

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

Proyecto Integrador de titulación

Producción en tiempos de Covid-19 para piscinas multiuso: Aplicación de la metodología DMAIC mediante el uso de herramientas lean.

Carlos Ernesto Benítez Proaño

Patricio Ismael Tipán Correa

Ingeniería Industrial

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito para la obtención del título de Ingeniero Industrial

Quito, 9 de diciembre del 2020

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

Producción en tiempos de Covid-19 para piscinas multiuso: Aplicación de la metodología DMAIC mediante el uso de herramientas lean.

Carlos Ernesto Benítez Proaño

Patricio Ismael Tipán Correa

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico:

Danny Navarrete, M.Sc.

Quito, 9 de diciembre del 2020

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Carlos Ernesto Benítez Proaño

Código: 00115212

Cédula de Identidad: 172072009-1

Nombres y apellidos: Patricio Ismael Tipán Correa

Código: 00132273

Cédula de Identidad: 171802221-1

Lugar y fecha: Quito, 9 de diciembre del 2020

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

Fitness Pool, una empresa dedicada a la manufactura de piscinas armables para nado estacionario, cuenta con un proceso de producción que retrasa la entrega del producto final por 2 días laborables. Mediante la metodología DMAIC en conjunto con herramientas de Lean Manufacturing, se detectó que el tiempo de producción se veía afectado por 2 problemáticas principales las cuales son: demoras en el proceso de extrusión por falta de estandarización del mismo y complicaciones en el armado de las piscinas por fallos en el ángulo de destaje el cuál es determinante para un correcto armado. Detectada la problemática mediante el uso de VSM, Gráficas de Balance y estadística descriptiva, se analizó la causa raíz de las mismas mediante pruebas estadísticas no paramétricas y Diagramas de Ishikawa concluyendo que el uso de la herramienta inadecuada para el corte y la falta de estandarización del proceso de extrusión son las fuentes principales de retraso para el proceso de producción. De este modo se sugirió la implementación de una nueva herramienta adaptada con un poka-yoke, la implementación de una hoja de operaciones estandarizada y un replanteamiento de layout con el fin de reducir el tiempo de producción del producto final y mejorar el proceso de producción en general.

Palabras clave: DMAIC, Lean, 5W2H, Mapa de Flujo de Valor, Takt Time, Mudas, Cuello de Botella, Diagrama de Causa y Efecto, Signo Simple.

ABSTRACT

Fitness Pool, a company dedicated to the manufacture of above the ground pools for stationary swimming, has a production process that delays the delivery of the final product to the client by 2 working days. Using the DMAIC methodology in conjunction with Lean Manufacturing tools, it was determined that the production time was affected by 2 main problems which are: 1) delays in the extrusion process due to lack of standardization and 2) complications in the assembly of the pools due to failures in the clearance angle which is critical for a correct assembly. These problems were detected through the use of VSM, Balance Charts and descriptive statistics. The root cause for main problems were analyzed using non-parametric statistical tests and Ishikawa Diagrams, concluding in the use of an inappropriate tool for cutting and the lack of standardization of the extrusion process are the main sources of delay for the production process. In this way, the implementation of a new tool adapted with a poka-yoke, the implementation of a standardized operations sheet and a rethinking of the layout was suggested in order to reduce the production time of the final product and improve the production process in general.

.

Keywords: DMAIC, Lean, 5W2H, Value Stream Map, Takt Time, Silent, Bottleneck, Cause and Effect Diagram, Simple Sign.

TABLA DE CONTENIDOS

1. Introducción	13
1.1 Descripción de la Empresa y Producto	13
1.1.1 Misión y Visión	14
1.1.2 Productos	14
1.1.3 Estructura Organizacional.....	15
1.1.4 Proceso de Producción Actual	16
1.2 Justificación de la selección de la empresa	16
1.3 Justificación de la selección del proyecto	17
2. Objetivos	19
2.1 Objetivo General.....	19
2.2 Objetivos Específicos	19
3. Revisión literaria.....	20
4. Selección de la metodología.....	23
5. Fase 1: Definir	25
5.1 Enunciado y definición del problema.....	25
5.2 Identificación Clientes externos e internos	27
5.3 SIPOC	28
5.4 Identificación del flujo del proceso.....	29
5.5 Project Charter	29
6. Fase 2: Medir.....	30
6.1 Plan de Medición línea base del proceso actual.....	30
6.2 Identificación del problema (VSM actual).....	30
6.3 Medidas de tiempo obtenidas: Línea Base.....	31
6.4 Takt Time	32
6.5 Gráfica de balance	33
6.6 Medición Problemáticas en los procesos críticos:	34
6.7 Tamaño de muestra	34
6.7.1 Tamaño de muestra del destaje	34
6.7.2 Tamaño de muestra de la extrusión	35
6.8 Evaluación sistema de Medición:.....	36
6.9 Flujo del Proceso	36
6.9.1 Flujo Proceso de destaje:	36
6.9.2 Flujo Proceso de Extrusión:	37
6.10 Descripción sistema de medición:.....	37

6.11 Instrumentos de Medición:	39
6.12 Resultados Obtenidos:	39
7. Analizar	41
7.1 Prueba de Hipótesis: Evaluación No paramétrica	41
7.2 Diagrama Ishikawa	42
8. Implementar	43
8.1 Implementaciones para las causas raíces.....	43
8.2 Mejora Layout.....	44
8.2.1 Simulación del Layout de la empresa.....	45
8.3 Mejoras esperadas	46
9. Limitaciones.....	47
10. Conclusiones	47
11. Recomendaciones	49
REFERENCIAS	50

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Tipos de Piscinas</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 2 Descripción etapas DMAIC.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 3: 5W1H</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 4 Takt Time</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 5: Tamaño de muestra destaje</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 6: Tamaño de muestra extrusión</i>	<i>36</i>

ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1 Formula Process cycle efficiency</i>	31
<i>Ecuación 2 PCE</i>	32
<i>Ecuación 3 Takt Time</i>	33
<i>Ecuación 4 Tamaño de muestra</i>	34

ÍNDICE DE GRÁFICOS

<i>Gráfico 1 Estructura Organizacional Fitness Pool</i>	15
<i>Gráfico 2 Productos vendidos Fitness Pool</i>	17
<i>Gráfico 3 Diagrama Pareto productos Fitness Pool</i>	19
<i>Gráfico 4: Flujo del proceso de destaje</i>	37
<i>Gráfico 5: Flujo del proceso de extrusión</i>	37
<i>Gráfico 6: Toma de datos destaje</i>	38
<i>Gráfico 7: Toma de datos Extrusión del liner</i>	39
<i>Gráfico 8: Layout actual Fitness Pool</i>	45
<i>Gráfico 9: Layout idea Fitness Pool</i>	45
<i>Gráfico 10: Dashboard distancias del layout actual</i>	46
<i>Gráfico 11: Dashboard distancias del layout ideal</i>	46

ÍNDICE DE ANEXOS

<i>Anexo 1: Tipos de Piscinas</i>	<i>55</i>
<i>Anexo 2: Flujo del proceso de producción.....</i>	<i>57</i>
<i>Anexo 3: SIPOC.....</i>	<i>58</i>
<i>Anexo 4: Project Charter.....</i>	<i>59</i>
<i>Anexo 5: Value Stream Map</i>	<i>60</i>
<i>Anexo 6: Takt Time</i>	<i>61</i>
<i>Anexo 7: Gráfica de balance por tableros.....</i>	<i>61</i>
<i>Anexo 8: Gráfica de balance por piscina.....</i>	<i>62</i>
<i>Anexo 9: 5W2H.....</i>	<i>62</i>
<i>Anexo 10: Gage R&R.....</i>	<i>63</i>
<i>Anexo 11: Estadística descriptiva del ángulo.....</i>	<i>64</i>
<i>Anexo 12: Estadística descriptiva de los tiempos</i>	<i>65</i>
<i>Anexo 13: BOX - COX.....</i>	<i>66</i>
<i>Anexo 14: Prueba de Simetría.....</i>	<i>67</i>
<i>Anexo 15: Sample sing ángulo.....</i>	<i>67</i>
<i>Anexo 16: Sample sign tiempos.....</i>	<i>68</i>
<i>Anexo 17: Ishikawa ángulo.....</i>	<i>68</i>
<i>Anexo 18: Ishikawa extrusión.....</i>	<i>69</i>
<i>Anexo 19: Herramienta y Poka-Yoke</i>	<i>69</i>
<i>Anexo 20: Hoja estandarizada de operación</i>	<i>70</i>
<i>Anexo 21: Layout actual de la empresa.....</i>	<i>72</i>
<i>Anexo 22: Simulación Layout actual.....</i>	<i>73</i>
<i>Anexo 23: Simulación Layout ideal.....</i>	<i>73</i>

1. Introducción

El 29 de febrero del 2020 en Ecuador, se registró el primero caso confirmado por coronavirus de una mujer procedente de España (National Geographic en español, 2020). Con ello, se inició una cuarentena obligatoria y necesaria para resguardar la seguridad del pueblo ecuatoriano. El 16 de marzo del 2020 entró en vigor del Decreto Ejecutivo No. 1017 que declaró el estado de excepción por calamidad pública en todo el territorio nacional (El Comercio, 2020). A consecuencia de ello, en el Ecuador, en términos económicos, se registró que entre las siete primeras semanas de pandemia, el promedio de pérdidas económicas fue de USD 1.505 millones, en todos los sectores de productividad del país (Ministerio de Productividad, 2020). Sin embargo, solamente en el sector comercial, existió una pérdida de USD 852 millones (Ministerio de Productividad, 2020). Esto provocó una paralización obligatoria en todas las industrias a nivel nacional, dejando grandes afectaciones a las distintas áreas de productividad (Ministerio de Productividad, 2020). Sin embargo, esto ha llevado al surgimiento de pequeñas y medianas empresas, o incluso a que empresas ya existentes diversifiquen su giro de negocio y también a personas individuales a emprender proyectos por necesidad (Sulbarán, 2020). La empresa Fitness Pool entra en el marco de las empresas que han surgido durante esta pandemia.

1.1 Descripción de la Empresa y Producto

El proyecto Fitness Pool lleva desarrollándose durante 5 años y su lanzamiento oficial ocurrió a principios de mayo del 2020. La empresa Fitness Pool cuenta con dos instalaciones principales las cuales se encuentran en la misma ubicación: Checa, AV. Camino Real SN, pueblo ubicado en Quito-Ecuador. La primera es la planta de producción (taller) cuya área es de 95.4 [m²] y cuenta con 1 baño, 2 bodegas, área de manufactura y área de armado. A 60 mts de distancia de la planta se encuentra la oficina principal que consta de un espacio para recibir a los clientes como adicional a la oficina principal. Fitness Pool está enfocada en desarrollar

piscinas multiusos donde su enfoque principal es ayudar a todo deportista que no puede seguir con sus entrenamientos debido a la falta de accesibilidad a espacios destinados para natación. Adicionalmente la empresa se ha diversificado en cuanto al mercado objetivo, dando así a los usuarios la oportunidad de recrearse a través del hidromasaje tipo jacuzzi y calentamiento de agua como un adicional a las piscinas para nado sin fin.

1.1.1 Misión y Visión

Misión: Ser la empresa número 1 a nivel nacional en la industria de piscinas multiuso dentro del mercado ofreciendo al cliente bienestar, salud y juventud.

Visión: Posicionarse dentro del mercado internacional, como la empresa pionera productora de piscinas multipropósito de fácil instalación en Latinoamérica.

1.1.2 Productos

En la actualidad, fitness pool ofrece a sus clientes dos tipos de productos: piscinas y pérgolas. En cuanto a las piscinas, se establecieron 2 tipos, las piscinas semienterradas y las piscinas vistas armables. Para ambos casos existen 3 modelos que son: piscina octogonal, piscina hexagonal y piscina rectangular (Fitness Pool, 2020), como se observa en el Anexo 1. Dichas piscinas cuentan con distintos sistemas de funcionamiento por lo cual la combinación del tipo de piscina con los diversos sistemas de funcionamiento se considera como un producto específico. La lista y especificaciones de los productos dentro de gamas de los tipos de piscinas es la siguiente:

Tabla 1 Tipos de Piscinas

Piscinas Fitness Pool	
Tipo	Modelo
Vistas Armables	Octogonal
	Hexagonal
	Rectangular
Semienterradas	Octogonal
	Hexagonal
	Rectangular

Estos 2 tipos de piscinas siguen una misma línea de producción, sin embargo, tienen un proceso de fabricación distinto según su tipo. Para las piscinas de tipo semienterradas se utiliza un sistema de ensamble de platinas y pernos a diferencia de las piscinas de tipo armables que no requieren ningún accesorio para su ensamble. Esto hace que se diferencien como 2 distintas familias de productos ya que cuentan con dos distintos procesos de fabricación dependiendo si es que es una piscina semienterrada o una piscina armable (García Martín & García Sánchez, 2018), sin importar el modelo que requiera el cliente.

1.1.3 Estructura Organizacional

Fitness Pool actualmente maneja una estructura organizacional jerárquica, en la cual en la cabeza está el gerente general que se encarga de realizar los pedidos de materia prima a proveedores, aprobar métodos de pagos para los clientes y generar la orden para la producción de una piscina. En el segundo nivel de la estructura organizacional, están los vendedores freelance, el contador y el jefe de operaciones. Los vendedores freelance son los encargados de realizar las ventas y promoción del producto, el contador organiza y maneja el área contable y financiera de la empresa mientras que el jefe de operaciones es el encargado de supervisar la producción, armado y entrega de las piscinas. En el tercer nivel se encuentran los operarios que son los encargados de realizar las operaciones del proceso de producción, armado y entrega de las piscinas.

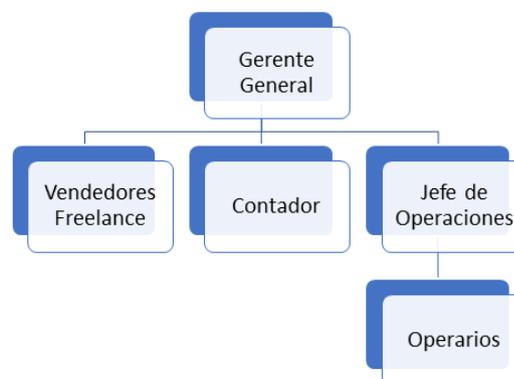


Gráfico 1 Estructura Organizacional Fitness Pool

1.1.4 Proceso de Producción Actual

El proceso de producción actual para cada piscina tiene un tiempo de duración de entre seis a ocho días laborables, contando con tres operadores fijos y un trabajador a tiempo parcial los cuales trabajan en un solo turno de ocho horas diarias. Dicho proceso consta de varias fases las cuales son: recepción de materia prima (madera, geomembrana liner, tuberías, bombas, piezas electrónicas, etc.), trabajo en madera (corte, machimbrado, destaje, trabajo de ángulos), ensamble (armado de prueba) e impermeabilización (colocación de liner, extrusión de liner). Actualmente el tiempo de producción está por debajo de los estándares establecidos por la empresa ya que se espera que el proceso de fabricación y entrega de cada piscina tome tres días de producción y dos días de instalación. Esto ha llevado a la empresa a tener que trabajar fuera de horarios establecidos, contratar operadores extras y a demoras en el plan de trabajo durante el proceso de producción. Estos desperdicios de tiempo, dinero y materia prima que se han mencionado se estudiarán en las siguientes secciones.

1.2 Justificación de la selección de la empresa

Se ha decidido realizar este estudio utilizando la filosofía Lean Six Sigma (LSS) en la empresa Fitness Pool con el motivo de ayudar a la empresa a llegar a los altos estándares de calidad que ofrecen a sus clientes alineándose así con la misión de la misma. La implementación de la metodología LSS es poco común en empresas Pymes, las cuales se las considera como el sector más productivo dentro del país (Ron Amores & Sacoto Castillo, 2017). El presente estudio pretende ser una ayuda-guía para una primera implementación de dicha filosofía de trabajo en empresas de este tipo en el Ecuador. Además, Fitness Pool al ser una empresa PYMES (pequeñas y medianas empresas), no cuenta con metodologías de trabajo establecidas, sistemas de producción, estándares de trabajo, ni controles de calidad de sus productos. Por lo cual, por medio de este estudio, se espera que Fitness Pool de el primer paso dejar de ser un emprendimiento artesanal y pasar a ser a una fábrica de piscinas de la más alta

calidad. Este enfoque de mejora continua y crecimiento se ha desarrollado por el incremento en ventas que ha surgido desde que la empresa empezó su funcionamiento. Desde su inicio en mayo se han realizado 8 piscinas y 2 pérgolas.

