se describe la situación actual de la empresa y el contrato que tiene con EUROTUBO que limita sus ventas a cambio de seguridad y servicios completos. Se evalúa el impacto económico por la merma de producción que tiene, aproximadamente S/. 97,000 anuales, significando el 12% de su venta anual efectiva. Se clasifica los productos por familias y se halló aquellos de mayor participación, siendo el codo y la cachimba los de mayor participación. Se realizó el análisis del VSM para visualizar las características de cada uno de los subprocesos. Para realizar el análisis de capacidad del proceso, primero se tomó una muestra representativa y luego se hallaron los indicadores Cp y Cpk, los cuales indican que el proceso no es el adecuado y que se requiere cambios inmediatos.

En la fase Analizar, se realizó el diagrama causa efecto para identificar las posibles causas al problema. Se llevó de la información cualitativa a la cuantitativa mediante un gráfico de Pareto y se plantearon hipótesis de correlación entre el tiempo y la

temperatura. Se concluyó que ambas variables están correlacionadas positivamente con un coeficiente de correlación del 60%.

En la fase Mejorar, se realizaron propuestas para los procesos del corte y termoformado. Para el proceso de corte se planteó la utilización de soportes, sujetadores laterales y una cuchilla de corte vertical. Todo lo mencionado anteriormente va junto a un procedimiento. En el proceso del termoformado, se propuso el uso de un horno refractario y un sistema de control del flujo de gas automatizado para la medición correcta de la temperatura en el momento adecuado.

En la fase Controlar, se realizó una simulación de la información que se pudo recopilar con un prototipo de horno con sensor bajo el tiempo preestablecido. Se ingresaron los datos al Arena, y bajo un nivel de confianza del 95% se obtuvo que la merma desciende al 6%.

Se logró cumplir con el objetivo principal de reducir la merma del 12% en promedio al 6% en las familias del Codo y Cachimba, los cuales son de mayor participación.

Sobre los objetivos adicionales, se logró reducir el tiempo que no agrega valor al proceso en 70%. Asimismo, el inventario en proceso se redujo en 60% debido a la disminución del tiempo de ciclo de cada uno de los subprocessos. De igual manera, la productividad del operario sube al 98% aproximadamente.

En el análisis financiero, dentro de los 10 años de seguimiento y evaluación a la mejora, el período de recuperación de la inversión como máximo se espera en 2.8 años. Cabe resaltar que no se está invirtiendo capital, sino que se está considerando los ahorros producto de la mejora. Se tiene un TIR mínimo del 41% para la propuesta planteada y un VAN mínimo de S/. 97,075, lo cual señala que la inversión si genera remanentes en el período de estimación por lo que el proyecto si es rentable en el tiempo. Asimismo, por cada sol que se ha invertido en la propuesta de mejora se espera obtener como mínimo 2.69 soles de retorno.

Para que el proceso sea continuo y permanente en el tiempo, se requiere un alto grado de compromiso de los trabajos y sobre todo un soporte y motivación del dueño de la empresa.

Recomendaciones:

Se recomienda tener un correcto seguimiento en los procedimientos propuestos para garantizar el éxito de la propuesta de mejora. Si cambiase alguna tarea, se requiere un mapeo desde el inicio de la cadena de valor con el VSM bajo el ciclo de mejora DMAIC para medir y controlar el impacto del cambio.

Asimismo, se recomienda velar por el cumplimiento de los cronogramas planteados, tanto en las tareas como en el cumplimiento de pagos adicionales al trabajador.

Si bien es cierto que con la propuesta de mejora se proyecta reducir la merma, cumpliéndose el objetivo principal de estudio; existe aún un mercado que no puede ser atendido a pesar de esto. Los concursos de SEDAPAL exigen que los accesorios sean productos inyectados. Se consideró como parte de las posibles la propuesta del diseño de una nueva planta para dicha característica, pero el dueño no quería asumir el riesgo debido al riesgo que conlleva tener una empresa grande en la provincia de La Libertad. Se recomienda que se asuma en un futuro el riesgo y que la zona de producción no sea necesariamente La Libertad disminuyendo así el riesgo, y la venta de sus productos sea a través de tiendas y no venta directa.

Se debe garantizar la estabilidad del personal en la empresa a través de contratos en planilla y no renovaciones semestrales, así se lograría una mejor participación de ellos en la implementación de mejoras del ciclo de mejora DMAIC.

En el caso que no se opte por tener una planta independiente, se debe garantizar que el tiempo de contrato entre DIFEMPLAST y EUROTUBO sea duradero ya que los trabajadores pueden sentir que su esfuerzo adicional que demanda la mejora no es valorado ante posibles cambios.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMAITIK, Nasser y ELSAGZLI, Ngwan (2014) A study of Lean Principles Implementation in the Libyan Healthcare and Industry Sectors. En : International Science Index Vol. 8, N° 1
- ANTONY, Jiju y otros (2012) Application of six sigma DMAIC methodology in a transactional environment, pp. 31-53. En: International Journal of Quality & Reliability Management. Vol 29. N° 01
- ARIF-UZ-ZAMAN, Kazi y KARIM, Azharul (2013) A methodology for effective implementation of lean strategies and its performance evaluation in manufacturing organization, pp. 169-196. En: Business Process Management. Vol. 19. No 1
- ARTAMONAVA, Irina; MOSQUERA-ARTAMONOV, José y MOSQUERA, Julio (2014) Diagnóstico del proceso de inspección mediante índices de capacidad, pp. 53-61. En: Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, Vol. 22 N° 1.
- ARVIND, K; SOMANAATHAN, M. y VINODH, S (2010) Application of value stream mapping in an Indian camshaft manufacturing organization, pp. 888-900. En: Journal of Manufacturing Technology Management. Vol. 21 No. 7
- BRASSARD, Michael y otros (2002) The Six Sigma Memory Jogger II. GOAL / QPC
- BULLINGTON, Kimball (2012) Learning to fish, pp.15-26. En: Quality Progress
- CARTER, Pam (2010) Six Sigma, pp. 508-511. En: AAOHN Journal 58.12
- CANALES, Enrique (2004) Administración de Tecnología / Mapa de Relaciones. Editora El Sol
- CIP (2011) Colegio de Ingenieros del Perú: Centro de información de documentación de ingeniería (http://www.ciplima.org.pe/cidi/cidivirtual/ntp_fluidos.html) (Fecha de Consulta: 01 de Mayo del 2014)
- CHETIYA, Anuradha y SHARMA, Sunil (2013) An analysis of critical success factor for Six Sigma implementation, pp. 294-308. En: Asian Journal on Quality. Vol. 13 No. 3
- CHIARINI, Andrea (2011) Japanese total quality control, TQM, Deming's system of profound knowledge, BPR, Leand and Six Sigma, pp. 332-355. En International Journal of Lean Six Sigma. Vol 2. N° 04

CLAROS, Paola y TEMBLADOR, María del Carmen (2012) Modified value stream mapping for Six Sigma measurement phase, pp. 1-7. En: Institute of Industrial Engineers-Publisher.

DEBUSCK, Gerald (2010) Characteristics of successful lean six sigma organizations, pp. 5 – 13. En: Cost Management.

DIARIO GESTIÓN (2014) Mexichem invierte S/.100 millones en planta de tuberías en Arequipa. (<http://gestion.pe/empresas/mexichem-invierte-s100-millones-planta-tuberias-arequipa-2092032>) (Fecha de Consulta: 01 de Mayo del 2014)

CAMARA DE COMERCIO DE LIMA (2016) Sector construcción crecería 3.1% el 2016 y 3.7% el 2017 (<http://m.camaralima.org.pe/principal/noticias/noticia/sector-construccion-creceria-3-1-el-2016-y-3-7-el-2017/580>) (Fecha de Consulta 01/08/2016)

DIXON, David (2008) Value Stream Mapping (VSM), pp. 20-24. En: Fabricating & Metalworking.

ENGUM, Marianne (2009) Implementing Lean Manufacturing into Newspaper Production Operations.