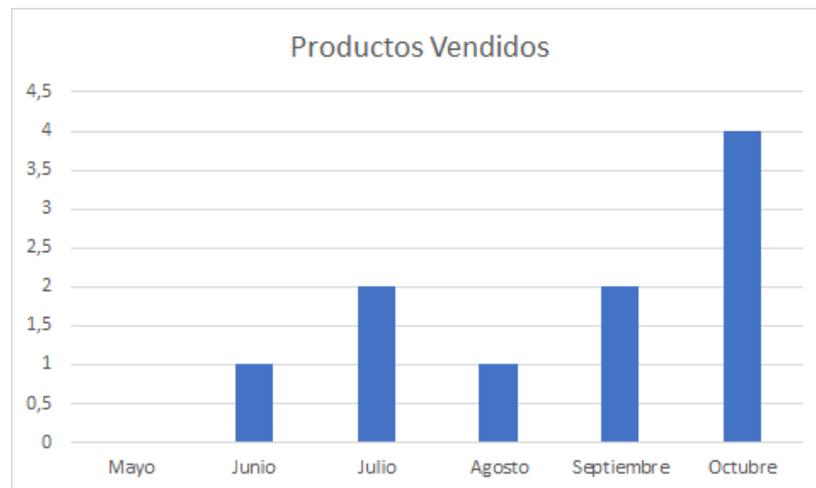


Gráfico 2 Productos vendidos Fitness Pool

1.3 Justificación de la selección del proyecto

El presente estudio surge a raíz de la intención de mejoramiento continuo por parte de la empresa Fitness Pool y mejorar la calidad de los productos ofrecidos al cliente a través de la mejora de sus procesos. Mediante la filosofía Lean Six Sigma se pretende reducir la variabilidad de los procesos de producción para cumplir con las metas planteadas por la empresa en un futuro. Dichas metas son: reducir los tiempos de entrega de piscina y mejorar los procesos de producción. Además, el presente estudio se enfoca en analizar cada actividad dentro del proceso de producción de piscinas vistas armables mediante la identificación de cuellos de botella, y de esta forma buscar las soluciones óptimas, con el fin de, reducir todas las mudas (desperdicios) encontradas dentro de la línea de producción (Lean Manufacturing, 2017). El trabajo de optimización se desarrollará mediante la metodología DMAIC con enfoque en reducción de desperdicios para dar solución a la problemática de tiempo de

producción, identificado y atacando la causa raíz del mismo (Vilela, 2018) mediante el uso de herramientas Lean (Ambit, 2019).

Mediante los criterios para planeación de proyectos SMART se evalúa la funcionalidad de la implementación de un estudio Lean Six Sigma para el caso puntual de Fitness Pool.

- **Specific (específico):** El estudio se centrará en el área de producción que busca reducir el tiempo del proceso producción para piscinas armables, reducir desperdicios de material y mejorar la infraestructura del área de trabajo.
- **Measurable (medible):** Se cuenta con disponibilidad para realizar mediciones de tiempos, desperdicios de materiales, fallas y dimensiones con el fin de solucionar los problemas establecidos mediante herramientas Lean Six Sigma.
- **Attainable (alcanzable):** el alcance del estudio estará centrado en las fases definir, medir y analizar realizando implementaciones rápidas y de bajos costos en la empresa. De este modo no se plantea llegar a las fases controlar e implementar de la metodología DMAIC.
- **Relevant (importante):** el estudio tiene relevancia significativa ya que se centra con las necesidades actuales de mejoramiento que tiene la empresa. LSS está enfocado en la reducción de variabilidad en los procesos y el mejoramiento de defectos para satisfacer al cliente(cita).
- **Time bound (Límite de tiempo):** el estudio terminará el 9 diciembre del 2020.

El enfoque de este estudio está basado en el producto de mayor rotación y utilidad que genera a la empresa, el cual, en base a un diagrama de Pareto realizado en función de la demanda actual de la empresa se ha determinado que las piscinas Octogonales Armables son el producto de mayor rotación y demanda por parte de los clientes como se muestra en la gráfica número tres. Por tanto, para toda empresa es de suma importancia analizar y mejorar todos los

procesos de los productos que generan un margen mayor de rotación y utilidad, con el fin de mantener un alto porcentaje de calidad cumpliendo las expectativas de sus clientes (Hua,Bao & Wu, 2020). Además, que se aumenta el margen de utilidad al disminuir los costos por mudas (desperdicios) en la fase de producción (Arunagiri & Gnanavelbabu,2014).

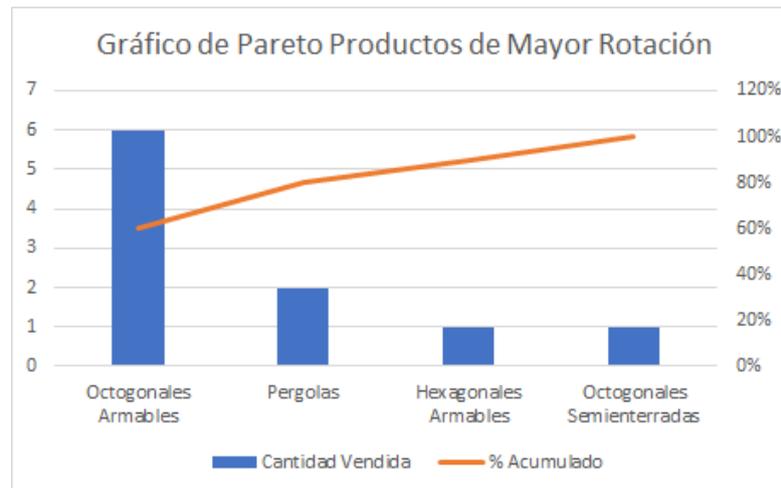


Gráfico 3 Diagrama Pareto productos Fitness Pool

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Mejorar la eficiencia de producción de las piscinas fitness pool mediante la metodología Lean Six Sigma con el fin de mejorar y optimizar el uso de recursos en la fase de producción.

2.2 Objetivos Específicos

- Definir el proceso de producción de manera estandarizada para las piscinas tipo armables.
- Identificar los puntos críticos dentro del proceso de producción con el fin de mejorarlos.
- Reducir el tiempo de ciclo de las fases de armado de tableros y extrusión de geomembrana mediante el uso de herramientas Lean.
- Disminuir la variabilidad existente en los procesos de extrusión de geomembrana.

2.3 Preguntas de investigación:

¿La empresa Fitness Pool está en la capacidad de cumplir con el tiempo de entrega de 3 días laborables para el proceso de producción?

3. Revisión literaria

Six Sigma

La metodología Six Sigma es un enfoque metodológico de calidad para reducir variabilidad en los procesos, reducir gastos y aumentar ingresos enfocado en el trabajo, y a su vez en la satisfacción del cliente (Krogstie & Martinsen, 2013). Fitness pool tiene como principal objetivo ofrecer al cliente piscinas para nado sin fin de la más alta calidad en el mercado ecuatoriano. Montgomery (2013) define la calidad de una forma sencilla como: “Aptitud para ser usado”. A su vez, Stevenson (2015) en su libro *Operations Managment* establece a la calidad como la “habilidad de un producto o servicio en cumplir o exceder consistentemente las expectativas del cliente”. Dentro de este margen de adaptabilidad a las necesidades del cliente, el trabajar en un contexto de calidad y Six Sigma establece diferentes aptitudes para un producto, las cuales son: rendimiento, confiabilidad, durabilidad, utilidad, apariencia, características, percepción de calidad y estándares (Montgomery, 2013). Para empresas de manufactura, como lo es Fitness Pool, Siregar (2020) implementa el enfoque Lean Six Sigma para proponer mejoras a través de la eliminación de actividades que no agregan valor y reducir la cantidad de productos defectuosos en una empresa que produce partes de vehículos. De la misma forma, Ullah, Khan, Nawaz & Akhtar (2016), establecen que, para la solución de problemas en la industria de manufactura, la filosofía Six Sigma es similar en su enfoque funcional para gestión de calidad total al igual que la metodología de trabajo PDCA (Plan, do, check, act) y el método de 7 pasos de Juran & Gryna; razón por la cual se utiliza esta filosofía para la reducción de defectos del modelamiento de botellas a través de la extrusión en una empresa Pakistani. Dentro de los procesos de producción Fitness Pool utiliza un liner de geomembrana un polímero de alta impermeabilidad calidad (Coreño & Méndez, 2010) el cual

requiere la temperatura adecuada para su manipulación y trabajo de extrusión (Fitness Pool, 2020). De este mismo modo Fitriana, Saraghi & Larasati utilizan la metodología Lean Six Sigma para mejorar la calidad y manejo de temperatura en el proceso de extrusión para polímeros similares.

Tomando en cuenta como prioridad los requerimientos de la empresa Fitness Pool se plantea el enfoque para este proyecto, mismo que busca mejorar sus procesos de producción basados en la calidad del producto. Sin embargo, el mantener este concepto de calidad durante el proceso de producción, incentiva a las empresas a cuantificar parámetros medibles de calidad como son el número de defectos de un producto, productos defectuosos (Indrawati & Ridwansyah, 2015), e indicadores utilizados dentro de la filosofía de trabajo Six Sigma, también definidos como CTQ's (criticals to quality). De este modo, con el objetivo de mantener una estrategia estructurada alrededor de la "buena calidad", fitness pool trata de tener productos sin defectos, tener gran reputación en el mercado, mantener precios premium en relación con la competencia, tener clientes fieles al producto, menores costos por debilidades y menores problemas en producción en general (Arumugam, Antony & Linderman, 2014). Dichos objetivos de calidad se alcanzan mediante la mejora continua y el desarrollo de metodologías de trabajo para reducir errores, defectos y variabilidad dentro de los procesos de manufactura de la empresa (Srinivasen et al, 2014). De no contar con este enfoque de trabajo se puede incurrir en pérdidas, deficiencias, baja productividad y altos costos (Stevenson, 2015). Así, estos conceptos que giran alrededor de la calidad pueden ser abarcados mediante una metodología de trabajo establecida alrededor de las filosofías de calidad, mejoramiento continuo y reducción de desperdicios que se traduce en la metodología DMAIC (Leaphart et al., 2012). Dicha metodología será la guía de trabajo de este proyecto y será explicada a detalle en la siguiente sección.

Lean

Un complemento de la calidad es trabajar mediante el uso de herramientas Lean. La filosofía de trabajo mediante conceptos Lean (Lean Thinking) se origina en el sistema de producción Toyota (Annamalai, Vinoth & Bagathsingh 2020). Dentro de la filosofía Lean Thinking se ha desarrollado el concepto de Lean Manufacturing. Dicha filosofía de trabajo se enfoca en la reducción de desperdicios mediante la identificación de MUDA las cuales pueden afectar el flujo de la producción, tiempos de espera, tiempos de entrega, calidad y costos (Jiménez et al., 2019). Lean Manufacturing está basada en varios conceptos fundamentales. Uno de ellos es trabajo estandarizado el cual abarca reducción de variabilidad en procesos teniendo por consecuencia el incremento en la calidad y la reducción de defectos de un producto (DPMO) o servicio (Barot et al., 2019). A su vez, esta fase de estandarización forma parte en la herramienta 5's. Otra filosofía Lean es Kaizen, el cual es un concepto de mejora continua creando así un impacto positivo en el personal de la empresa y su organización de trabajo (Umeda, et al., 2020). Un tercer concepto es Heijunka, definido como un sistema mixto de nivelación para mantener la producción en función de la demanda (Ijumapayi et al., 2006).

Dentro de la filosofía Lean existen varias herramientas creadas para mejorar problemas en las distintas etapas de trabajo durante la implementación de Lean manufacturing. Dichas herramientas son utilizadas acorde a la necesidad o momento en el cual la empresa las necesite. Para reducción de desperdicios y control de variabilidad del proceso, así como medidas de eficiencia están las siguientes herramientas: Six Sigma, Cartas de Control, KPI y Diagrama de Pareto (Ferreira et al., 2019). A su vez, para la planificación de las actividades encontramos las siguientes: Kaizen, Hoshinkanri y Diagrama de Gantt (Ijumapayi et al., 2006). En la identificación de desperdicios, identificación de procesos, causas raíz y visualización de defectos se utiliza: VSM (Garza-Reyes, Kumar & Molder, 2018), Diagrama Ishikawa y Gemba Walk o Diagrama de Spaghetti (Jayanth et al., 2019). En cuanto a mejoras rápidas es común encontrar: 5S, Poka-Yoke, Andon, Trabajo Estándar, Kanban, SMED, entre otros (I

Annamalai, Vinoth & Bagathsingh 2020). Dichas herramientas mencionadas se tomarán en cuenta para el desarrollo de este proyecto y se seleccionarán en función de las necesidades del mismo.

Tanto la metodología DMAIC, como Lean, son muy usadas en varios proyectos de mejoramiento continuo, por lo cual Ferreira et al. (2019) realizaron una investigación, en la cual implementan la fusión de las dos metodologías, nombrada como iLeanDMAIC. Esta nueva metodología, fusiona las herramientas lean siguiendo las directrices de cada fase de DMAIC (Ferreira et al., 2019). La misma tiene como objetivo resolver todos los problemas que presenta la empresa, reduciendo el desperdicio, y mejorando la eficiencia y la competitividad (Ferreira et al., 2019). El estudio se llevó a cabo dentro de una empresa de madera, el cual, al aplicar esta fusión de metodologías, dio como resultado una reducción del tiempo de cambio en la maquina ensambladora, representando un 44% de ganancia sobre la utilidad (Ferreira et al., 2019). De esta forma, queda comprobada la confiabilidad de la unión de las metodologías mencionadas, por consiguiente, se espera obtener resultados similares para este estudio.

4. Selección de la metodología

Dentro de los conceptos de Six Sigma, se encuentra la metodología DMAIC, acrónimo en inglés de las palabras: definir, medir, analizar, mejorar y controlar. Las cuales se enfocan en mejorar los procesos, permitiendo una reducción de defectos y variabilidad del proceso, además que permite a las empresas mejorar su eficiencia y desempeño (De Mast & Lokkerbol, 2012). Esta metodología consta de cinco etapas, las cuales se conectan entre sí y se describen a menudo como un enfoque para la resolución de problemas (De Mast & Lokkerbol, 2012). Cada etapa permite identificar y eliminar todo parámetro que afecte la eficiencia de un proceso, a partir de las cuales se busca mejorar la línea de producción, optimizar recursos, y reducir todo tipo de costos que no generen valor a la empresa (Ferreira et al., 2019). No obstante, por el

límite de tiempo para el estudio, no se realizará la última fase de la metodología DMAIC, ya que al implementar las mejoras es importante realizar un control de las mismas. Es así que el alcance del proyecto llegará hasta la fase de implementar, realizando tres implementaciones de mejora rápida. En la Tabla No. 1 se explica la función de cada una de las etapas de la metodología DMAIC.

Tabla 2 Descripción etapas DMAIC

DMAIC	
Fases	Descripción
Definir	Se determina el enfoque que tendrá el estudio y sus objetivos.
Medir	Recolectar todos los datos para medir el desempeño del proceso analizado.
Analizar	Identificar las causas, efectos y variaciones de los problemas de los datos obtenidos.
Implementar	Definir posibles mejoras o soluciones óptimas para los problemas encontrados.
Controlar	Validar que los objetivos se hayan cumplido y las mejoras implementadas sean las correctas y duraderas.

(Ferreira et al., 2019)

En el presente estudio también se utilizarán los conceptos y herramientas de Lean Manufacturing como complemento de trabajo para la metodología DMAIC con la finalidad de obtener una clara identificación de desperdicios para su posterior eliminación. Además, mediante Kaizen (concepto de Lean Manufacturing) se enfoca el trabajo para una mejora continua de todas las áreas dentro de la empresa, llegando así al punto óptimo de los procesos de la empresa (Smętkowska & Mrugalska, 2018). Dentro de la metodología Lean, existen varias herramientas, las cuales fueron explicadas anteriormente. Sin embargo, para el presente estudio se utilizarán cuatro de ellas que serán distribuidas en las etapas de definir, analizar y mejorar. En la primera etapa de definir analizar se utilizará del mapa de estado actual (VSM) para visualizar y entender de forma macro el proceso de producción contabilizando a todos los participantes de la cadena de valor. De igual forma se utilizará diagramación BPMN de los procesos más críticos. En la fase de Medir se establecerá de forma cuantitativa la situación actual de los procesos a evaluar mediante: un análisis Gage R&R para verificar el sistema de medición y la confiabilidad de los encargados de estas mediciones (Wrzochal & Adamczak, 2019), un análisis 5W2H para identificar los KPI's específicos a medir y definir una

metodología de medición (Neves, et al., 2018), un análisis de estadística descriptiva para los KPI's identificados y una comparación entre los tiempos de ciclo del proceso actual y el takt time necesario para satisfacer la demanda. En la fase de analizar se utilizará pruebas de hipótesis para analizar las mediciones realizadas en las fases previas en comparación con los requerimientos específicos de cada KPI establecidos y diagramas de causa efecto para identificar las causas raíz de los efectos identificados en cada proceso. Por otro lado, dentro de la fase de mejorar o implementar, se utilizará las 5S para implementar como solución óptima a los problemas de distribución de materiales y su organización (Jiménez, et al., 2015). Finalmente, se implementará a esta fase, la herramienta de trabajo estándar para el área de producción, ya que con ello se establecerá pasos necesarios para realizar una correcta elaboración del producto (Gens, et al., 2009).