GHOSH, Sadhan, MUKHOPADHYAY, Arup y SARKAR, Shri (2013) Improvement of claim processing cycle time through Lean Six Sigma methodology, pp. 171-183. En: International Journal of Lean Six Sigma. Vol 4, N° 02

GUTIERREZ, Humberto y VARA, Román (2013) Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma. D.F.: McGraw-Hill.

ISLIER, Attila; KHILWANI, Nitesh y ULUTAS, Berna (2011) A methodology to design virtual cellular manufacturing systems, pp. 533 – 546. En: Journal of Intelligent Manufacturing

JONES, Daniel y Womack, James (2003) Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation, pp. 15-90.

KUMAR, Naven (2013) Implementing Lean Manufacturing System: ISM Approach, pp. 996 – 1012. En: Journal of Industrial Engineering and Management

KUMAR, Sammer y SOSNOSKI, Michael (2009) Using DMAIC Six Sigma to systemically improve shopfloor production quality and costs, pp. 254-273. En: International Journal of Productivity and Performance Management Vol. 58 No. 3

LA ROTTA, Daniel y otros (2011) Identificación y caracterización de mudas de transporte, procesos, movimientos y tiempos de espera en 9 pymes manufactureras

incorporando la perspectiva del nivel operativo, pp. 396-408. En: Ingeniere. Revista Chilena de Ingeniería, Vol. 19 N° 3

LEE, Quarterman (2007) Implementing Lean Manufacturing, pp. 14-19. En: Autumn: Management Services

MARVEL, Jon y STANDRIDGE, Charles (2009) A simulation-enhanced lean desing process, pp. 90-113. En: Journal of Industrial Engineering and Management

MELLAT, Mahour (2011) The effect of Six Sigma projects on innovation and firm performance, pp. 45 – 55. En: International Journal of Project Management

MIDDLETON, George (2010) PVC: Reaching for Sustainability, pp. 137 – 144. En: Heard Journal.

ORLANDONI, Giampoli (2012) Gestión de la Calidad: Control Estadístico y Seis sigma, pp. 269 – 274. En: Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Vol 14. N° 02

PAD - Escuela de Alta Dirección (2011) Casos de Éxitos de empresas peruanas que implementaron Six Sigma. (http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_54_206_19_450.pdf) (Fecha de Consulta: 01 de Mayo del 2014)

RABEE'A, Omar (2012) Diagnosing of sustainable competitive advantage using six sigma methodology, pp. 94-109. En: International Journal of Business and Management. Vol 7. N° 07

REYNOLDS, Maryon (2013) The Design of GLR Control Charts for Monitoring the Process Mean and Variance, pp. 34 – 60. En: Journal of Quality Technology.

SOCIEDAD NACIONAL DE INDUSTRIAS (SNI) (<http://www.sni.org.pe/>) (Fecha de consulta: 01 de Mayo del 2014)

SIM, Khim (2009) Implementing Lean Production Systems: Barriers to change, pp.37 – 49. En: Management Research News Vol.32 No 1

STEPHEN, Mark (2009) Trimming Waste? A guide tos ix sigma, lean and the theory of constraints. Pp. 19. En: Canadian Plastics

TEJEDA, Sophine (2011) Mejoras de Lean Manufacturing en los Sistemas Productivos, pp. 276-310. En: Ciencia y Sociedad. Vol XXXVI No 2.

ZARE, Yahia (2011) Six-Sigma: methodology, tools and its future, pp. 79–88. En: Assembly Automation

8. ANEXOS:

Anexo N° 1: Lista de productos categorizados por familia

N° registro	NOMBRE DEL PRODUCTO	TIPO DE PRODUCTO
1	CODO PVC TRANSF. PRESION ISO 400MM X 22.5 U/F	CODO
2	CRUCETA PVC TRANSF. 315MM X 200MM U/F	CRUCETA
3	CURVA PVC TRANSF. 250MM X 45° U/F	CURVA
4	CRUCETA PVC TRANSF. 315MM X 160MM U/F	CRUCETA
5	UNION REPARACION PVC PRESION 400MM U/F	UNION
6	CURVA PVC TRANSF. 250MM X 22.5° U/F	CURVA
7	UNION PVC TRANSF. 355MM S/P	UNION
8	TEE PVC TRANSF. PRESION 250MM S/P	TEE
9	CODO PVC TRANSF. PRESION ISO 315MM X 22.5° U/F	CODO
10	REDUCCION PVC PRESION 315MM X 110MM E/E	REDUCCION
11	CRUCETA PVC TRANSF. 200MM U/F	CRUCETA
12	CRUCETA PVC TRANSF. 160MM U/F	CRUCETA
13	CACHIMBA PVC ALC. 400MM X 160MM X 45° U/F S 20	CACHIMBA
14	NIPLE PVC PRESION 250MM U/F	NIPLE
15	CACHIMBA PVC ALC. 400MM X 160MM X 45° S25 U/F	CACHIMBA
16	REDUCCION PVC PRESION 200MM U/F X 110MM S/P	REDUCCION
17	TAPON PVC TRANSF. 200MM U/F	TAPON
18	SILLA YEE 315MM X 160MM X 45° S20 U/F	SILLA
19	YEE PVC ALC. TRANSF. 200MM U/F S25	YEE
20	CODO PVC TRANSF. ALC. 200MM X 45° S20 U/F	CODO
21	NIPLE PVC PRESION 200MM U/F	NIPLE

N° registro	NOMBRE DEL PRODUCTO	TIPO DE PRODUCTO
22	CACHIMBA PVC ALC. 250MM X 160MM X 45° S20 U/F	CACHIMBA
23	REDUCCION PVC PRESION 160MM U/F X 140MM S/P	REDUCCION
24	CACHIMBA PVC ALC. 250MM X 160MM X 45° S25 U/F	CACHIMBA
25	YEE PVC ALC. 160MM U/F S-20	YEE
26	CURVA PVC TRANSF. 110MM X 45° U/F	CURVA
27	CURVA PVC TRANSF. 110MM X 28° U/F	CURVA
28	CACHIMBA PVC ALC. 200MM X 160MM X 90° S20 U/F	CACHIMBA
29	SILLA YEE 160MM X 110MM X 45° S20 U/F	SILLA
30	TEE PVC TRANSF. PRESION 90MM U/F	TEE
31	TEE PVC TRANSF. PRESION 110MM S/P X 90MM S/P X 110MM S/P	TEE
32	TEE PVC TRANSF. PRESION 4" X 3" S/P	TEE
33	TEE PVC TRANSF. PRESION 90MM U/F X 63MM U/F X 90MM U/F	TEE
34	CODO PVC TRANSF. ALC. 160MM X 45° S25 S/P	CODO
35	CACHIMBA PVC ALC. 160MM X 110MM X 45° S25 U/F	CACHIMBA
36	UNION REPARACION PVC PRESION 110MM U/F	UNION
37	REDUCCION PVC PRESION 110MM X 63MM E/E	REDUCCION
38	UNION PVC TRANSF. 4" S/P	UNION
39	TEE PVC TRANSF. PRESION 75MM S/P	TEE
40	TEE PVC TRANSF. PRESION 63MM S/P	TEE
41	CRUCETA PVC TRANSF. 2" S/P	CRUCETA
42	NIPLE PVC PRESION 110MM U/F	NIPLE
43	CODO PVC TRANSF. PRESION ISO 90MM X 22.5° S/P	CODO
44	CODO PVC TRANSF. PRESION ISO 90MM X 45° S/P	CODO
45	TAPON PVC ALC. 160MM S/P	TAPON

N° registro	NOMBRE DEL PRODUCTO	TIPO DE PRODUCTO
46	TAPON PVC HEMBRA TRANSF. S/P 4"	TAPON
47	TAPON PVC TRANSF. 110MM S/P	TAPON
48	NIPLE PVC PRESION 90MM U/F	NIPLE
49	CONECTOR CAJA PVC 4" SAP	CONECTOR
50	TAPON PVC HEMBRA TRANSF. S/P 3"	TAPON
51	REDUCCION PVC PRESION 63MM X 2" S/P	REDUCCION
52	NIPLE PVC PRECION 75MM U/F	NIPLE
53	CURVA PVC SAP 1 1/2" X 90°	CURVA
54	REDUCCION PVC PRESION 2" X 1 1/2" S/P	REDUCCION
55	REDUCCION PVC PRESION 63MM X 1 1/2" S/P	REDUCCION
56	CURVA PVC TRANSF. 1 1/2 " X 45°	CURVA
57	CONECTOR CAJA PVC 3" SAP	CONECTOR
58	CURVA PVC SAP 1 1/4" X 90°	CURVA
59	CODO PVC TRANSF. PRESION 1 1/2" X 45° S/P	CODO
60	CONECTOR CAJA PVC 1/2" SAP	CONECTOR