5. Fase 1: Definir

5.1 Enunciado y definición del problema

✓ 3W2H

Para dar inicio en la fase de definir se utilizó la herramienta 3W2H, la cual ayuda a responder preguntas concretas con el fin de obtener mayor información sobre el proceso (Neves, et al., 2018), las siguientes preguntas se respondieron en conjunto con el personal de la empresa:

- ¿Qué está fallando?
El tiempo de entrega de la piscina al cliente final.
- ¿Dónde ocurre el problema?
En el proceso de producción realizado en el taller.
- ¿Desde Cuándo?
Desde el inicio de la producción en junio de 2020.

- ¿Cuánto es la falla?

La falla es de dos días laborables adicionales a lo planificado según el jefe de producción.

- ¿Cómo se sabe?

El proceso de producción de piscinas debe ser de 3 días laborables para que se cumpla con el plazo de entrega de 5 días laborables incluyendo 2 días de armado e instalación en el sitio.

✓ **Definición del problema**

La empresa Fitness Pool tiene como demanda hasta el mes de octubre de 2020, 4 órdenes de piscinas. Sin embargo, desde los meses de noviembre en adelante se espera recibir seis órdenes de piscinas como demanda establecida. Actualmente la empresa no ha cumplido con los plazos estipulados de entrega en sus 4 piscinas ya que para el proceso de producción se han demorado un promedio de 3-4 días laborables (Fitness Pool, 2020) y el armado in situ se lo ha realizado en 3. A su vez tanto los operarios como el gerente, concuerdan que el proceso de producción de piscinas es un proceso artesanal y señalan que dentro de este proceso la actividad más compleja y demorada en realizarse es el proceso de extrusión. Los encargados del proceso de producción señalan también que existen dificultades en la actividad de armado de las piscinas ya que nunca han tenido facilidad para realizar esta actividad. Por ello se ha determinado la problemática de que:

- El tiempo de producción se demora más de lo requerido, lo cual causa retrasos en la entrega del producto final.

✓ **Meta**

Con el problema claro, se analizó cual va hacer la meta a cumplir, con lo cual, junto al Gerente de Fitness Pool, se estableció que se debe disminuir el tiempo de producción, para cumplir con lo ofrecido a los clientes, por ello la meta planteada es la siguiente:

- Reducir el tiempo de producción de piscinas en un 50 %, y a su vez disminuir el retraso con los pedidos.

5.2 Identificación Clientes externos e internos

Para la primera fase de este estudio se han identificado los clientes que tiene Fitness Pool con la finalidad de enfocar el estudio en las necesidades y requerimientos de los mismos. Fitness Pool cuenta con 1 tipo de cliente externo y 2 tipos de clientes internos. Los posibles y actuales compradores de piscinas, considerados los clientes externos, no serán tomados en cuenta en este estudio debido a que Fitness Pool es una empresa PYMES y no se puede contar con la cuantificación de una muestra representativa de la población objetivo a la cual está dirigida este producto. A esto se añade las limitaciones de circulación normal por pandemia de COVID-19 y limitaciones de tiempo. De este modo los requerimientos, problemas y necesidades para este estudio estarán dados por los clientes internos, principales actores del proceso de producción. Los 2 tipos de clientes internos son: Gerente general y operadores. La percepción, requerimientos y especificaciones de los clientes internos se ha considerado como la Voz del Negocio o VOB. Por medio de reuniones constantes y entrevistas con el gerente general de la empresa se logró identificar las siguientes dimensiones de la calidad para las piscinas Fitness Pool:

1. Conformidad: Fácil y rápida instalación y desinstalación. 5 días de lead time (producción 3, instalación 2).
2. Desempeño: temperatura del agua adecuada, impermeabilidad, funcionamiento de máquinas adecuado.

3. Confianza: Impermeabilidad total de las piscinas, no desgaste en maderas, entrega a tiempo del producto final.
4. Calidad percibida: alta

A su vez, el Gerente General de la empresa ha señalado que en la actualidad se realiza la producción de 6 piscinas al mes con un objetivo a futuro de realizar 10 piscinas mensuales y tener capacidad operativa para ello. De este modo se ha identificado a la fase de producción como el foco de atención para mejoras ya que en la actualidad el proceso de producción en todas las piscinas entregadas a tomado más de 3 días laborable, requerimiento se espera llegar para cumplir con el tiempo de entrega final del producto en 5 días laborables. Este requerimiento de tres días le permitiría a Fitness Pool operar en función de la demanda actual para evitar retrasos con los clientes futuros a corto plazo. Tanto el Gerente General cómo los operadores coinciden que el trabajo en madera y la extrusión de la geomembrana son los trabajos más complejos que requieren de más tiempo para su realización.

Por parte de los operadores se pudo obtener distintos parámetros en cuanto a requerimientos funcionales de la calidad del producto. Dichos requerimientos se traducen a especificaciones técnicas obtenidas para los tableros y geomembrana, principales materiales en el proceso de producción de las piscinas armables. Adicionalmente a estas especificaciones técnicas y funcionales, los operadores mencionan que existe falta de espacio en el área de trabajo, falta de planificación para la producción, materia prima difícil de procesar y horas adicionales al horario de trabajo. Sin embargo, la principal preocupación por parte de los operarios es que, pese se trabaje a un alto nivel de rendimiento, no se puede realizar el proceso de producción en menos tiempo.

5.3 SIPOC

Para tener una visualización clara de los actores principales de la empresa, así como una perspectiva general del proceso completo para adquirir una piscina se realizó un diagrama SIPOC (Anexo 3). En el diagrama se puede identificar 5 tipos de proveedores, las entradas del proceso que son los materiales y el personal requeridos para la fabricación, la descripción del proceso de compra desde que se genera la orden hasta la entrega de la piscina, los tipos de piscinas como salidas del proceso y los clientes que reciben el producto. Se los procesos 2 y 3 los cuales engloban todo el proceso de producción ya que éstos serán el enfoque de este estudio.

5.4 Identificación del flujo del proceso

El proceso de producción de las piscinas es de suma importancia para la empresa, por lo cual se realizó un levantamiento del proceso de toda la fase de producción, el cual se observa en el Anexo 2. Esto con el fin de que se establezcan todas las actividades que deben tomarse en cuenta para este proceso. Esto será de ayuda en caso de que nuevos operarios se incorporen a la empresa y puedan aprender de forma rápida y clara el proceso de producción.

5.5 Project Charter

Para organizar la metodología de trabajo se implementó un Project Charter el cual se observa en el Anexo 4. Además, el Project Charter es una herramienta, la cual ayuda a definir la descripción del problema, el alcance del proyecto, los objetivos y metas, el equipo de trabajo, sus funciones, las métricas cuantitativas a obtenerse, las líneas base de estas métricas sobre las cuales se trabajarán y el impacto que tendrá el proyecto para el cliente, lo operarios y la empresa (McKeever, 2006). El equipo de trabajo consta de los miembros del proyecto, Carlos e Ismael, lo cuales trabajarán en conjunto con los operarios de la fase de producción y la gerencia de la empresa. Por otro lado, como requerimientos específicos de las distintas problemáticas, se obtuvo: para el tiempo de ciclo del proceso de producción 3 días laborables, para el ángulo de destaje un corte con 46° de inclinación, y para el tiempo de extrusión por esquina 3.46 minutos.

6. Fase 2: Medir

6.1 Plan de Medición línea base del proceso actual

La medición del tiempo de ciclo del proceso de producción, se realizó a través de dos operadores. Además, que la medición del tiempo de ciclo promedio de cada actividad fue proporcionada por la empresa y las mediciones de holgura e identificación de tiempo de valor agregado y no valor agregado tomado por un operador mediante un cronómetro. Para esta actividad se aplicó un 5W1H, el cual ayuda a identificar el plan a seguir para la obtención de los datos.

Tabla 3: 5W1H

QUÉ	POR QUÉ	QUIÉN	CUÁNDO		CÓMO	CUÁNTO
			INICIO	FIN		
Tiempo de ciclo del proceso de producción	Para conocer el tiempo real que se demoran en producir una piscina	Operador A y B	día: 9/14/2020 horas: 09:00am - 12:00pm	día: 9/21/2020 horas: 09:00am - 12:00pm	Con un cronómetro y estableciendo el tiempo de ciclo de cada actividad, contabilizando el tiempo de valor agregado y no valor agregado	Para una piscina

6.2 Identificación del problema (VSM actual)

Una vez identificadas la problemática en la fase de definir se procedió a realizar una identificación macro del proceso de producción. Por medio de un mapa de flujo de Valor de estado actual se ha identificado las distintas actividades del proceso de producción completo tomando los tiempos de ciclo requeridos de las mismas, así como distintos componentes de este proceso como lo son: la demanda de 6 piscinas en promedio necesarias al mes, los proveedores de geomembrana, madera y accesorios, el flujo de información para este proceso de producción y la identificación de los procesos específicos necesarios para esta operación. Por otro lado, como se observa en el Anexo 5, a su vez en el mapa se indica la cantidad de inventario en cada etapa del proceso de producción, el tiempo de ciclo de cada una de estas etapas, y el número de operarios en cada una de ellas. De igual forma se logró identificar dos subprocesos de producción señalados con color verde para el trabajo en madera y con color

blanco el subproceso de impermeabilización. A primera vista el mapa de la cadena de valor señala dos procesos para tomar en cuenta. Estos procesos son el de armado de prueba y el de extrusión de geomembrana los cuales al tener tiempos de ciclo más altos se consideran los cuellos de botellas para el proceso de producción. Las medidas y análisis de los resultados cuantitativos para este mapa se presentarán y analizarán a detalle posteriormente.

6.3 Medidas de tiempo obtenidas: Línea Base

Para tener una línea base del proceso, se realizó el cálculo del Process cycle efficiency (PCE). El cual hace relación entre el tiempo de valor agregado y el tiempo de valor no agregado, que indica el porcentaje de eficiencia que tiene el proceso dentro de una línea de producción. Para realizar este cálculo, se utilizó los tiempos antes mencionados, que se obtuvieron en el VSM. Con lo cual, aplicando la ecuación 1 se obtiene un resultado de PCE del 85% de eficiencia, lo que indica que el proceso y el trabajo que realizan los operarios no tiene grandes mudas ni desperdicios de tiempo en la fase de producción. Además, Montgomery señala que tener un PCE mayor al 25%, es suficiente para concluir que la empresa es eficiente en relación al proceso analizado (Montgomery, 2013). Sin embargo, es importante destacar que este indicador señala que la problemática de tiempos de ciclo largos no se debe a mudas de tiempo, ya que el tiempo utilizado para este proceso está agregando valor para el cliente el 85% del tiempo. Con lo cual, se concluye que el problema se encuentra dentro de los procesos que están realizando los operadores para la fase de producción, inclusive en las actividades que agregan valor.

Ecuación 1 Formula Process cycle efficiency

$$\text{Process cycle efficiency} = \frac{\text{Value-add time}}{\text{Process cycle time}}$$

(Montgomery, 2013)

Ecuación 2 PCE

$$PCE = \frac{2163}{2558} * 100\% = 85\%$$

6.4 Takt Time

Una vez conocido que la eficiencia del proceso está bien, se realizó el cálculo del takt time, con el cual se conocerá el tiempo máximo que debe durar el proceso para que el tiempo de producción esté acorde a la demanda esperada. Analizando cada una de las actividades del proceso mediante el VSM se identificó que, para realizar una piscina el proceso de producción se divide en dos fases los cuales son: trabajo de madera y trabajo de impermeabilización. Por ende, es necesario establecer dos takt time para cada una de las fases. Para realizar el cálculo, se divide el tiempo disponible sobre la demanda (Erlach, 2013). Para el trabajo de madera, mediante el VSM se obtuvo un tiempo de ciclo de 29.47 horas para realizar una piscina, tomando en cuenta que la empresa presenta una demanda de 6 piscinas al mes. Se tiene un tiempo de ciclo de 176.82 horas para realizar netamente el trabajo de madera. Se tomo en cuenta que al mes se tiene 22 días laborables (InfoJobs, 2018), lo cual implica un total de 176 horas laborables disponibles. Teniendo esto en cuenta se realiza una transformación para las horas disponibles y se obtiene un total de 121.65 horas para realizar el trabajo de madera y un total de 53.35 horas para realizar el trabajo de impermeabilización. Con estos datos, se aplica la formula descrita anteriormente y para el takt time de trabajo de madera se transforma 121.65 horas a minutos, teniendo un total de 7299 minutos disponible y se divide para la demanda la cual es 366 tableros para realizar las 6 piscinas. Realizado esta relación se obtiene como resultado un takt time de 19.94 [min/tableros]. Para el caso del trabajo de impermeabilización, aplicando los mismos parámetros y criterios de medición se divide 3261 minutos disponibles de trabajo para la demanda de 6 piscinas mensuales y se tiene un takt time de 543.5

[min/piscinas]. En el Anexo 6, se encuentran las fórmulas y cálculos utilizados para una mejor comprensión.

Ecuación 3 Takt Time

$$Takt\ Time = \frac{Tiempo\ disponible}{Demanda} \quad (\text{Erlach, 2013})$$

Tabla 4 Takt Time

Takt Time trabajo de madera	19.94	[min/tableros]
Takt Time trabajo de impermeabilización	543.5	[min/piscinas]

6.5 Gráfica de balance

Al tener calculado el takt time, se realiza las gráficas de balance para cada fase de producción, las cuales ayudan a identificar si existen cuellos de botella dentro del proceso de producción (Frandsen, et al., 2013). En el Anexo7, se analiza el trabajo de tableros según el takt time calculado, con lo cual se observa que cinco actividades de las seis que hay tienen un tiempo de ciclo mayor que el takt time calculado para trabajar en función de la demanda. Esto quiere decir que dichos procesos exceden al límite de tiempo necesario de producción. Por otro lado, en el Anexo 8 se analiza el trabajo de impermeabilización donde se observa que dos actividades del proceso superan el takt time establecido. Inclusive, para el caso de la extrusión del liner el tiempo actual llega a cuatriplicarse con respecto al takt time.

Analizando las dos gráficas, se llegó a la decisión de enfocar el proyecto en el análisis de las dos actividades más críticas que presentan un cuello de botella, las elegidas fueron: destaje del ángulo del tablero y la extrusión del liner. Sin embargo, es importante considerar que el armado de prueba es sumamente dependiente de todo el trabajo en madera a realizarse ya que el resultado final de todas las actividades del trabajo en madera hace que el armado de prueba se pueda demorar más o menos en realizarse de acuerdo al buen encaje entre tableros.

6.6 Medición Problemáticas en los procesos críticos:

Con las actividades críticas listas por ser analizadas y con un PCE del 85% que indica que el problema de tiempo no radica en las mudas. Se realizó un plan de medición aplicando la teoría 5W2H (Klock, et al., 2016), para analizar los dos KPI's que afectan directamente los procesos críticos obtenidos en la gráfica de balance. Como se puede observar en el Anexo 9, el plan de medición se enfoca en atacar todas las áreas de los procesos críticos, con el fin de encontrar y conocer la razón por la cual el proceso de producción tiene un tiempo de ciclo tan alto en relación al takt time calculado.

6.7 Tamaño de muestra

Para el cálculo del tamaño de muestra se utilizó la ecuación 4 la cuál es utilizada para cálculo de tamaño de muestra para poblaciones finitas en función de la proporción de ocurrencias del evento deseado (Castellanos, 2009).

Ecuación 4 Tamaño de muestra

$$n = \frac{N * z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + z_{\alpha}^2 * p * q} \quad (\text{Castellanos, 2009})$$

6.7.1 Tamaño de muestra del destaje

Para el tamaño de muestra de ángulos de destaje a medir se consideran los siguientes valores para los parámetros de la ecuación 4:

- **N:** Total de la población 366
- **z_{α}^2 :** 1.96 que corresponde al 95% de confianza
- **p:** 0.5
- **q:** 0.5 (1-p)
- **d:** 5% o 0.05

Los valores de p y q se toman en 0,5 ya que no existen estudios previos ni la posibilidad de realizar una prueba piloto para evaluar la proporción de ángulos de destaje que cumplirían con 46° . Al tomar estos valores se maximiza la muestra y se obtiene como resultado 188 ángulos a medirse.

Tabla 5: Tamaño de muestra destaje

Tamaño Muestra Destaje	
N	366
Z	1.96
p	0.5
q	0.5
d	0.05
Tamaño de muestra	188

6.7.2 Tamaño de muestra de la extrusión

Para el tamaño de muestra del tiempo de extrusión por esquina se tomaron los siguientes valores para los parámetros de la ecuación 4:

- **N:** Total de la población 96
- **z_{α^2} :** 1.96 que corresponde al 95% de confianza
- **p:** 0.5
- **q:** 0.5 (1-p)
- **d:** 5% o 0.05

Los valores de p y q se toman en 0,5 ya que no existen estudios previos ni la posibilidad de realizar una prueba piloto para evaluar la proporción de esquinas que cumplen con un tiempo de extrusión de 3.42 minutos. Al tomar estos valores se maximiza la muestra y se obtiene como resultado 77 esquinas a medirse.

Tabla 6: Tamaño de muestra extrusión

Tamaño Muestra Extrusión	
N	96
Z	1.96
p	0.5
q	0.5
d	0.05
Tamaño de muestra	77

6.8 Evaluación sistema de Medición:

Se realizó una evaluación del sistema de medición para el ángulo de destaje mediante una prueba piloto. En esta prueba se utilizó 10 ángulos de destajes en tableros del inventario tomados mediante goniómetro. Para la prueba se consideró 2 repeticiones de medidas por operador y se evaluaron a 3 operadores. Con ello se obtuvo un resultado de porcentaje de Variabilidad debido a los operadores de 61.9%. Por lo cual, se eliminó uno de los operadores para realizar las mediciones en base a que se detectó un sesgo por parte del operador 3 a señalar repetitivamente un ángulo de 46° en sus mediciones. De este modo al realizar las mediciones con dos operadores únicamente se tiene un porcentaje de variabilidad debido al sistema de medición de 27.2%. Como se puede observar en el Anexo 10 las gráficas de la prueba de medición.

6.9 Flujo del Proceso

6.9.1 Flujo Proceso de destaje:

En el gráfico 4 se realizó el flujo del proceso del destaje, el cual es uno de los procesos que provoca mayor retraso en la línea de producción. Esto debido a las fallas y variabilidad que existen en sus medidas, con lo cual impide un armado fácil y sencillo para la piscina. Con lo cual, al momento de armar y encajar cada tabla se crea inconvenientes ya que no entran bien y se debe realizar esfuerzos mayores lo que provoca un retraso en esta etapa y se crea un cuello de botella.

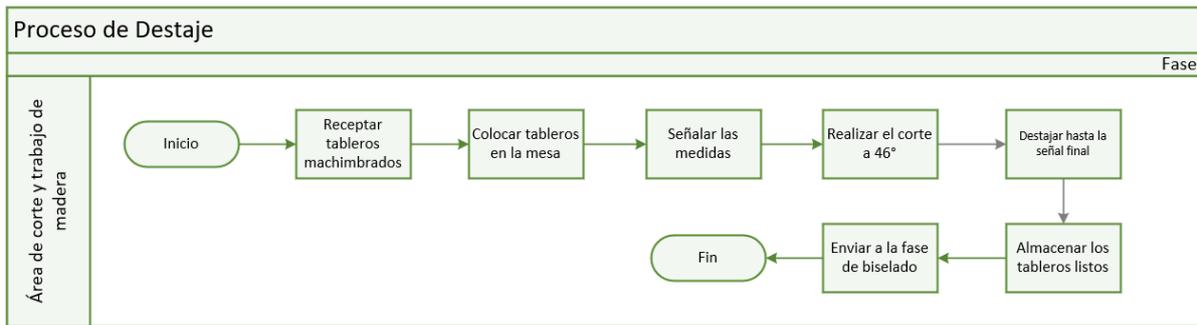


Gráfico 4: Flujo del proceso de destaje

6.9.2 Flujo Proceso de Extrusión:

Como se puede observar, en el gráfico 5, se encuentra el proceso de extrusión de forma detallada mediante un diagrama de flujo. Donde se observa que, mientras el liner no se encuentre ubicado de forma correcta y sin fallas, el operador no puede pasar a otra esquina para seguir con el proceso. Por lo cual, se crean varios reprocesos que no agregan valor y tan solo crean problemas, retrasos y un cuello de botella importante que afecta directamente al proceso de producción y a la posterior entrega del pedido.

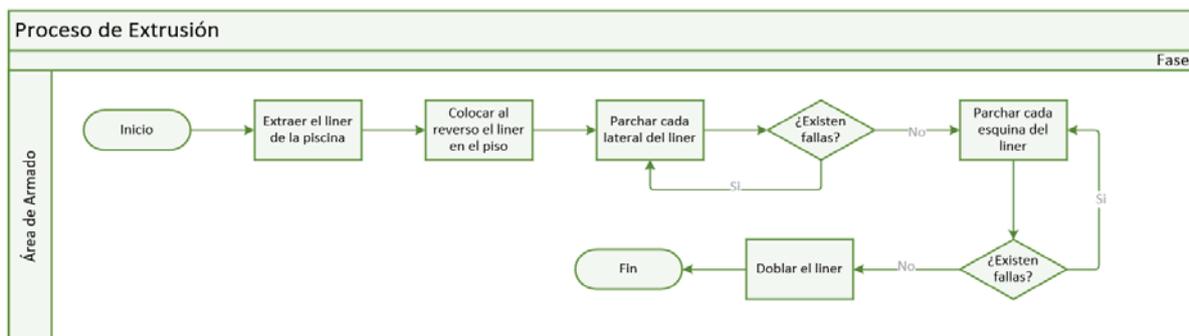


Gráfico 5: Flujo del proceso de extrusión

6.10 Descripción sistema de medición:

- **Destaje**

Como se mencionó anteriormente, el proceso de destaje cuenta de tres fases, en las cuales se realiza la medida para el ancho, profundidad y ángulo. El proceso da inicio cuando el operario señala en el tablero las medidas en los tres puntos y comienza con el corte. Se utiliza la maquina ingletadora, que realiza este proceso según las medidas específicas. Para tomar los datos, se

inició con el ancho y profundidad del destaje, se utilizó una regla de escuadra de 20 cm, con la cual se midió el ancho del destaje y luego la profundidad en cada lado del tablero. Al culminar con estas dos medidas, se midió el ángulo del destaje de cada lado, ubicando el graduador en la punta del corte y con ello se vio el ángulo que tenía cada corte, como se observa en el gráfico 6. Este proceso se realizó para todos los tableros, tomando en cuenta que se mide los tres datos en cada lado de un tablero, teniendo un total de 4 datos para cada medida en un tablero, esto hasta obtener los 121 datos requeridos por el tamaño de muestra.

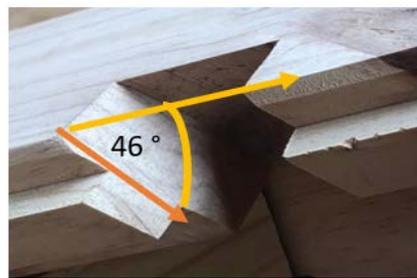


Gráfico 6: Toma de datos destaje

- **Extrusión**

El proceso de extrusión cuenta con dos fases, las cuales presentan alta variabilidad ya que no existe un proceso estándar para realizar. La primera fase consta de parchar cada lateral y esquina al reverso del liner para evitar las fugas de agua. La segundo, es verificar si existe o no alguna falla (hueco) dentro o cerca del parche antes colocado. En caso de encontrar falla alguna, se realiza un reproceso, el cual consta de colocar un nuevo parche por encima del anterior y eliminar algún tipo de falla. Por lo tanto, para la toma de datos, el cronometro inicia cuando el operador coloca el parche en la esquina y se detiene cuando el operador finalizó su trabajo en esa esquina, verificando que no existe ninguna falla. Tomando en cuenta, que no existe un proceso estándar, y que el operador realiza algunos reprocesos, los datos fluctúan entre un rango alto, con lo cual se concluye que este proceso necesita ser controlado y mejorado.



Gráfico 7: Toma de datos Extrusión del liner

6.11 Instrumentos de Medición:

- **Ángulo de Destaje:**

Para la toma del ángulo del destaje se utilizó una aplicación móvil que contiene un goniómetro digital. Esto debido a que son medidas exactas que se deben realizar con facilidad. Dicho goniómetro brinda la facilidad a los operadores de realizar las mediciones de forma sencilla y práctica desde su teléfono móvil.

- **Tiempo de Extrusión por esquina:**

El proceso de extrusión consta de 2 pasos los cuales son, parchar cada lateral y esquina del liner y verificar que no existan fallas en ello. Por lo cual, para la toma de datos de este proceso, se utilizó un cronómetro digital en un aplicativo móvil el cual inicia en el momento que el operario comienza con la colocación del parche y culmina cuando el operario finaliza cada esquina o lateral. Con lo cual, es una toma de datos sencilla, sin embargo, requiere de un largo tiempo debido a las fallas y reprocesos que existen dentro de la fase de extrusión.

6.12 Resultados Obtenidos:

- **Ángulo de Destaje**

De los 188 datos recolectados para el proceso de la extrusión, se realizó un análisis de estadística descriptiva, donde se observa en el Anexo 11, la variabilidad que existe en los datos. Entre los estadísticos más importantes, se observa que los datos tienen un rango de variabilidad de 9 grados entre el mínimo que es 40° y el máximo que es 49°. Además, presenta una

desviación estándar de 2.20, la cual está fuera del límite requerido y finalmente, se observa una media de 44.29° del ángulo de corte, con lo cual no cumple con las especificaciones requeridas que es un corte de 46° . Por ello, mediante una prueba de Normalidad Anderson-Darling se identificó que los datos para el ángulo de destaje no siguen una distribución normal. Por esta razón se implementó un análisis Box-Cox para identificar una función de transformación de los datos (Osborne, 2010) el cuál, con un intervalo de confianza de $[-2.27, 3.72]$ tampoco señala una función factible para transformación de los datos como se observa en el Anexo 13. Sin embargo, sin el supuesto de normalidad en los datos se optó por la realización de una prueba no paramétrica para la comprobación del cumplimiento de 46° de especificación. Ésta prueba se verá en la fase de analizar.

- **Tiempo de extrusión por esquina:**

Según el tamaño de muestra se tomaron 77 datos obtenidos de 6 piscinas. Analizando los datos en el Anexo 12, se observa un rango de 11.37 min que es la diferencia entre el mínimo y el máximo. El proceso explicado anteriormente, consta de una fase de reproceso en el caso que lo amerite, por lo cual se entiende la razón de los tiempos tan dispersos entre ellos. Se observa una Media de 4.24 min que no cumple con la especificación de 3.42 min y una desviación estándar de 2.14 min.

Por medio de una prueba de Normalidad Anderson-Darling se identificó que los datos para el tiempo de extrusión por esquina no siguen una distribución normal. Por esta razón se implementó un análisis Box-Cox para identificar una función de transformación de los datos (Osborne, 2010) el cuál con un intervalo de confianza de $[-0.65, 0.32]$ tampoco señala una función factible para transformación de los datos (Anexo 13). Sin el supuesto de normalidad en los datos se optó por la realización de una prueba no paramétrica para la comprobación si es que el tiempo de extrusión por esquina demora más de los 3.46 minutos requeridos.

7. Analizar

7.1 Prueba de Hipótesis: Evaluación No paramétrica

Para la fase de analizar se planteó una comparación entre las mediciones realizadas para el ángulo de destaje y el tiempo de extrusión por esquina con sus requerimientos específicos. El requerimiento para el ángulo de destaje es de 46° mientras que el requerimiento para el tiempo de extrusión por esquina es de 3.42 minutos. Para analizar el cumplimiento de estos requerimientos se utilizó una prueba de hipótesis para una muestra. La prueba estadística utilizada para los dos indicadores fue una prueba no paramétrica de signo simple. Esta prueba se utilizó para datos que no cumplen con una distribución normal (Anderson Darling) y no muestran simetría (Prueba de Simetría) en su distribución. El análisis de normalidad y simetría de los datos se encuentra en los Anexos 11, 12 y 14 respectivamente.

- **Ángulo**

Para el ángulo de destaje se quiere determinar si es que la mediana del ángulo de destaje en una muestra de 188 ángulos tomadas aleatoriamente de 44 tableros cumple con el requerimiento de 46° . Como se observa en el Anexo 15, la hipótesis nula establece que la mediana del ángulo de destaje es igual a 46° mientras que la hipótesis alternativa señala que la mediana del ángulo de destaje no es igual a 46° . Debido al valor p de 0 que se obtuvo de la prueba realizada, se rechaza la hipótesis nula y se establece con un 95 % de confianza que la mediana del ángulo de la muestra representativa del trabajo de ángulo destaje no es igual a 46° .

- **Extrusión**

Para el tiempo de extrusión por esquina se quiere determinar principalmente si es que la mediana de los tiempos establecidos de una muestra de 78 esquinas tomadas de 6 piscinas aleatoriamente cumple con el requerimiento de 3.46 minutos por esquina o si es que este proceso demora más de lo requerido. Como se observa en el Anexo 16, la hipótesis nula

establece que el tiempo de extrusión por esquina debe ser igual a 3.42 minutos. Mientras que la hipótesis alternativa señala que la mediana de la muestra es mayor a 3.42 minutos. Con un valor P de 0,819 no se puede rechazar la hipótesis nula por cuanto no se puede concluir que el tiempo de extrusión por esquina sea mayor a 3.42 minutos.

7.2 Diagrama Ishikawa

- **Ángulo**

Para conocer cuáles son las principales causas que desatan el problema del ángulo del destaje, se realizó un Diagrama Ishikawa el cual es utilizado para relacionar todos los efectos con las causas que los producen (Ruiz-Falcó, 2009). Para esta herramienta, se realizó una lluvia de ideas, en la cual se analizaron todos los problemas que presenta la empresa y que puedan relacionarse con el incumplimiento del ángulo. Con las ideas propuestas, se reordenó todas las causas de forma jerárquica, se eliminaron las que estaban repetidas o parecidas y se ordenaron por grupos donde tengan más relación. Con ello, se obtuvo el diagrama que se observa en el Anexo 17, con el cual analizando todas las causas que conlleva a obtener un ángulo incorrecto, se concluyó que la causas raíz de este problema es que la empresa utiliza la herramienta incorrecta. Esto debido a que, mediante conversaciones con carpinteros de la localidad, explicaron que para un ángulo más seguro y fijo la herramienta que siempre se utiliza es una caladora. Por lo cual, en la siguiente etapa se analizará a profundidad lo antes mencionado.

- **Extrusión**

Por otro lado, para analizar las causas de variabilidad en el tiempo de extrusión por esquina, de igual manera se realizó un diagrama Ishikawa, en el cual se utilizó la misma metodología antes explicada. Por lo tanto, en el Anexo 18 se observa el diagrama el cual, analizando a profundidad todas las causas, se concluye que el problema principal o la causa raíz que tiene la empresa dentro de este proceso es que no tiene una estandarización para la realización del

mismo. Esto se concluye de forma clara debido a que, en la toma de tiempos los operarios realizaron varios reprocesos para cada esquina de extrusión, ya que no tienen un plan seguro a seguir para poder obtener un tiempo fijo en el cual se deben demorar por esquina. Además, que no se toman en cuenta todos los riesgos que deben prevenir para no tener fallas y con ello eliminar el reproceso.

8. Implementar

8.1 Implementaciones para las causas raíces.

- **Ángulo**

Como se mencionó en la fase de analizar con el Diagrama Ishikawa, la causa raíz que presenta el ángulo del destaje, es que utiliza la herramienta equivocada para realizar este proceso. La herramienta precisa para un corte de tipo calado en madera con un ángulo específico es la máquina caladora con adaptación de ángulo intercambiable (Soto, 2017). Por lo tanto, se realizó un análisis para la implementación de esta máquina. Según lo investigado esta máquina tiene un precio de \$105.04 y se la puede comprar en Pintulac de la agencia Tumbaco. Por otro lado, para obtener el ángulo ideal de 46 grados, es recomendable utilizar un Poka-Yoke. Este Poka-Yoke es una adaptación sencilla que fijará el ángulo de corte para la sierra caladora. El Poka-Yoke tiene un costo de \$40, según el carpintero de confianza. Con lo cual, el costo total de la implementación de la nueva herramienta es de \$145.04, el cual debe ser analizado por la gerencia de Fitness Pool para realizar la compra e implementar la máquina para mejorar el proceso. En el Anexo 19 se observa la herramienta y el Poka-Yoke necesario para esta actividad.

- **Extrusión**

Cómo base del principio de mejora continua Kaizen está la estandarización del trabajo (Suárez & Dávila, 2011). Considerando el estadístico de prueba rango para la problemática del

tiempo de extrusión por esquina, se observa que existe una gran distancia y variabilidad entre estos tiempos. Para atacar esta variabilidad y reducir el rango de diferencia de los tiempos entre el mínimo y el máximo se realizó una hoja de operaciones estándar para el proceso de extrusión. En esta hoja de operaciones estándar se identificaron seis operaciones específicas que señalan QUÉ operaciones hay que realizar en el proceso de extrusión. Las seis operaciones cuentan con una descripción de CÓMO hay que realizarlas y se cuenta con un apoyo visual mediante imágenes para facilitar el entendimiento y el cumplimiento de cada operación. En el extremo derecho de esta herramienta de estandarización se señala el POR QUÉ y PARA QUÉ se realiza cada operación de la manera específica señalada (Suárez & Dávila, 2011). A su vez las 6 operaciones cuentan con alertas y consideraciones a tomarse en cuenta las cuales señalan las actividades que implican un riesgo para la calidad del producto, para la seguridad del operador, si la actividad es fundamental y esencial para el producto final o si existe algún riesgo de contaminación. En el Anexo 20 se puede observar para un mejor entendimiento la hoja de operaciones estándar.