Anexo N° 2: Tabla de características de tuberías según diámetro nominal

Diámetro (mm)	Nominal	Longitud (m)	Peso (kg)
110		6.00	7.6
160		6.00	16.5
200		6.00	25.2
250		6.00	39.9
315		6.00	62.4
400		6.00	100.9

Anexo N° 3: Tabla medición de espesores (en mm) de la curvatura de la sección

	N° muestra	Espesor		N° muestra	Espesor
Subgrupo N° 01	1	3.91	Subgrupo N° 02	1	3.88
	2	3.90		2	3.88
	3	3.91		3	3.87
	4	3.87		4	3.91
	5	3.88		5	3.89
	6	3.88		6	3.89
	7	3.89		7	3.90
	8	3.90		8	3.88
	9	3.91		9	3.88
	10	3.90		10	3.89
	11	3.90		11	3.88
	12	3.89		12	3.91
	13	3.92		13	3.90
	14	3.89		14	3.89
	15	3.90		15	3.91
	16	3.90		16	3.91
	17	3.90		17	3.90
	18	3.89		18	3.90
	19	3.89		19	3.89
	20	3.88		20	3.91

Anexo N° 4: Tabla de mediciones de temperatura y tiempo

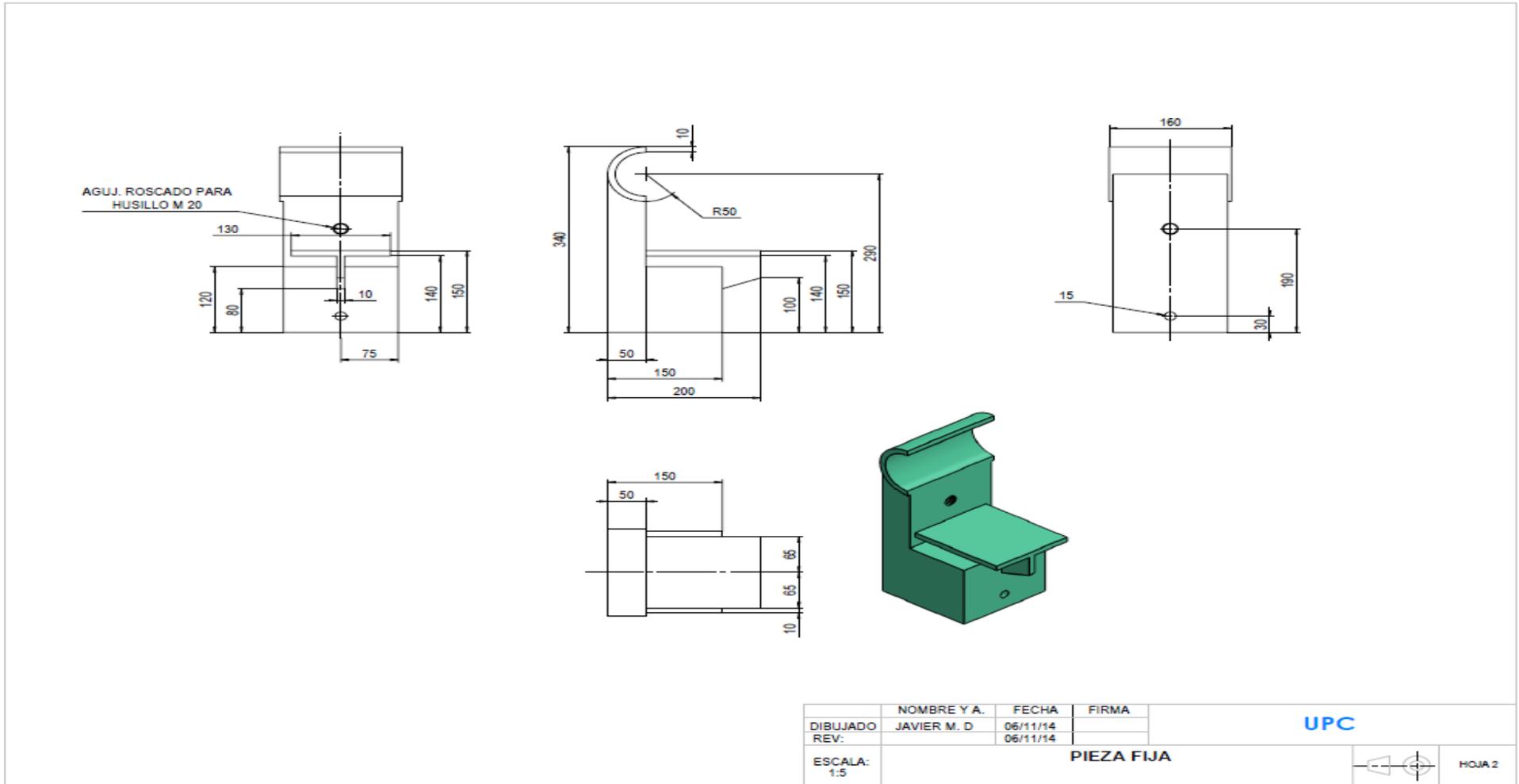
N° medición	Tiempo (s) (X)	Temperatura °C (Y)
1	53	68
2	64	65
3	59	66
4	68	73
5	64	69
6	66	68
7	59	66
8	56	65
9	61	69
10	56	69
11	59	68
12	56	65
13	64	70
14	56	65
15	59	67
16	62	70
17	59	66
18	50	60
19	57	70
20	61	72
21	59	66
22	61	64
23	59	65
24	56	62

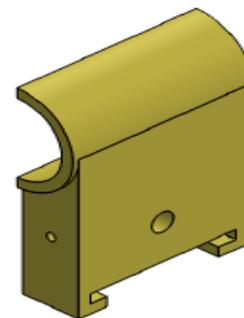
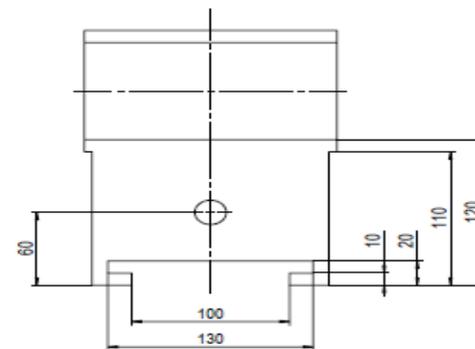
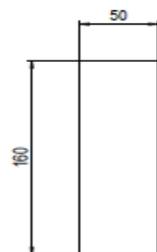
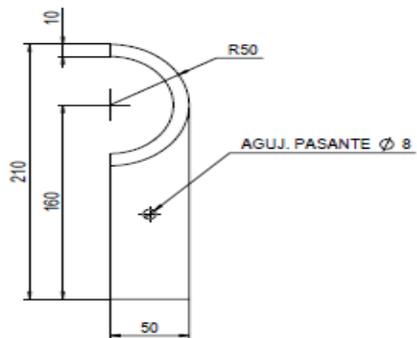
Nº medición	Tiempo (s) (X)	Temperatura °C (Y)
25	54	60
26	54	61
27	66	67
28	64	68
29	62	65
30	59	70

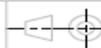
Anexo N° 5: Tabla de valores críticos de correlación de Pearson

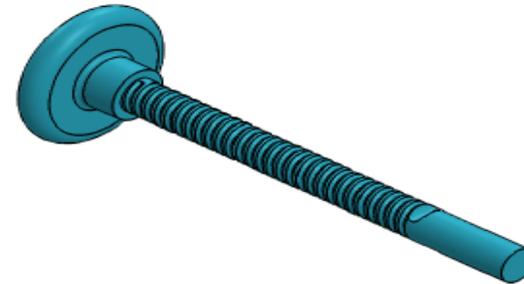
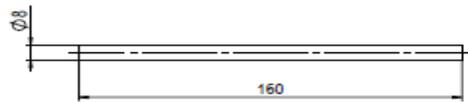
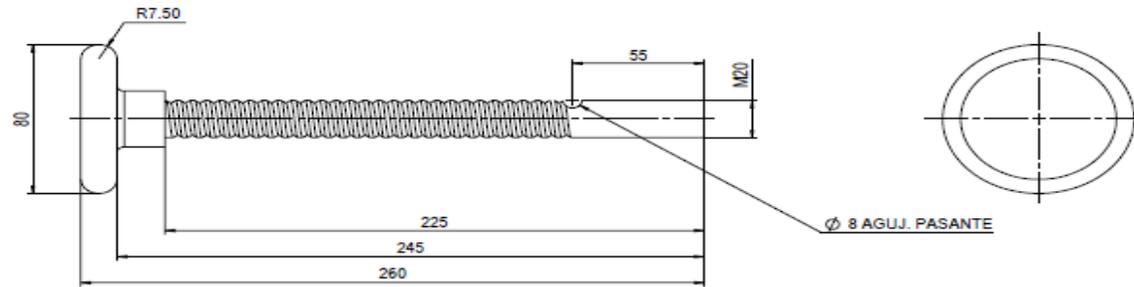
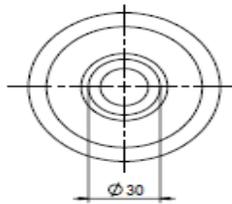
n	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
4	0.950	0.999
5	0.878	0.959
6	0.811	0.917
7	0.754	0.875
8	0.707	0.834
9	0.666	0.798
10	0.632	0.765
11	0.602	0.735
12	0.576	0.708
13	0.553	0.684
14	0.532	0.661
15	0.514	0.641
16	0.497	0.623
17	0.482	0.606
18	0.468	0.590
19	0.456	0.575
20	0.444	0.561
25	0.396	0.505
30	0.361	0.463
40	0.335	0.430
45	0.312	0.402
60	0.294	0.378

Anexo N° 6: Componentes de los sujetadores

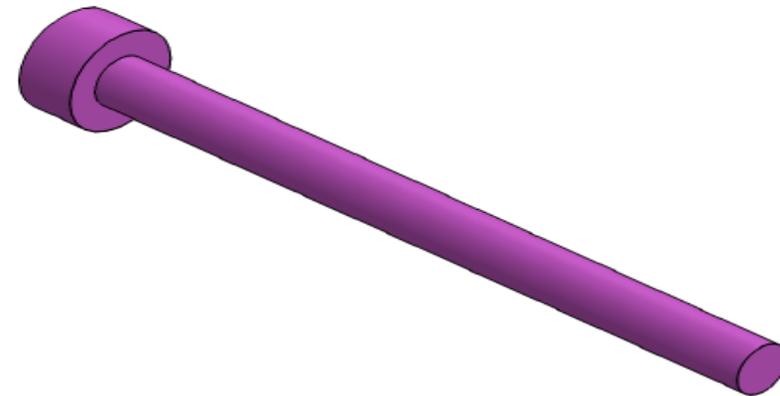
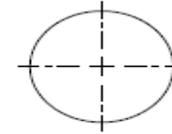
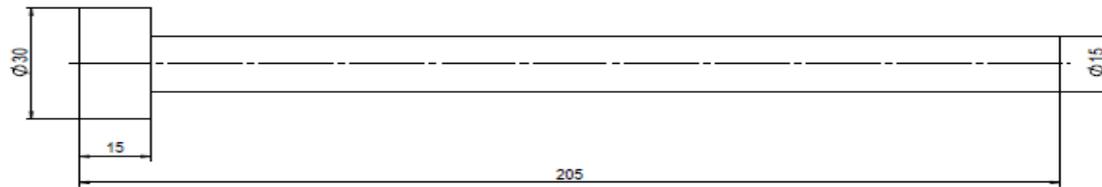


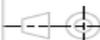


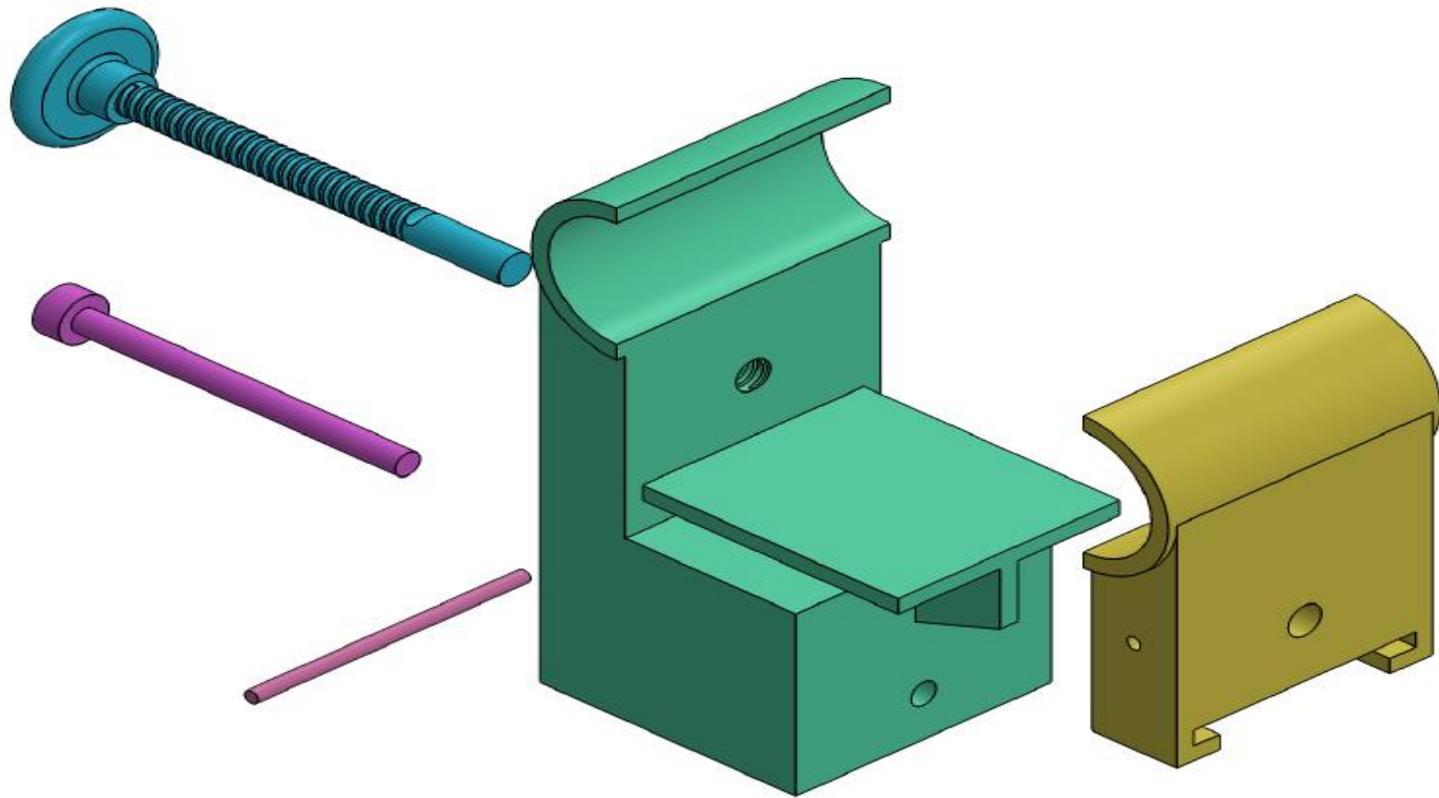
	NOMBRE Y A.	FECHA	FIRMA	
DIBUJADO	JAVIER M. D.	06/11/14		UPC
REV:		06/11/14		
ESCALA: 1:3	PIEZA MOVIL			
				HOJA 3