8.2 Mejora Layout

Como se observa en el Anexo 21, el layout de la empresa presenta varios problemas, esto debido a que no tienen áreas fijas para cada departamento y presenta desorden en estas áreas de trabajo. Para mejorar la situación actual de la empresa se realizó un análisis utilizando el algoritmo de Craft con el fin de determinar cuál es el layout ideal para la empresa (Leyva, et al., 2013). Dentro de la empresa se tiene seis áreas, las cuales son: área de almacenaje materia prima, de trabajo de madera, almacenaje madera cortada, almacenaje de materiales pequeños, armado de prueba y trabajo de impermeabilización. Teniendo en cuenta las seis áreas mencionadas y aplicando la teoría del algoritmo de Craft, se calculó el costo del layout original teniendo en cuenta el flujo de materiales que se mueven entre áreas, dando un costo total de 2042, como se observa en el gráfico 8. Con ello, se realizaron las posibles combinaciones

descartando el área 2 que es fija, ya que es un contenedor. Y se obtuvo las siguientes combinaciones: (1-3, 5-2, 5-6, 6-2, 6-3). Con lo cual, al calcular el costo de cada una de ellas, se obtuvo como el layout ideal a la combinación 6-2, ya que tiene un costo total de 1191, como se observa en el gráfico 9. Cabe recalcar que el costo señalado es una operación de suma producto entre la distancia disponible y el flujo de materiales por lo cual este costo mencionado hace referencia al movimiento de materiales en función de su cantidad y su distancia por departamento, mas no su valor monetario.

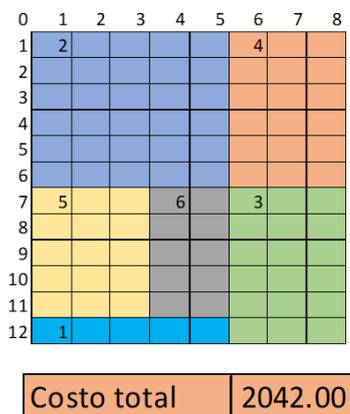


Gráfico 8: Layout actual Fitness Pool

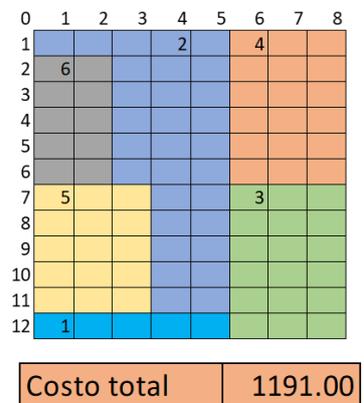


Gráfico 9: Layout idea Fitness Pool

8.2.1 Simulación del Layout de la empresa

Con los resultados obtenidos mediante el algoritmo de Craft, para conocer el layout ideal que necesita la empresa, se realizó una simulación en FlexSim. Esto con el fin de analizar las trayectorias de los operadores, la distancia recorrida entre cada uno de ellos y así tener una comparación entre el layout original y el obtenido mediante el algoritmo de Craft. En el Anexo 22, se observa el diseño del layout actual que tiene la empresa que va acorde al gráfico 8. Se realizo un análisis de las distancias recorridas de cada operador y como se observa en el dashboard del gráfico 10, el operador Alfonso quien transporta la materia prima a las mesas de trabajo, recorre una distancia de 208.14 metros en todo el proceso de producción. Sin embargo, al realizar el layout ideal que se observa en el gráfico 9 en FlexSim, se obtuvo una mejor

distribución de las mesas de trabajo como se observa en el Anexo 23. Al realizar el dashboard respectivo para esta distribución de layout y obtener los resultados de las distancias recorridas, se conoció que Alfonso redujo su distancia de 208.14 metros a 141.99 metros como se observa en el gráfico 11. Con lo cual, se concluye que la aplicación del layout ideal obtenido del método Craft, es la mejor opción en caso que la empresa quiera reducir al máximo el tiempo de producción y a su vez, disminuye el movimiento de los operadores reduciendo la carga de trabajo y el cansancio producido por el peso de la madera.

Travel Layout Actual	
Object	Distance
Pedro	57.58
Alfonso	208.14
Willy	16.54

Gráfico 10: Dashboard distancias del layout actual

Travel Layout Ideal	
Object	Distance
Willy	27.24
Alfonso	141.99
Pedro	72.51

Gráfico 11: Dashboard distancias del layout ideal

8.3 Mejoras esperadas

Con los problemas de causa raíz encontrados dentro de la fase analizar, se realizó las mejores propuestas para disminuir los problemas o incluso erradicarlos. Con lo cual, en el caso del destaje del ángulo, la propuesta realizar el cambio de la herramienta actual, ya que actualmente utilizan una ingletadora y la mejor herramienta para un destaje de ángulo es la caladora. Con lo cual, en caso que el gerente esté dispuesto a implementar esta mejora, se espera que el corte del ángulo sea fijo y efectivo, es decir se reduciría la variabilidad y se tendría un ángulo perfecto de 46° . Por otro lado, con respecto a la propuesta de mejora para la extrusión del liner, se espera que el tiempo que se demoran los operadores en este proceso reduzca, ya que van a seguir paso a paso las instrucciones y se tomará en cuenta las prevenciones para evitar reprocesos, errores de calidad o rupturas lo cual es lo crea un tiempo de ciclo alto con

respecto al takt time. Finalmente, para la última propuesta de mejora en el cambio del layout de la empresa, como se observa en los gráficos 8 y 9 el costo total del cambio de layout se reduce de 2042 a 1191. Con lo cual, la empresa disminuye el costo de flujo de materiales entre cada área, además, que se reduce la distancia del operador principal que va de 208.14m a 141.99m como se observó en los gráficos 10 y 11.

9. Limitaciones

La limitación principal dentro del proyecto integral, fue la no autorización de ir la empresa, esto debido a la nueva realidad que está viviendo el mundo entero, a causa del Covid-19. Por lo cual, se tuvo algunos inconvenientes para la realización del proyecto. Principalmente en la fase medir, ya que se realizaron charlas con los operarios para explicar los métodos y forma para la toma de tiempos. Con lo cual, se logró recolectar todos los datos necesarios, sin embargo, hay que considerar que tal vez hubo algún mínimo error por parte del operario al momento de medir o tomar el tiempo de los procesos necesarios. Por otro lado, para la fase de implementar también existieron problemas, debido a que los operarios viajaron a Cuenca para instalar tres piscinas, con lo cual se limitó el tiempo de reuniones finales para ideas de mejoras en la planta de producción.

10. Conclusiones

La principal conclusión de este proyecto corresponde a la pregunta investigación planteada. La empresa no es capaz de cumplir con el tiempo estipulado de entrega de las piscinas en 5 días ya que se ha determinado que solamente en el proceso de producción se demoran 5 días laborables. Gracias a la identificación de las problemáticas en las fases de medir se pudo concluir que con un Process Cycle Efficiency de 85% no existe una gran cantidad de desperdicios de tiempo y que la problemática de que el proceso de producción sea tan largo está dentro del proceso que agrega valor en sí. De este modo vemos también en los Anexos 7

y 8 que las actividades que más demoran son el proceso de extrusión y el armado de prueba para el trabajo de impermeabilización, así como el destaje para el trabajo en madera. Estas actividades mencionadas son un cuello de botella tanto para el proceso de impermeabilización como para el proceso de trabajo en madera lo cual hace que el proceso de producción sea incapaz de satisfacer las 6 piscinas esperadas en un plazo de 1 mes.

Gracias a la identificación de estas actividades críticas que causan demoras en el proceso de producción se pudo concluir que existen dos problemáticas principales dentro de estos procesos. La primera de ellas es el incumplimiento con el ángulo de destaje, el cual se analizó mediante una prueba no paramétrica de signo simple en la fase de Analizar (anexo 15). El incumplimiento de los 46° de especificación ocasiona que el armado de prueba en el proceso de producción demore tanto ya que no existe un ajuste fácil y rápido entre tableros al momento de realizar el armado de la piscina. A su vez, durante el proceso de extrusión se identificó que el punto crítico de este proceso es al momento de extruir las esquinas de la geomembrana a utilizarse para la impermeabilización de la piscina. Con un rango de 11.37 minutos vemos que existen incumplimientos largos para este proceso en relación al tiempo de 3.42 minutos que se deben demorar por cada una de las esquinas. En este proceso específicamente existen tiempos que se demoran más, otros que se acercan a la especificación y otros que superan la especificación.

En la fase de analizar se pudo concluir que actualmente la causa raíz del problema es la utilización de la herramienta inadecuada para este corte con ángulo específico de 46° . La causa raíz de la problemática de la variabilidad en los tiempos de extrusión se asocia a la falta de estandarización en este proceso. Con la identificación de estas causas raíces se espera que exista una reducción en el tiempo de ciclo para el proceso de producción al implementar las siguientes mejoras sugeridas: herramienta caladora con poka-yoke para un ángulo fijo y la hoja de operaciones estandarizadas para el proceso de extrusión. A su vez como complemento

adicional se ha señalado un arreglo del layout de la empresa que no incurre en ningún gasto como una sugerencia de mejora para el flujo de materiales y el movimiento del personal dentro de la planta. Estas implementaciones van alineadas al objetivo general planteado al inicio de este trabajo de investigación ya que, si bien no se ha evaluado la efectividad de su implementación, se espera que mejoren el proceso de producción al reducir desperdicios de tiempos en los trabajos de impermeabilización y armado de las piscinas.

11. Recomendaciones

Con el análisis realizado en la gráfica de balance, se observa que varias actividades se encuentran con un cuello de botella, ya que superan al takt time. Con lo cual, se recomienda realizar un análisis dentro de cada actividad para detectar los problemas que afecta a que el tiempo de proceso sea mayor al takt time y con ello, reducir el tiempo de producción al máximo atacando las causas raíz del problema. Por otro lado, teniendo en cuenta la limitación de no poder ir a la empresa, es recomendable realizar la toma de datos por cuenta propia, esto debido a que siempre hay que considerar un margen de error que se obtuvo por parte de los operarios en la toma de datos. Además, con el pasar de los días se notó que el proyecto puede llegar hacer muy grande, esto debido a que, con las implementaciones propuestas para el ángulo, es ideal realizar un DOE, para analizar los resultados de las dos máquinas y con ello comprobar cuál es la mejor opción para tener un ángulo de 46° . Por otro lado, para la implementación propuesta para el tiempo de extrusión, en caso que la empresa la implemente, es ideal realizar un nuevo análisis y toma de tiempos, para conocer si la implementación fue exitosa o no para el proceso de extrusión, en caso de si serlo los tiempos deberían reducirse y la variabilidad debería disminuir a lo más mínimo. Con lo cual, es necesario realizar la fase de controlar de la metodología DMAIC, para constatar y verificar que todo salió dentro de lo planeado y al final se logró reducir el tiempo de producción de las piscinas, según la meta acordada.

REFERENCIAS

- Ambit. (28 de 1 de 2019). Obtenido de <https://www.ambit-bst.com/blog/herramientas-lean-manufacturing-mas-importantes>
- Annamalai, S., Vinoth, H., Bagathsingh, N. (2020). Analysis of lean manufacturing layout in a textile industry. *Materials Today. SN*.
- Arumugam, V., Antony, J., Linderman, K. (2014). The influence of challenging goals and structured methods on Six Sigma project performance: A mediated modern analysis. *European Journal of Operational Research* 254(2016) 202-213
- Arunagiri, P., Arunagiri, P. (2014). Identification of major lean production waste in automobile industries using weighted average method. *Procedia Engineering* (2014), 2167-2175
- Barot R.s et al., (2019). Lean six sigma feasibility and implementation aspect in cast iron foundry. *Materials Today: Proceedings* 28 (2020) 1084-1091
- Cascos, I., Lopez, M. (2018). Control charts based on parameter depths. *Applied Mathematical Modelling* 53 (2018) 487-509
- Castellanos, M. H. (2009, febrero). *investigacionpediahr.files.wordpress.com*. Obtenido de FORMULA PARA CÁLCULO DE LA MUESTRA POBLACIONES FINITAS: <https://investigacionpediahr.files.wordpress.com/2011/01/formula-para-cc3a1lculo-de-la-muestra-poblaciones-finitas-var-categorica.pdf>
- Coreño, J., Mendez, M. (2010). Relación estructura-propiedades de polímeros. *Educ. quím.*, 21(4), 291-299, 2010. © Universidad Nacional Autónoma de México, ISSN 0187-893-X
- De Mast, J., Lokkerbol, J. (2012). An analysis of the Six Sigma DMAIC method from the perspective of problem solving. *Int. J. Production Economics* 139 (2012) 604–614
- *El Comercio*. (12 de junio de 2020). Obtenido de <https://www.elcomercio.com/actualidad/perdidas-covid19-ecuador-economia-negocios.html>
- *El Comercio*. (24 de marzo de 2020). Obtenido de <https://www.elcomercio.com/actualidad/coronavirus-cuarentena-ecuador-teletrabajo-salvoconductos.html>

- Ferreira, C., Sá, J., Ferreira, L., López, M., Pereira, T., Ferreira, L., & Silva, F. (2019). iLeanDMAIC – A methodology for implementing the lean tools. *Procedia Manufacturing*. 41(2019). 1095-1102
- Fitness Pool. (2020). Producto Fitness Pool [Diapositiva de PowerPoint]
- Frandson, A., Berghede, K. y Tommelein, ID (2013, agosto). Planificación del tiempo Takt para la construcción de revestimientos exteriores. En *Proc. 21st Ann. Conf. del Grupo Internacional de Lean Construction* .
- García, J., García, J. (2018). The instructional effectiveness of two virtual approaches: Processes and product. *Journal of Psychodidactics*. (2018) 117-127
- Garza-Reyes, J., Kumar, V., Kurt,A.(2018). Exploring lean manufacturing practices´ influence on process innovation performance. *Journal of Business Reaserch*. 106. (2020) 233-249
- Gens, M., Palacios, L., Hernández, N., Gallego, F. (2009). ¿Cómo cumplimos los estándares de calidad de la atención urgente? *Aten Primaria*. 2009;41(1):45–47
- Hua, Y., Bao, L., Wu,X. (2020). The product-selling strategy under direct and indirect value identification.*Journal of Leaner Production* (279), 123591
- IBM. (s.f.). Obtenido de https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/SS7TH3_1.0.0/com.ibm.pmo.doc/manage_stand_ops_procs.html
- Ikumapayi, O.M.,et al. (2006). Six Sigma versus lean manufacturin-An overview. *Materials Today: proceedings*.26(2020),3275-3281
- Inrawati, S., Ridwansyah,M.(2015). Manufacturing continuos Improvement Usin Lean Six Sigma: An Iron Ores Industry Casa Application. *Procedia Manufacturin* (2015).528-534
- Jayanth, B et al,. (2019). Implementation of lean manufacturing in electronics industry. *Materials Today* SN
- Jimenez, Genett. Et al. (2019). Improvement of Productivity and Quality in the Value Chain through Lean Manufacturing-a case study. *Procedia Manufacturing*. 41(2019). 882-889
- Jimenez, M., Romero, L., Domínguez, M., Espinosa, M. (2015). 5S methodology implementation in the laboratories of an industrial engineering university school. *Safety Science* 78 (2015) 163 – 172

- Klock, A. C. T., Gasparini, I., & Pimenta, M. S. (2016, October). 5W2H Framework: a guide to design, develop and evaluate the user-centered gamification. In *Proceedings of the 15th Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-10).
- Krogstie, L., Martinsen, K. (2013). Beyond Lean and Six Sigma; Cross-Collaborative Improvement of Tolerances and Process Variations-A Case Study. *Procedia CIRP 7 (2013)610-615*
- *Lean Manufacturing*. (20 de 10 de 2017). Obtenido de <https://www.leanmanufacturinghoy.com/lean-manufacturing-los-8-grandes-despilfarros-mudas-de-tu-empresa/>
- Leaphart, C., Gonwa, T., Mai, M., Prendergast, M., Wadei, H., Tepas III, J., Burcin, C. (2012). Formal quality improvement curriculum and DMAIC method results in interdisciplinary collaboration and process improvement in renal transplant patients. *Journal of surgical research 177 (2012) 7-13*
- Leyva, M., Mauricio, D., & Bacalla, J. S. (2013). Una taxonomía del problema de distribución de planta por procesos y sus métodos de solución. *Industrial Data, 16(2)*, 132-143.
- McKeever, C. (2006). The Project Charter–Blueprint for Success. *CrossTalk: The Journal of Defense Software Engineering, 19*.
- Message Costa, L., Godinho, M., Fredendall, L., & Devós, G. (2019). Lean six sigma in the food industry: Construct development and measurement validation. *Int. J. Production Economics 231 (2021) 107843*
- Montgomery, D. (2013). Quality Improvement in the Modern Business Environment. Montgomery, D. (Ed.), *Introduction to Statistical Quality Control* (pp. 03-46). Denver: John Wiley & Sons
- Nandakumar, N., Saleeshya, D., & Harikumar, P. (2020). Bottleneck Identification And Process Improvement By Lean Six Sigma DMAIC Methodology. *Materials Today: Proceedings 24 (2020) 1217–1224*
- *NATIONAL GEOGRAPHIC EN ESPAÑOL*. (2020). Obtenido de <https://www.ngenespanol.com/el-mundo/ecuador-confirma-su-primer-caso-de-coronavirus/>
- Neves, P., Silva, F., Ferreira, L., Pereira, T., Gouveia, A., Pimontel, C. (2018). Implementing Lean Tools in the Manufacturing Process of Trimmings Products. *Procedia Manufacturing 17 (2018) 696–704*