	NOMBRE Y A.	FECHA	FIRMA	
DIBUJADO	JAVIER M. D.	06/11/14		UPC
REV:		06/11/14		
ESCALA:	HUSILLO Y PASADOR			
1:2					HOJA 4

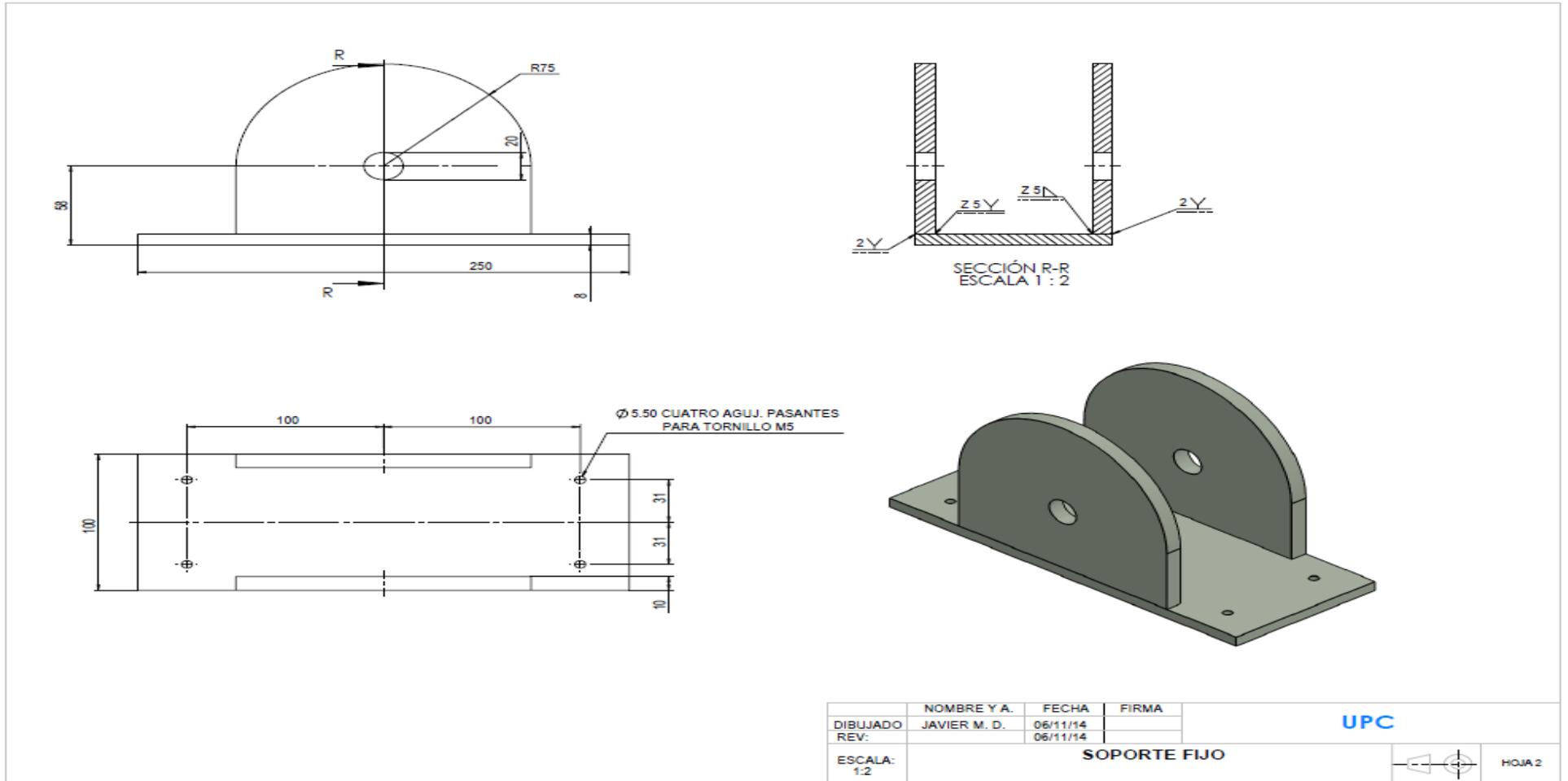


	NOMBRE Y A.	FECHA	FIRMA	
DIBUJADO	JAVIER M. D	06/11/14		UPC
REV:		06/11/14		
ESCALA:	FIJADOR DE MORDAZA			
1:1					HOJA 5

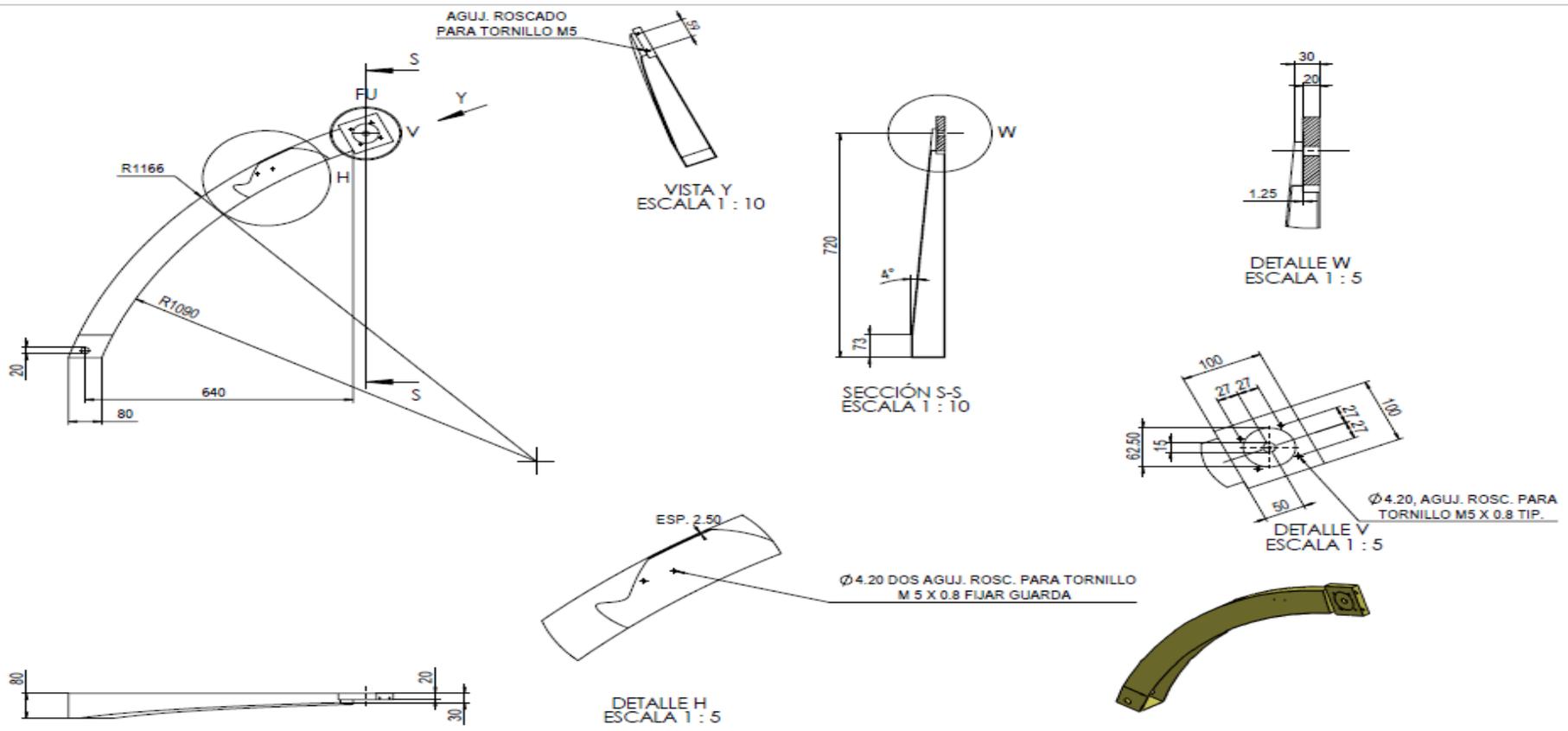


	NOMBRE Y A.	FECHA	FIRMA	
DIBUJADO	JAVIER M. D.	06/11/14		UPC
REV:		06/11/14		
ESCALA:	MORDAZA MOVIL EN ESTADO EXPLOSIONADO			
1:2					HOJA 6

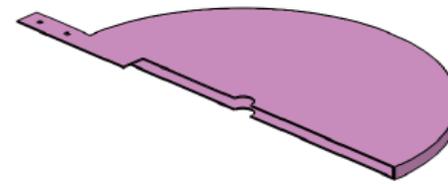
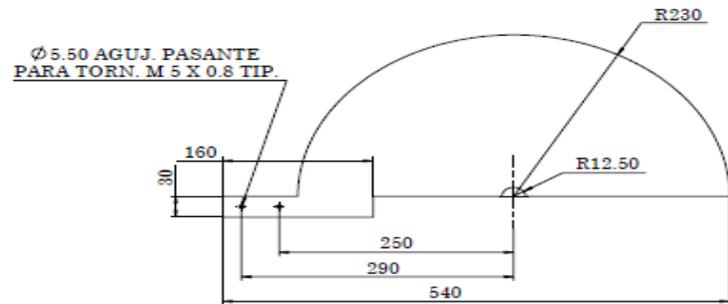
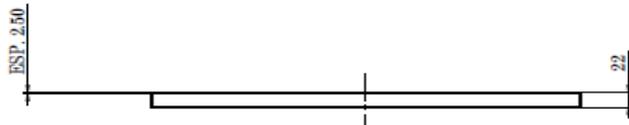
Anexo N° 7: Componentes de la ingleteadora

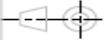


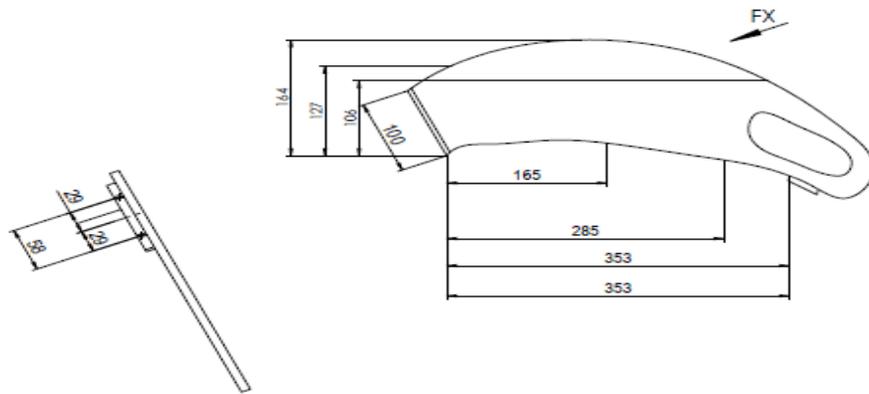
	NOMBRE Y A.	FECHA	FIRMA	UPC
DIBUJADO	JAVIER M. D.	06/11/14		
REV:		06/11/14		
ESCALA:	SOPORTE FIJO			
1:2				HOJA 2



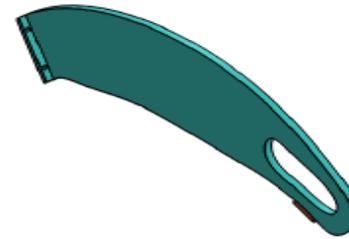
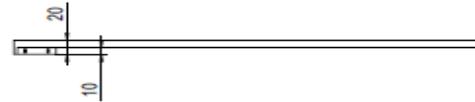
	NOMBRE Y A.	FECHA	FIRMA	
DIBUJADO	JAVIER M. D	06/11/14		UPC
REV:		06/11/14		
ESCALA: 1:10	BASE MOTRIZ BASCULANTE			
				HOJA 3

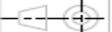


	NOMBRE Y A.	FECHA	FIRMA	
DIBUJADO	JAVIER M. D	06/11/14		UPC
REV:		06/11/14		
ESCALA: 1:5	GUARDA PROTECTOR DE SIERRA CIRCULAR			
				HOJA 4



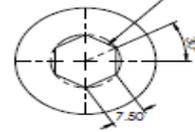
VISTA FX
ESCALA 1 : 5



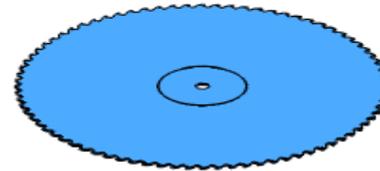
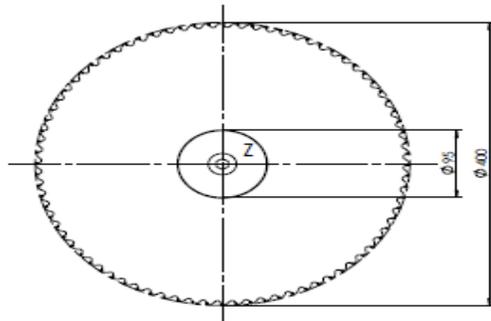
	NOMBRE Y A.	FECHA	FIRMA	
DIBUJADO	JAVIER M. D.	06/11/14		UPC
REV:		06/11/14		
ESCALA: 1:5	ASIDERO			
				HOJA 5

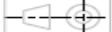


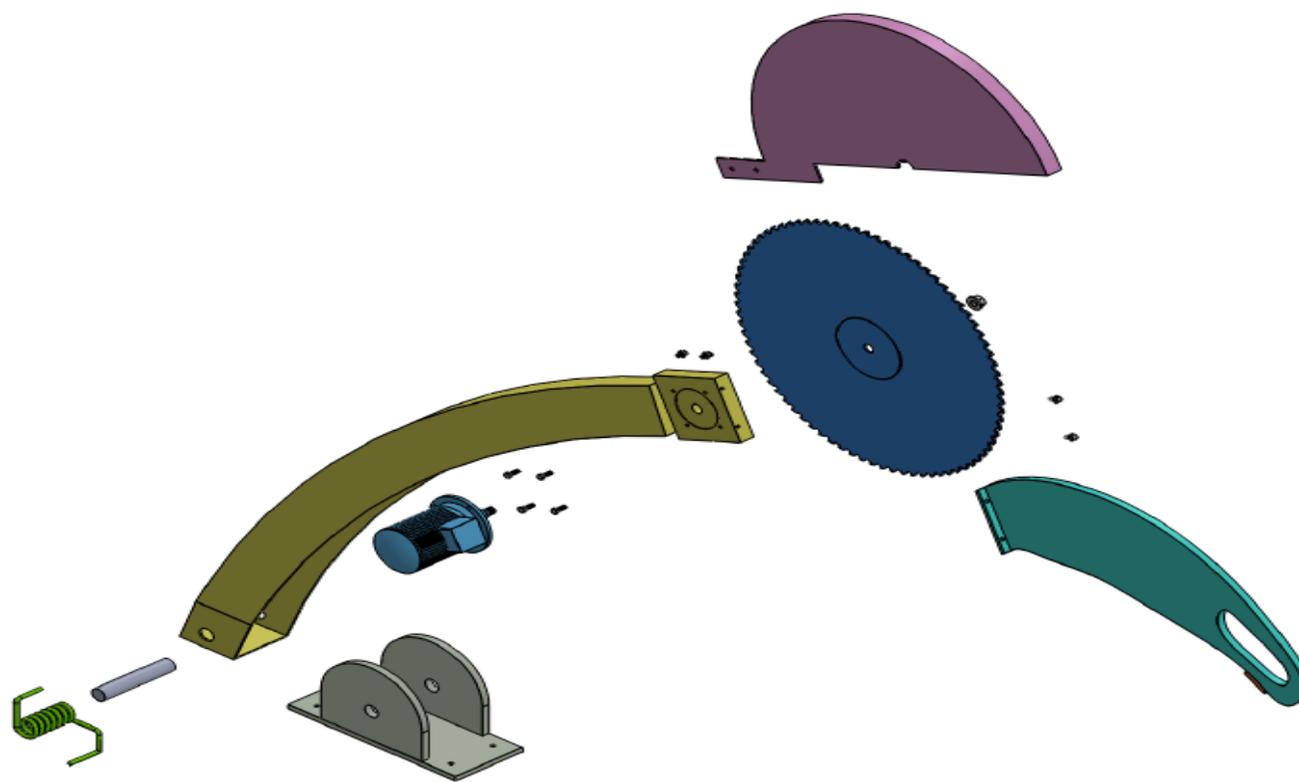
FORMA HEXAGONAL
PARA FIJAR DISCO DE SIERRA
A EJE DE MOTOR.