- Osborne, J. (2010). Mejorando sus transformaciones de datos: aplicando la transformación Box-Cox. *Evaluación práctica, investigación y evaluación*, 15 (1), 12.
- Pyzdek, T., Keller, P. (2010). *The Six Sigma Handbook*. New York: McGraw-Hill
- Ron Amores, R. E., & Sacoto Castillo, V. A. (30 de 6 de 2017). *Las PYMES ecuatorianas: su impacto en el empleo como contribución del PIB PYMES al PIB total*. *Espacios*, 11. Obtenido de <https://www.revistaespacios.com/a17v38n53/a17v38n53p15.pdf>
- Rojas, A. R.-F. (Marzo de 2009). *Universidad Pontifica Comillas*. Obtenido de http://fcaenlinea.unam.mx/anexos/1216/LI_1216_anexo2_HerramientasCalidad.pdf
- Singh Kaswan, M., Rathi, R. (2020). Green Lean Six Sigma for sustainable development: Integration and framework. *Environmental Impact Assessment Review* 83 (2020) 106396
- Smętkowska, M., Mrugalska, B. (2018). Using Six Sigma DMAIC to improve the quality of the production process: a case study. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 238 (2018) 590 – 596
- Soto, R. (2017). Operaciones básicas en el área de procesos productivos en madera. *Universidad Nacional de Educación*. Obtenido de: <http://200.60.81.165/bitstream/handle/UNE/4152/Operaciones%20b%20c%20a%20sicas%20en%20el%20c%20a%20rea%20de%20procesos%20productivos%20en%20madera.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Srinivasan, K., Muthy, S., Prasad, N.K., Satheesh, G. (2014). Reduction of paint line defects in shock absorber through Six Sigma DMAIC phases. *Procedia Engineering*. 97(2014). 1755-1764
- Stevenson, W. (2015). Management Of Quality. Stevenson, W. (Ed). *Operations Management* (pp. 366-402). New York: McGraw-Hill
- Suárez-Barraza, M. F., & Miguel-Dávila, J. Á. (2011). Implementación del Kaizen en México: un estudio exploratorio de una aproximación gerencial japonesa en el contexto latinoamericano. *INNOVAR. Revista de Ciencias Administrativas y Sociales*, 21(41), 19-37.
- Ulaah, M., Khan, M., Nawaz, R., Akhtar, R. (2016). Process Improvement for PET Bottles Manufacturin Company Using Six Sigma Approach. *Technical Journal, University of engeneering and technology (UET) Taxila, Pakistan*. (Vol 21). No.11

- Umedaa, Y., Ota, J., Shirafuji, S., Kojima, F., Saito, M., Matsuzawa, H., Sukekawa, T. (2020). Exercise of digital kaizen activities based on ‘digital triplet’ concept. *Procedia Manufacturing* 45 (2020) 325–330
- Vilela, E. (2018). *Implementación de la Metodología DMAIC para mejorar la productividad de productos de Embalaje en la Empresa Sivein A. C.* Lima. Lima Perú. *Revista de Ingeniería Industrial* Junio (2019), 14-20
- Wrzochala, M., Adamczak, S. (2019). Application of a Gage R&R study in evaluation of rolling bearing measurement system accuracy. *Transportation Research Procedia* 40 (2019) 934–939

Anexos

Anexo 1: Tipos de Piscinas

Adquirir una Piscina Fitness Pool es una inversión inteligente para usted y para toda su familia.

Nuestras Piscinas Fitness Pool:

PISCINA HEXAGONAL

Medidas interiores: 3,55 por 3,10
Medidas exteriores: 4,2 por 4,00

Material de estructura: madera de pino radiata chileno



Anexo 1: Tipos de Piscinas

PISCINA OCTOGONAL

Medidas interiores: 3,60 por 2,40 por 1,30 de altura
Medidas exteriores: 5 por 2,80

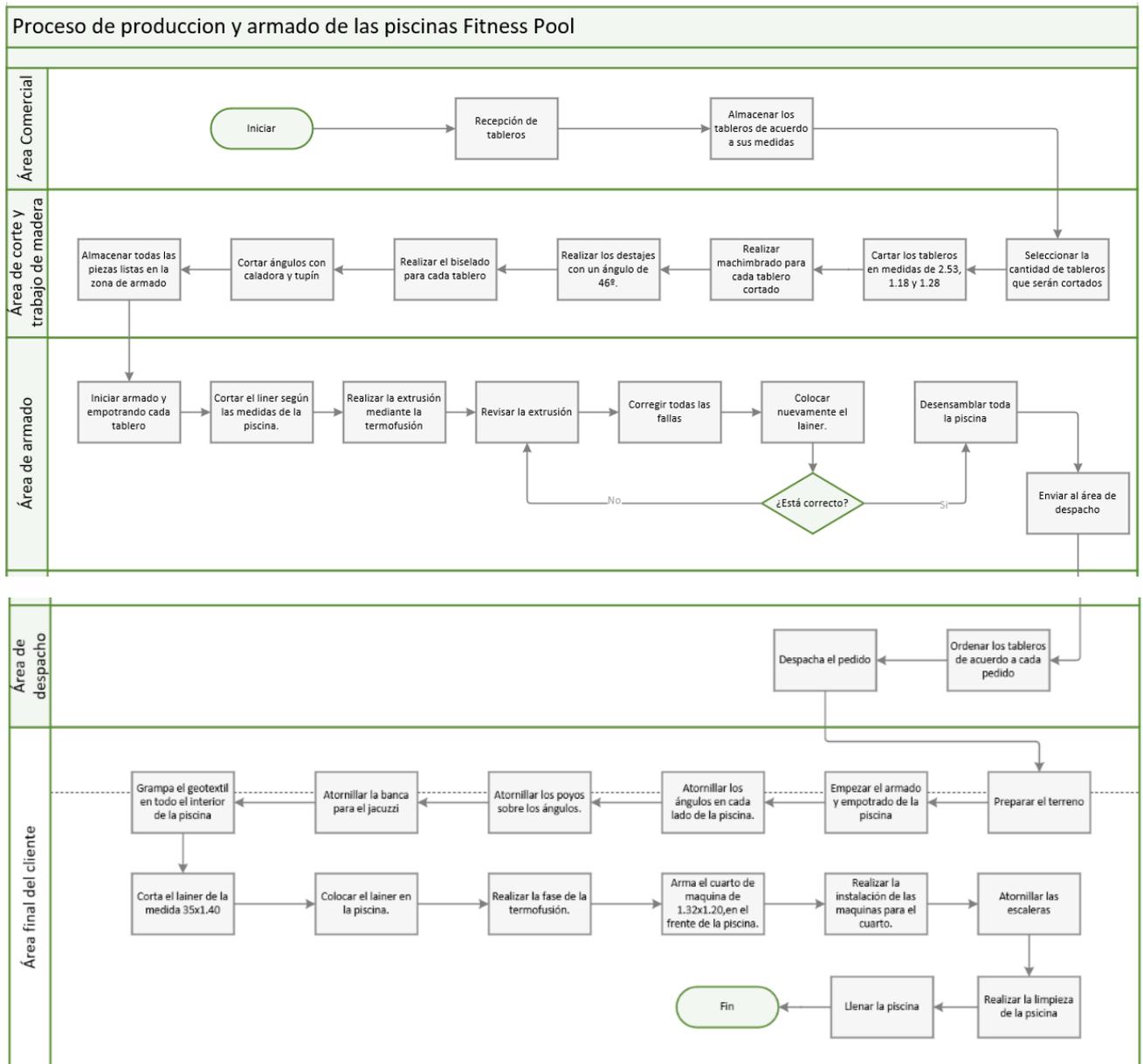
Todas las piscinas incluyen:

- Bomba de 1 HP de recirculación 3 años de garantía.
- Filtro de 18 3 años de garantía.
- Arena sílica de filtración.
- Caja de control con selector de 3 tiempos.
- Timer de programación de filtración.
- Escalera externa removible (seguridad de menores).
- Escalera fitness interior.
- Caja de máquinas.
- Madera preservada y tratada para la intemperie.
- Cobertor térmico.
- Termómetro.
- Kit de testeo de calidad de PH y nivel de cloro.
- Aspiradora manual acuática.
- Cepillo y recogehojas.
- Mango telescópico.
- Skimmer desnatador.
- Luz LED Multicolor.
- Cinturón para nado sin fin.
- Bandas elásticas multiuso para nado sin fin y fitness acuático.
- Remos de nado sin fin.
- Pesas tobilleras.
- Instalación completa en 110v o 220v.
- 6 metros de manguera de desagüe.
- Accesorios de instalación.



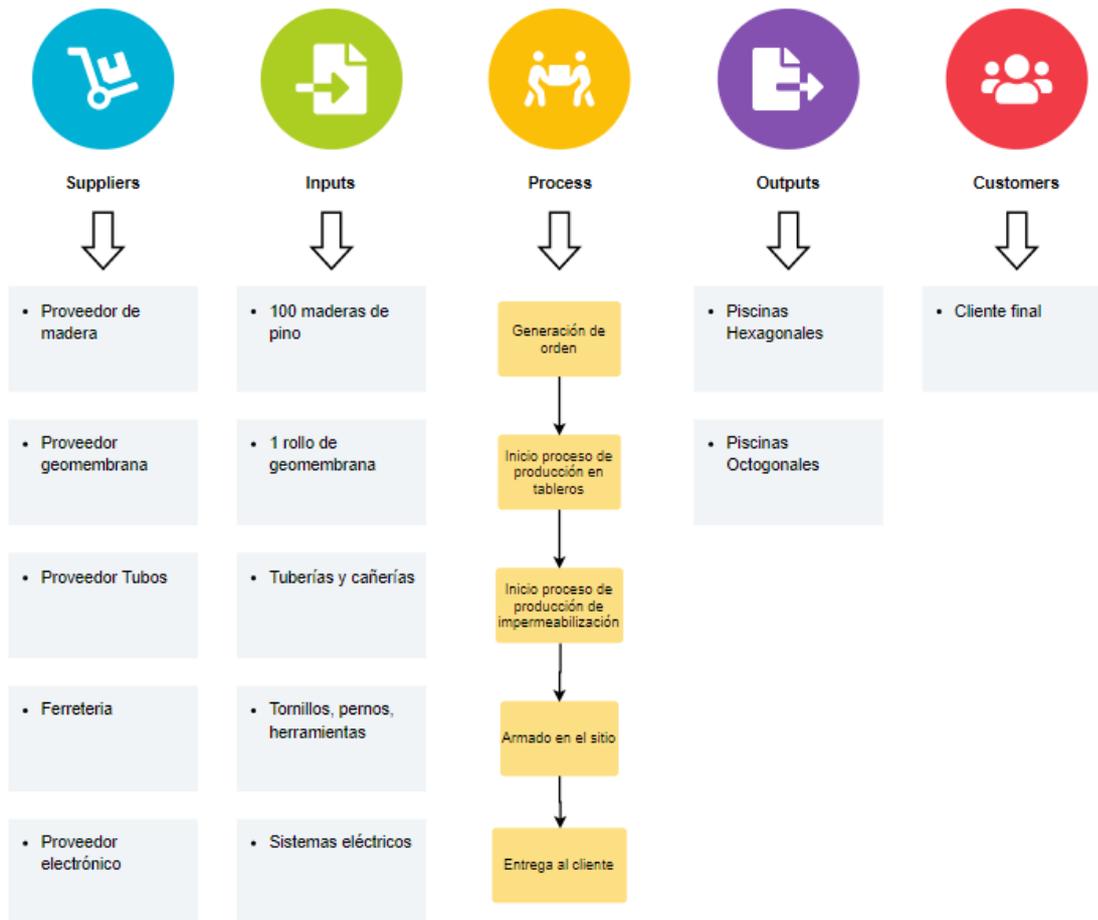


Anexo 2: Flujo del proceso de producción



Anexo 2: Flujo del proceso de producción

Anexo 3: SIPOC

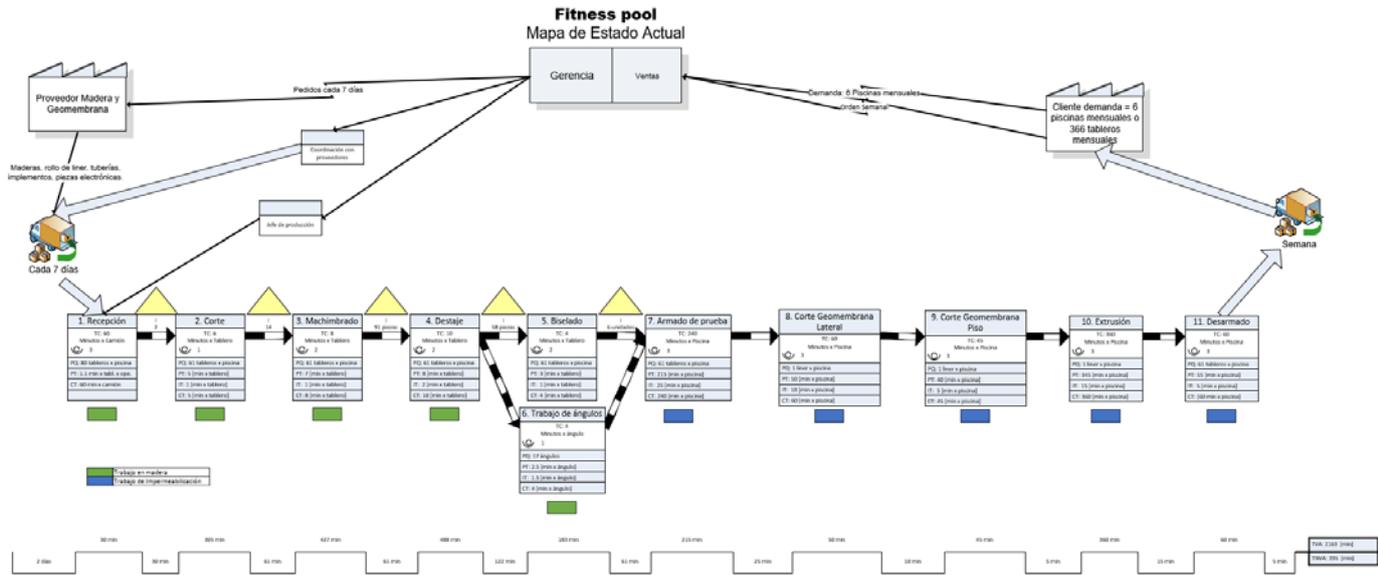


Anexo 3: SIPOC

Anexo 4: Project Charter

Título: DMAIC en Fitness Pool		Fecha de inicio: 2/09/2020	
Descripción del problema: Actualmente la empresa Fitness Pool, tarda en producir sus piscinas 6.02 días laborales, con lo cual crea inconvenientes en sus clientes y a su vez se crean retrasos en sus pedidos.			
Alcance del proyecto: Realizar implementaciones rápidas, que ayuden a reducir el tiempo de días de la producción de piscinas Fitness Pool.			
Objetivos y metas del proyecto:	Métrica	Línea base	Meta
Reducir el tiempo de ciclo para los procesos de armado y extrusión de las piscinas Fitness Pool.	Ángulo de corte y tiempo de extrusión	Tiempo Ciclo extrusión 8 horas y corte de ángulo promedio 43.95°	Tiempo Ciclo extrusión 4 horas y corte de ángulo promedio 46°
Necesidades del Negocio	Impacto en el cliente: La instalación de las piscinas en un menor tiempo y con una mejor calidad		
	Impacto en las partes interesadas: Aumento en las ganancias por la reducción de tiempo, la disminución de pago de horas extras y un aumento de producción.		
	Impacto en los empleados: Menor presión por el retraso de entregas y mayor motivación por la reducción de hora extras de trabajo.		
Patrocinadores del proyecto: Carlos Benitez e Ismael Tipan	Grupo de partes interesadas: Producción	Fecha/Firma	
Miembros del equipo:	Implementación de la metodología DMAIC		
Carlos Benitez			
Ismael Tipan			
Definir	Medir	Analizar	Mejorar
Definición del problema Definición CTQ's 2/9/2020 - 18/9/2020	Medir los datos del proceso 14/9/2020 - 30/9/2020	Identificación de causas raíz para problemas en CTQ's 1/10/2020 - 1/11/2020	Implementaciones rápidas 2/11/2020 - 20/11/2020