DETALLE Z



	NOMBRE Y A.	FECHA	FIRMA	
DIBUJADO	JAVIER M. D	06/11/14		UPC
REV:		06/11/14		
ESCALA: 1:5	SIERRA CIRCULAR			
				HOJA 7



	NOMBRE Y A.	FECHA	FIRMA	
DIBUJADO	JAVIER M. D	06/11/14		UPC
REV:		06/11/14		
ESCALA: 1:5	CORTADORA DE SIERRA CIRCULAR EN ESTADO EXPLOSIONADO			HOJA 6

Anexo N° 8: Tabla de mediciones de temperatura y tiempo en el prototipo

N° medición	Tiempo (s)	Temperatura °C
	(X)	(Y)
1	22.55	81
2	23.06	79
3	23.86	81
4	24	79
5	22.09	80
6	22.83	79
7	23.42	81
8	23.75	79
9	23.03	80
10	22.87	81
11	22.89	80
12	23.34	79
13	22.75	81
14	23.41	79
15	22.62	79
16	23.03	80
17	22.87	81
18	22.65	81
19	23.01	79
20	23.17	81
21	23.45	80
22	22.65	79

Nº	Tiempo (s)	Temperatura °C
medición	(X)	(Y)
23	22.78	81
24	22.96	80
25	23.07	79
26	22.87	81
27	22.96	80
28	22.85	80
29	23.42	79
30	23.65	81

Anexo N° 9: Procedimiento método de corte

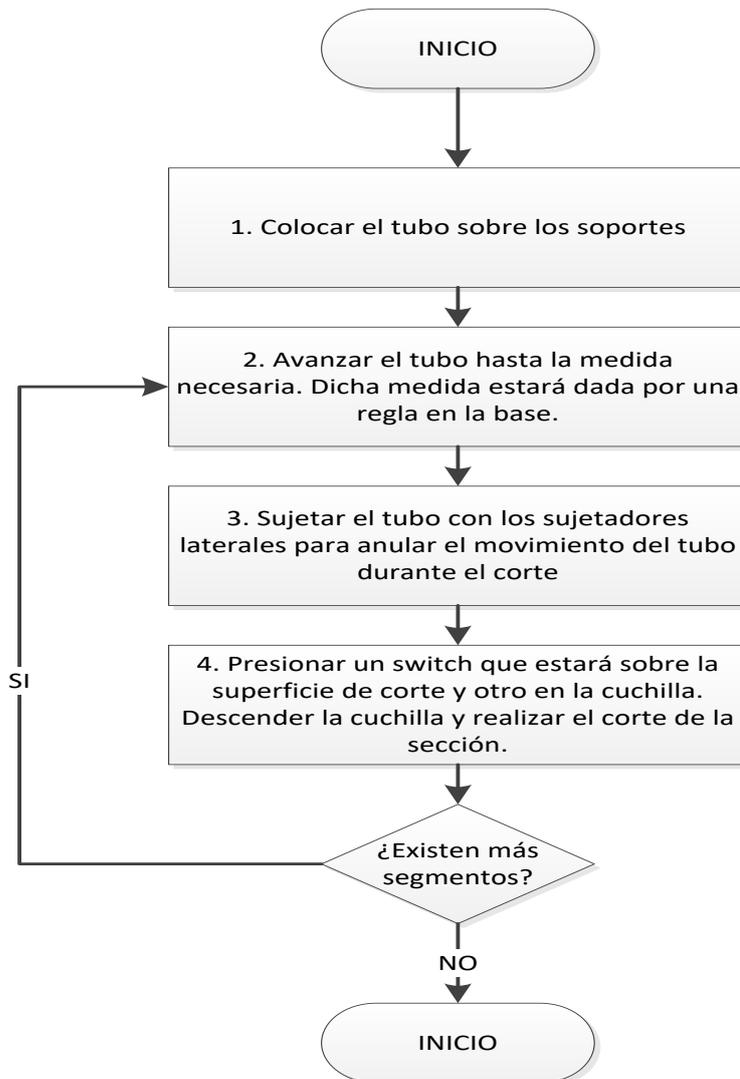
PROCEDIMIENTO MÉTODO DE CORTE	
OBJETIVO: Proponer las pautas necesarias y exigibles para que el operario realice con éxito su labor, garantizando la calidad del producto y la integridad física del operario.	
ALCANCE: Aplicable para todos los operarios y/o jefe de producción participantes del proceso productivo.	
TÉRMINOS Y DEFINICIONES: No aplica	
RESPONSABILIDADES: Es responsabilidad del Jefe de Producción y del Dueño de la empresa velar por el cumplimiento del documento.	
NOMBRE	FECHA
ELABORADO POR: Javier Matsuoka Diaz	27/07/2016
REVISADO POR: Marco Diaz Felix	29/07/2016

DOCUMENTOS DE REFERENCIA

No aplica

DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO

El presente procedimiento debe iniciarse una vez garantizada la seguridad del operario a través de sus EPP's y limpieza del área de trabajo. Asimismo, se consideró la implementación de un poka joko para garantizar la seguridad del operario:



REGISTROS

Nombre del Registro	Almacenamiento	Protección	Recuperación	Retención
Tabla de Mediciones	Disco de almacenamiento personal	Jefe Producción / Dueño de la empresa	Cargado en la nube	5 años

ANEXOS

Sin anexos

CONTROL DE CAMBIOS

Versión	Fecha de Aprobación	Elaborado por	Revisado por	Aprobado por	Descripción del Cambio
1	27/07/2016	Javier Matsuoka	Marco Diaz	Marco Diaz	Versión original

Anexo N° 10: Procedimiento método del termoformado

PROCEDIMIENTO MÉTODO DE TERMOFORMADO	
OBJETIVO: Proponer las pautas necesarias y exigibles para que el operario realice con éxito su labor, garantizando la calidad del producto y la integridad física del operario.	
ALCANCE: Aplicable para el jefe de producción y todos los operarios participantes del proceso productivo.	
TÉRMINOS Y DEFINICIONES: No aplica	
RESPONSABILIDADES: Es responsabilidad del Jefe de Producción y del Dueño de la empresa velar por el cumplimiento del documento.	
NOMBRE	FECHA
ELABORADO POR: Javier Matsuoka Diaz	27/07/2016
REVISADO POR: Marco Diaz Felix	29/07/2016

DOCUMENTOS DE REFERENCIA

No aplica

DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO

- Preparación del Sistema de Cocción:

El proceso inicia con la colocación de la tubería del gas en el horno refractario, se enciende la llama y coloca el recipiente con el aceite de transferencia térmica. El PLC, programado y calibrado previamente, graduará el flujo de gas para poder mantener una temperatura estándar a lo largo del proceso productivo. La alarma de temperatura en el horno indicará el momento para iniciar la operación.

- Desarrollo del Termoformado:

Colocar el segmento de tubo en el horno refractario durante 23 segundos, mientras la temperatura sea 80°C.

Retirar el tubo del horno y aplicar fuerza del segmento con el molde fijo empotrado

Realizar baño de enfriamiento

Retirar segmento del molde

Apilar segmento para 2do calentamiento

Una vez que se culminó con los segmentos de tubo en su primera etapa, se ha de realizar el 2do calentamiento.

Colocar el segmento de tubo en el horno refractario durante 23 segundos, mientras la temperatura sea 80°C.

Retirar el tubo del horno y aplicar una fuerza al segmento de tubo con el molde fijo

Colocar el molde encima del segmento y aplicar fuerza vertical hasta enganchar el molde con el gancho superior

Realizar baño de enfriamiento

Retirar segmento del molde

REGISTROS

Nombre del Registro	Almacenamiento	Protección	Recuperación	Retención
Tabla de Mediciones	Disco Personal	Jefe Producción / Dueño	Cargado en la nube	5 años

ANEXOS

Sin anexos

CONTROL DE CAMBIOS

Versión	Fecha de Aprobación	Elaborado por	Revisado por	Aprobado por	Descripción del Cambio
1	27/07/2016	Javier Matsuoka	Marco Diaz	Marco Diaz	Versión original

Anexo N° 11: Tabla medición de espesores (en mm) de la curvatura de la sección

	N° muestra	Espesor		N° muestra	Espesor
Subgrupo N° 01	1	3.92	Subgrupo N° 02	1	3.92
	2	3.92		2	3.92
	3	3.91		3	3.92
	4	3.92		4	3.92
	5	3.92		5	3.92
	6	3.92		6	3.93
	7	3.93		7	3.92
	8	3.91		8	3.93
	9	3.92		9	3.92
	10	3.92		10	3.92
	11	3.91		11	3.92
	12	3.91		12	3.92
	13	3.91		13	3.92
	14	3.92		14	3.92
	15	3.92		15	3.91
	16	3.91		16	3.92
	17	3.91		17	3.92
	18	3.91		18	3.92
	19	3.92		19	3.93
	20	3.91		20	3.91

Anexo N° 12: Detalle para el análisis del escenario pesimista

Ingresos Proyectados	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Ahorros por mermas		S/. 22,740.00	S/. 23,422.20	S/. 24,124.87	S/. 24,848.61	S/. 25,594.07
Ahorro operativo		S/. 2,000.00	S/. 2,060.00	S/. 2,121.80	S/. 2,185.45	S/. 2,251.02
Ahorro horas extras		S/. 3,000.00	S/. 3,090.00	S/. 3,182.70	S/. 3,278.18	S/. 3,376.53
Total Ingresos		S/. 27,740.00	S/. 28,572.20	S/. 29,429.37	S/. 30,312.25	S/. 31,221.61

Egresos Proyectados	2014	2015	2016	2017	2018	2019
5's	S/. 2,518.00	S/. 1,000.00	S/. 1,100.00	S/. 1,210.00	S/. 1,331.00	S/. 1,464.10
Six Sigma	S/. 20,383.01	S/. 1,000.00	S/. 1,100.00	S/. 1,210.00	S/. 1,331.00	S/. 1,464.10
Horno refractario	S/. 11,000.00					
Soportes	S/. 405.00					
Base de Trabajo	S/. 125.00					
Sistema de Sujeción Lateral (incluido diseño)	S/. 4,000.00					
Sistema brazo cortador (incluido diseño)	S/. 7,000.00					
Cuchilla giratoria + motor	S/. 1,000.00	S/. 150.00	S/. 150.00	S/. 150.00	S/. 150.00	S/. 150.00
Modificación Poka Yoke	S/. 575.00					
Sistema de Gas	S/. 4,331.60	S/. 1,800.00	S/. 1,800.00	S/. 1,800.00	S/. 1,800.00	S/. 1,800.00
Válvulas	S/. 1,174.50					
PLC (+cable)	S/. 400.00					
Licencia de Software	S/. 1,160.00					
Precio de Especialista Electrónico	S/. 1,000.00	S/. 1,000.00	S/. 1,000.00	S/. 1,000.00	S/. 1,000.00	S/. 1,000.00
Laptop	S/. 2,500.00					
Total de Egreso	S/. 57,572.11	S/. 4,950.00	S/. 5,150.00	S/. 5,370.00	S/. 5,612.00	S/. 5,878.20

Anexo N° 13: Detalle para el análisis del escenario regular

Ingresos Proyectados	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Ahorros por mermas	-	S/. 27,340.00	S/. 28,570.30	S/. 29,855.96	S/. 31,199.48	S/. 32,603.46
Ahorro operativo	-	S/. 3,500.00	S/. 3,657.50	S/. 3,822.09	S/. 3,994.08	S/. 4,173.82
Ahorro horas extras	-	S/. 3,500.00	S/. 3,657.50	S/. 3,822.09	S/. 3,994.08	S/. 4,173.82
Total Ingresos		S/. 34,340.00	S/. 35,885.30	S/. 37,500.14	S/. 39,187.64	S/. 40,951.09

Egresos Proyectados	2016	2017	2018	2019	2020	2021
5's	S/. 2,518.00	S/. 1,000.00	S/. 1,100.00	S/. 1,210.00	S/. 1,331.00	S/. 1,464.10
Six Sigma	S/. 20,383.01	S/. 1,000.00	S/. 1,000.00	S/. 1,000.00	S/. 1,000.00	S/. 1,000.00
Propuesta de Mejora	S/. 34,671.10					
Horno refractario	S/. 11,000.00					
Soportes	S/. 405.00					
Base de Trabajo	S/. 125.00					
Sistema de Sujeción Lateral	S/. 4,000.00					
Sistema brazo cortador	S/. 7,000.00					
Cuchilla giratoria + motor	S/. 1,000.00	S/. 150.00	S/. 150.00	S/. 150.00	S/. 150.00	S/. 150.00
Modificación Poka Yoke	S/. 575.00					
Sistema de Gas	S/. 4,331.60	S/. 1,800.00	S/. 1,800.00	S/. 1,800.00	S/. 1,800.00	S/. 1,800.00
Válvulas	S/. 1,174.50					
PLC (+cable)	S/. 400.00					
Licencia de Software	S/. 1,160.00					
Precio de Especialista Electrónico	S/. 1,000.00	S/. 600.00	S/. 600.00	S/. 600.00	S/. 600.00	S/. 600.00
Laptop	S/. 2,500.00					
Total de Egreso	S/. 57,572.11	S/. 4,550.00	S/. 4,650.00	S/. 4,760.00	S/. 4,881.00	S/. 5,014.10

Anexo N° 14: Detalle para el análisis del escenario optimista

Ingresos Proyectados	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Ahorros por mermas		S/. 32,770.00	S/. 34,736.20	S/. 36,820.37	S/. 39,029.59	S/. 41,371.37
Ahorro operativo		S/. 5,000.00	S/. 5,300.00	S/. 5,618.00	S/. 5,955.08	S/. 6,312.38
Ahorro horas extras		S/. 5,000.00	S/. 5,300.00	S/. 5,618.00	S/. 5,955.08	S/. 6,312.38
Total Ingresos		S/. 42,770.00	S/. 45,336.20	S/. 48,056.37	S/. 50,939.75	S/. 53,996.14

Egresos Proyectados	2016	2017	2018	2019	2020	2021
5's	S/. 2,518.00	S/. 1,000.00	S/. 1,100.00	S/. 1,210.00	S/. 1,331.00	S/. 1,464.10
Six Sigma	S/. 20,383.01	S/. 1,000.00	S/. 1,100.00	S/. 1,210.00	S/. 1,331.00	S/. 1,464.10
Propuesta de Mejora	S/. 34,671.10					
Horno refractario	S/. 11,000.00					
Soportes	S/. 405.00					
Base de Trabajo	S/. 125.00					
Sistema de Sujeción Lateral	S/. 4,000.00					
Sistema brazo cortador	S/. 7,000.00					
Cuchilla giratoria + motor	S/. 1,000.00	S/. 150.00	S/. 150.00	S/. 150.00	S/. 150.00	S/. 150.00
Modificación Poka Yoke	S/. 575.00					
Sistema de Gas	S/. 4,331.60	S/. 1,800.00	S/. 1,800.00	S/. 1,800.00	S/. 1,800.00	S/. 1,800.00
Válvulas	S/. 1,174.50					
PLC (+cable)	S/. 400.00					
Licencia de Software	S/. 1,160.00					
Especialista Electrónico	S/. 1,000.00	S/. 450.00				
Laptop	S/. 2,500.00					
Total de Egreso	S/. 57,572.11	S/. 4,400.00	S/. 4,600.00	S/. 4,820.00	S/. 5,062.00	S/. 5,328.20