Anexo 5: Value Stream Map



Anexo 5: Value Stream Map

Anexo 6: Takt Time

	TC [min]	TC [horas]	TC [horas x 6 piscinas]
Trabajo en madera	1768	29.47	176.82
Trabajo de Impermeabilización	790	13.17	79

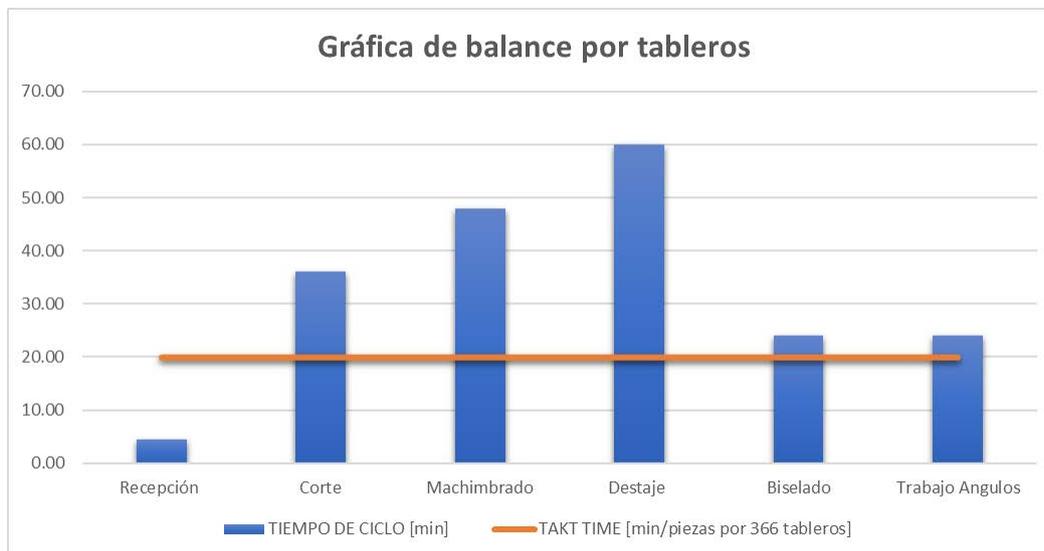
Días laborales al mes: 22	
Horas laborales al mes	Tiempo total del proceso
176	255.8
121.65	176.82
54.35	79

Sub procesos	Tiempo Disponible	Demanda	Unidades
Trabajo en madera	121.65	366	[horas/tableros]
	7299	366	[min/tableros]
Trabajo de Impermeabilización	54.35	6	[horas/piscinas]
	3261	6	[min/piscinas]

Takt Time trabajo de madera	19.94	[min/tableros]
Takt Time trabajo de impermeabilización	543.5	[min/piscinas]

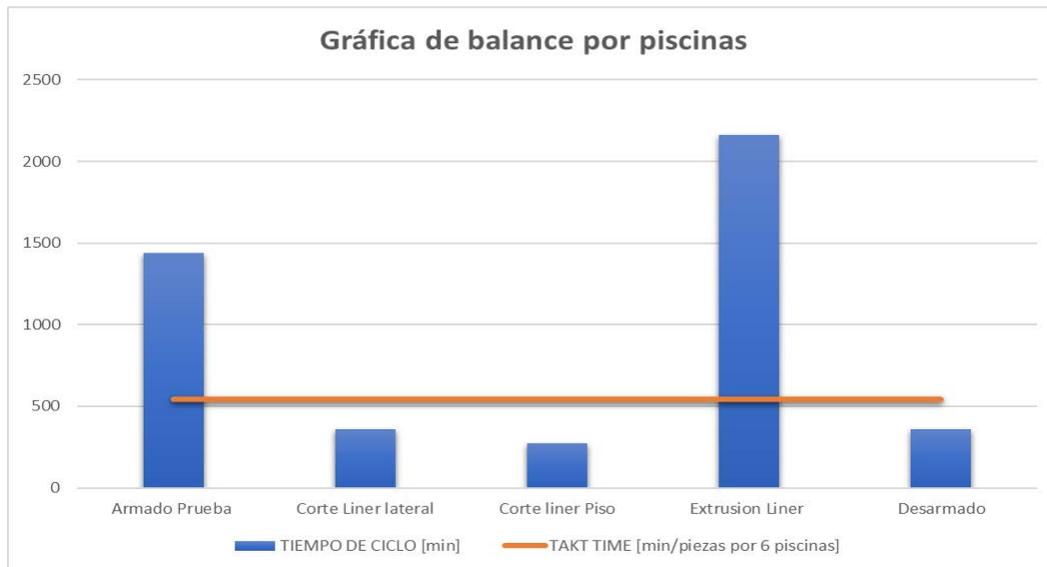
Anexo 6: Takt Time

Anexo 7: Gráfica de balance por tableros



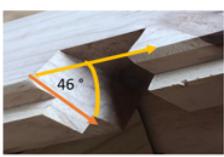
Anexo 7: Gráfica de balance por tableros

Anexo 8: Gráfica de balance por piscina



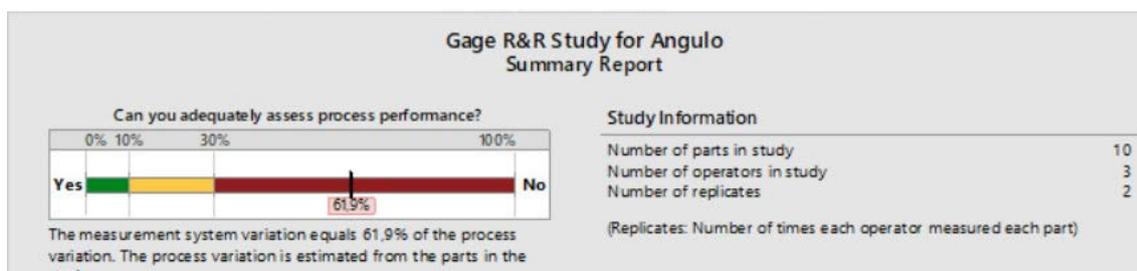
Anexo 8: Gráfica de balance por piscina

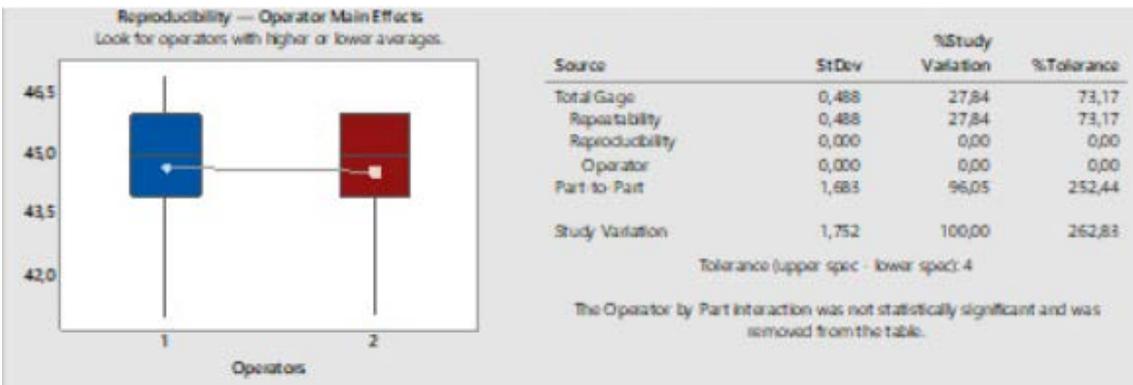
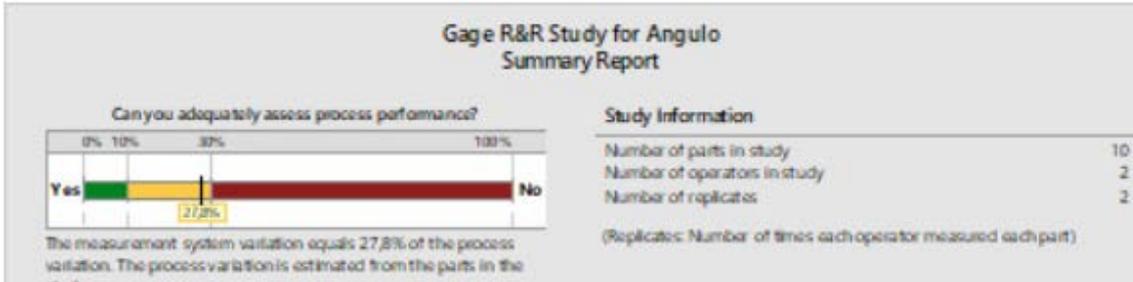
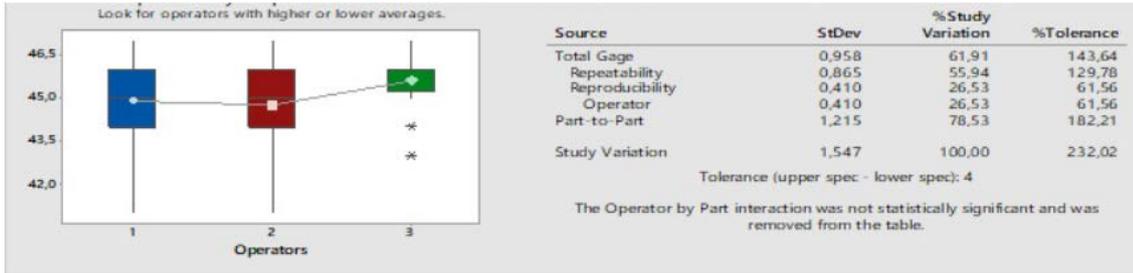
Anexo 9: 5W2H

QUÉ	POR QUÉ	QUIÉN	CUÁNDO		CÓMO	CUÁNTO	
			INICIO	FIN			
Ángulo de destaje [°]	Las imperfecciones en este proceso demora la fase del armado.	Operator A Operator B	día: 9/14/2020 horas: 09:00am - 12:00pm	día: 11/2/2020 horas: 09:00am - 12:00pm	Gradador y Regla 	Tamaño Muestra Destaje N: 366 Z: 1.96 p: 0.5 q: 0.5 e: 0.05 Tamaño de muestra: 188	
			día: 9/14/2020 horas: 13:00am - 16:00pm	día: 11/2/2020 horas: 13:00pm - 16:00pm		Cronometro 	Tamaño Muestra Extrusión N: 96 Z: 1.96 p: 0.5 q: 0.5 e: 0.05 Tamaño de muestra: 77

Anexo 9: 5W2H

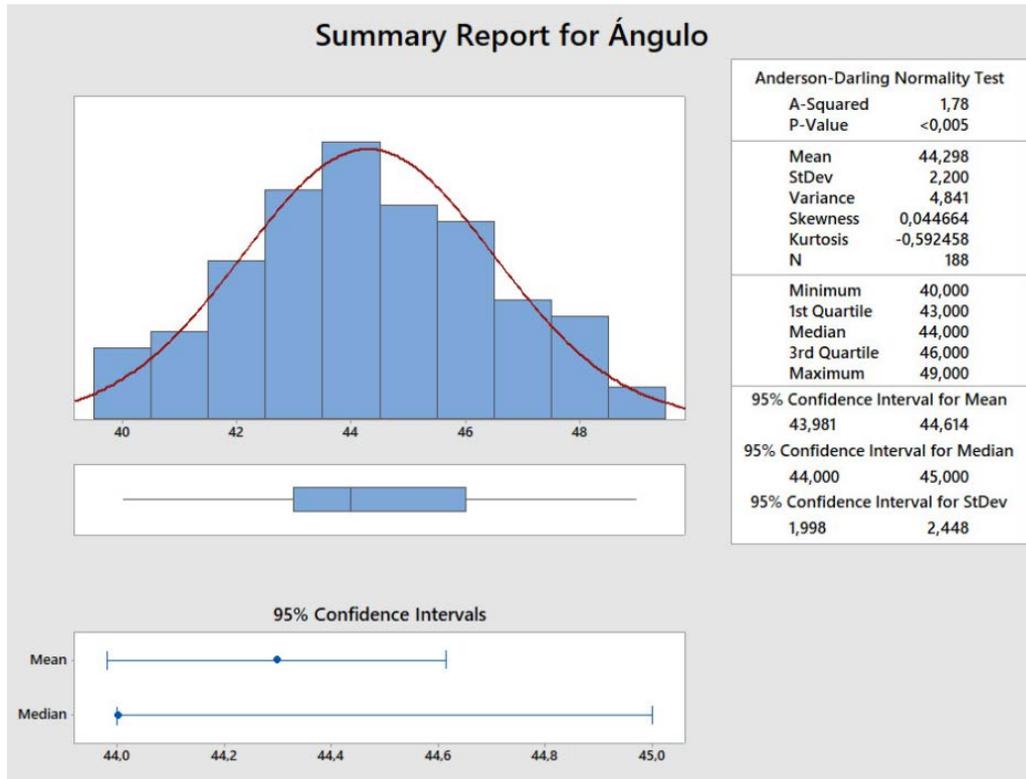
Anexo 10: Gage RR





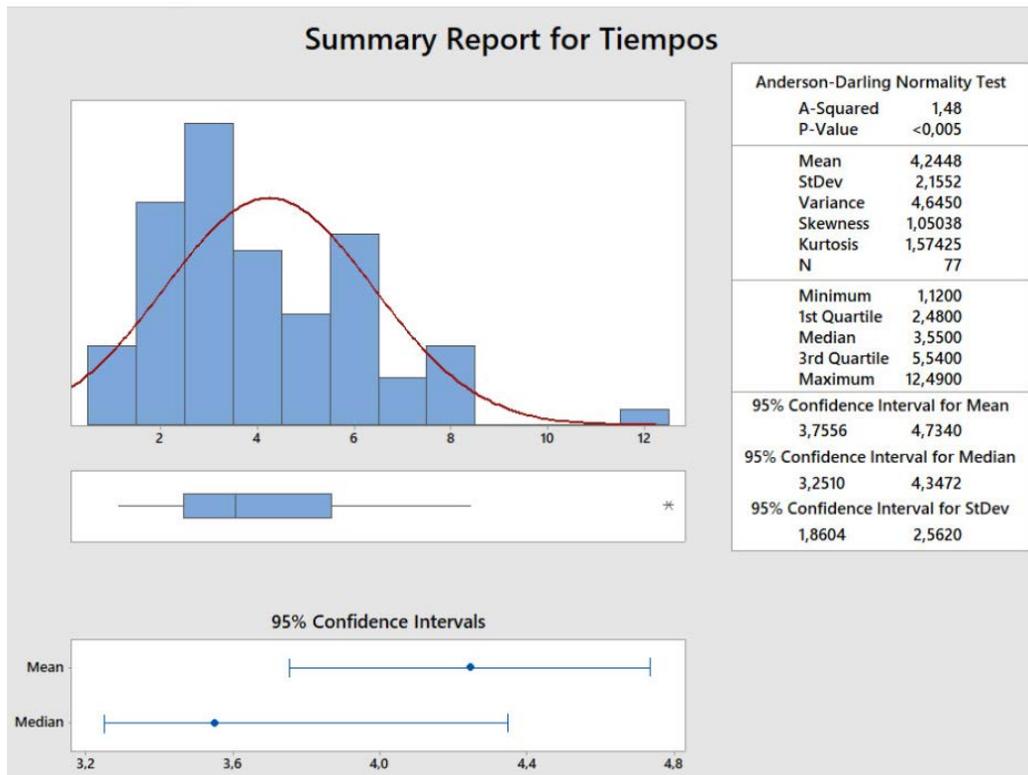
Anexo 10: Gage R&R

Anexo 11: Estadística descriptiva del ángulo



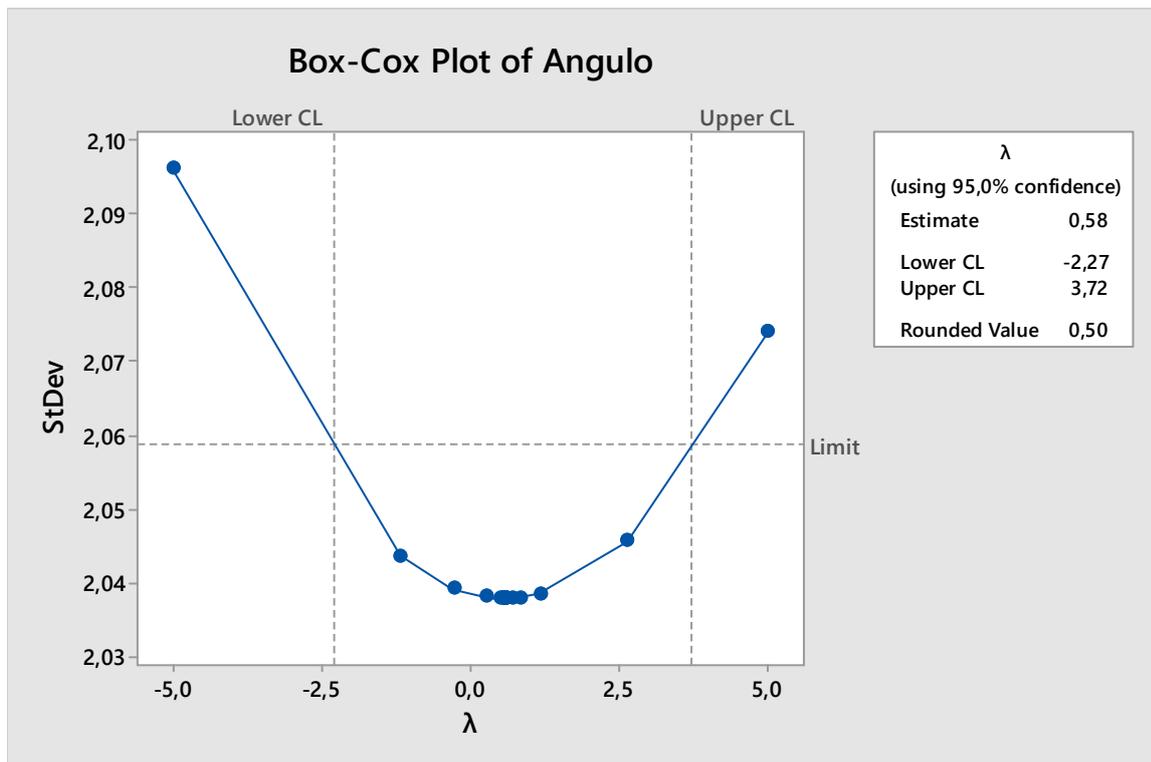
Anexo 11: Estadística descriptiva del ángulo

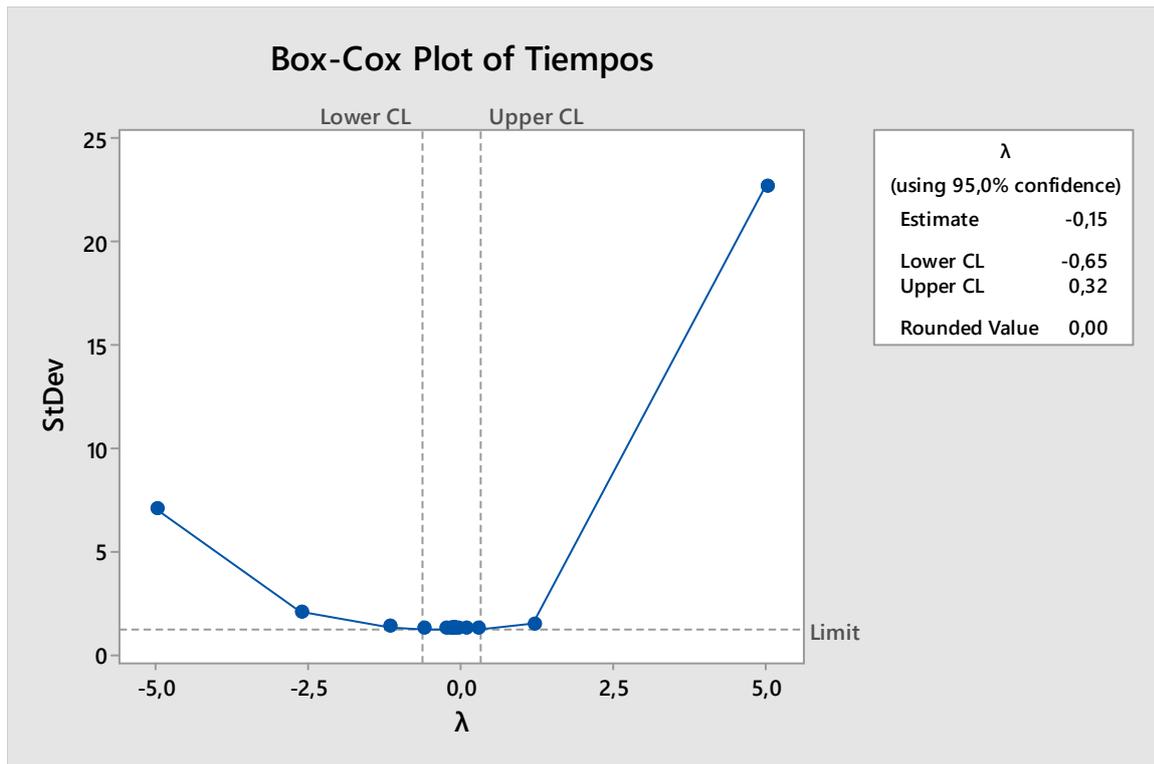
Anexo 12: Estadística descriptiva de los tiempos



Anexo 12: Estadística descriptiva de los tiempos

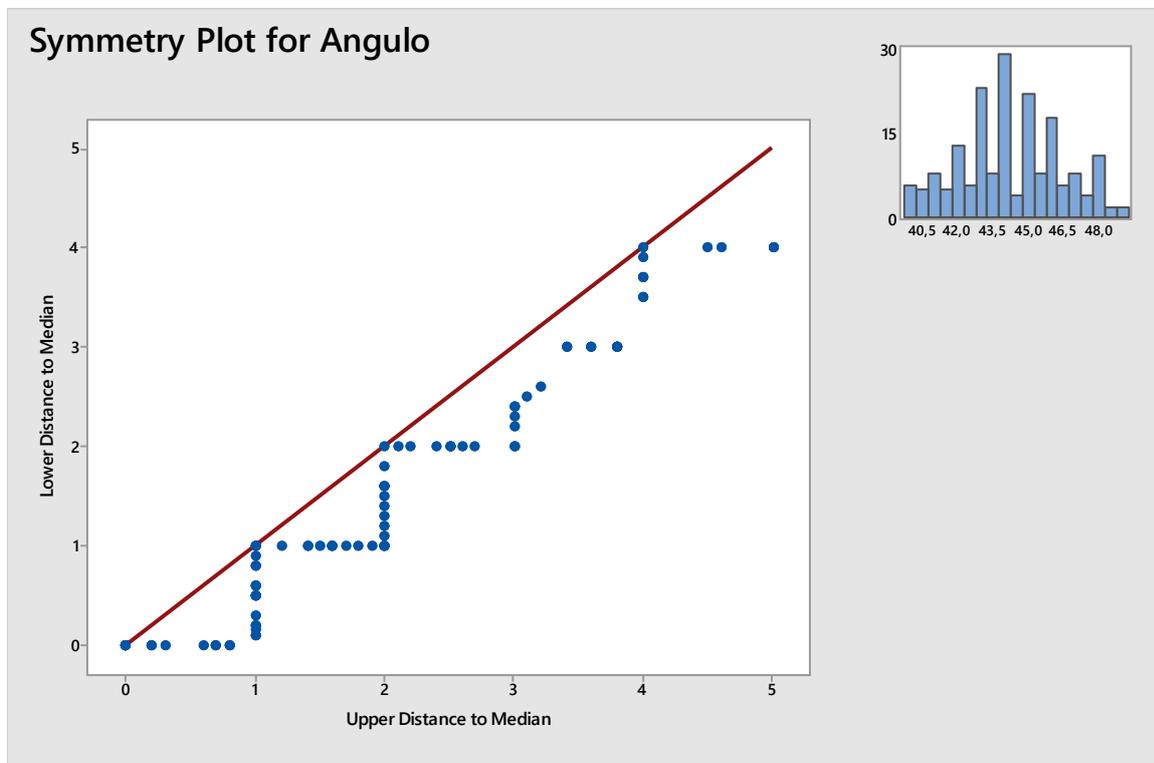
Anexo 13: Transformación Box-Cox:

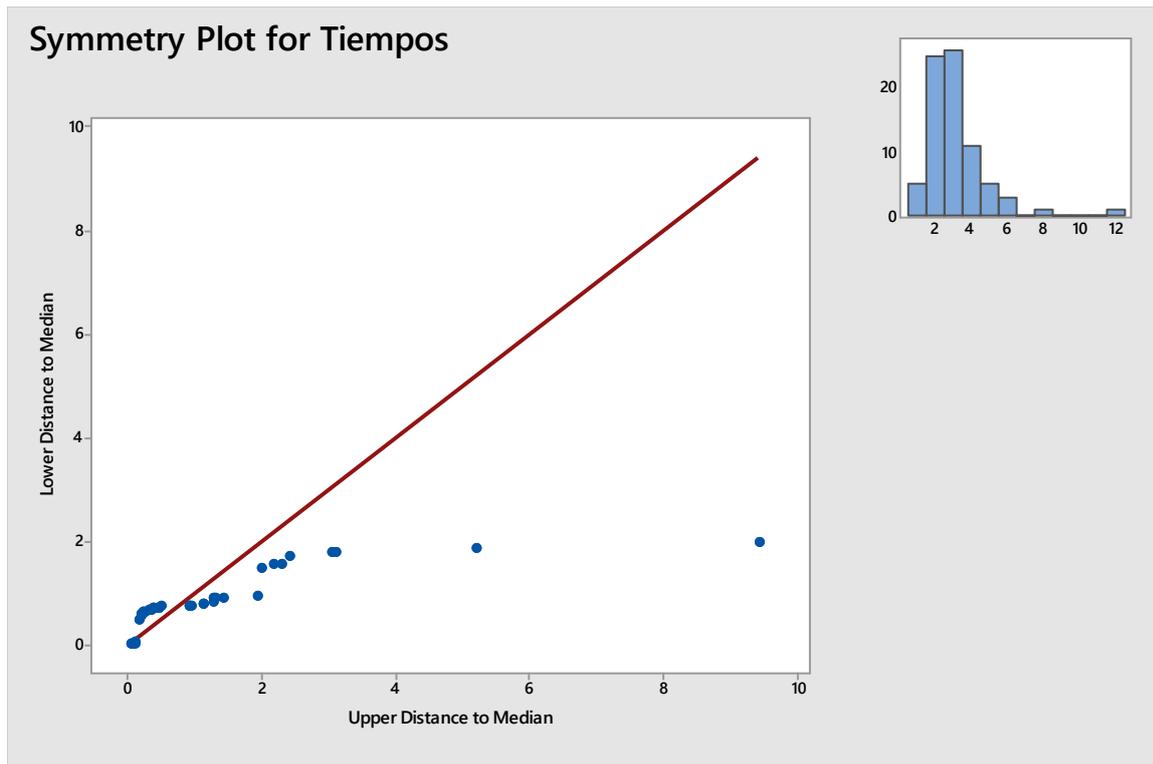




Anexo 13: BOX - COX

Anexo 14: Pruebas de Simetría





Anexo 14: Prueba de Simetría

Anexo 15: Sample Sign Ángulo

Sign Test for Median: Angulo Method

η : median of Angulo

Descriptive Statistics

Sample	N	Median
Angulo	188	44

Test

Null hypothesis $H_0: \eta = 46$

Alternative hypothesis $H_1: \eta \neq 46$

Sample	Number < 46	Number = 46	Number > 46	P-Value
Angulo	139	14	35	0,000

Anexo 15: Sample sing ángulo

Anexo 16: Sample Sing Tiempos

Sign Test for Median: Tiempos

Method

η : median of Tiempos

Descriptive Statistics

Sample	N	Median
Tiempos	77	3,09

Test

Null hypothesis $H_0: \eta = 3,42$

Alternative hypothesis $H_1: \eta > 3,42$

Sample	Number < 3,42	Number = 3,42	Number > 3,42	P-Value
Tiempos	52	0	25	0,819

Anexo 16: Sample sign tiempos

Anexo 17: Diagrama Ishikawa Angulo de destaje



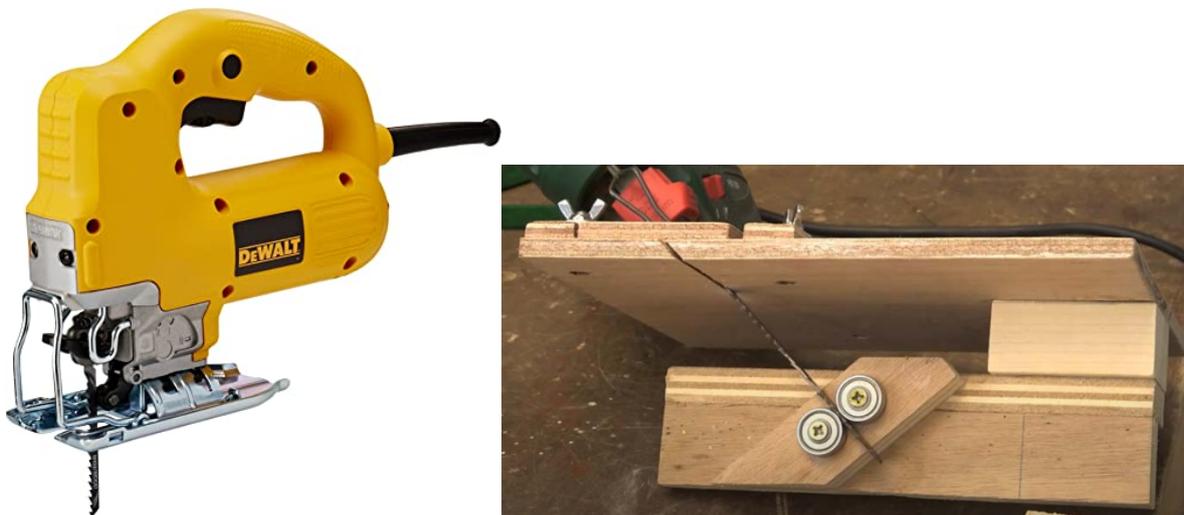
Anexo 17: Ishikawa ángulo

Anexo 18: Diagrama Ishikawa tiempo de extrusión



Anexo 18: Ishikawa extrusión

Anexo 19: Herramienta y Poka-Yoke



Anexo 19: Herramienta y Poka-Yoke

Anexo 20: Hoja estandarizada de operación

		<h3>Hojas Estandarizada de Operación</h3>				
Nombre del proceso: Proceso de Extrusión		Realizado por: Benitez, Tipán				
Número fase:		Area: Trabajo de Impermeabilización				
Fecha de revisión:		Simbología:				
Ed.:		<div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;">  Operación Crítica  Chequeo de calidad  Prohibido estar sin supervisión  Contaminación </div>				
		Símbolo	Número	Paso Principal (qué)	Punto clave (cómo)	Motivo(Por qué, Para qué)
 <p>Fig.1: Colocación Base de Madera</p>			1	Colocar Liner Sobre Base de Madera	Operador B coloca la base de madera debajo de la parte a extruir del liner(Fig.1).Seleccionar Fig.2 para lado recto o Fig.3 para esquinas. Esta base debe encajar de tal forma que el liner quede plano.	Para tener una extrusión uniforme, evitar contacto con el suelo e impurezas, adaptar la forma de liner sin extruir a la de la base de madera
   <p>Fig.2: Base para lado recto</p> <p>Fig.3: Base para esquinas</p> <p>Fig.4: Estirar el Liner</p>			2	Estirar Liner	Operador B Estira con ambas manos el area de liner a extruir (Fig.4). La fuerza con la que se estira debe mantener plano el material mas no estirarlo demasiado. (mantener hasta el final de la extrusión)	Para tener una extrusión uniforme, evitar dobleces y ruptura en el calentamiento
  <p>Fig.5: Juntar Capas</p> <p>Fig.6: Levantamiento capa superior</p>			3	Juntar capa inferior y Superior	Operador A junta liner superior e inferior para delimitar exactamente el área a extruir.(Fig.5) Considerar el de extrusiones anteriores. Operador B ayuda en la Fijación.	Para lograr extrusión y sellado uniforme.
  <p>Fig.5: Juntar Capas</p> <p>Fig.6: Levantamiento capa superior</p>			4	Levantar Capa Superior	Operador A Levanta con la mano Izquierda la capa superior de liner(Fig.6) Debe ser un levantamiento justo para que entre la boquilla de la sopladora. Evitar un levantamiento pronunciado.	Para lograr el espacio para la boquilla de la sopladora en el paso siguiente
  <p>Fig.6: Posición de Calentamiento</p> <p>Fig.6: Pegar</p>			5	Calentar el Liner	Operador A introduce la boquilla de la maquina sopladora entre las capas a 45° (Fig.6)con la linea de extrusión utilizando la mano derecha evitando el contacto prolongado entre liner y boquilla con la sopladora a temperatura de 400°C. Evitar mas de 2 segundos de exposición del liner al calor directo de la sopladora.Cuidado Con quemaduras	Para cambiar las propiedades físicas de la geomembrana de modo que estas se peguen entre si.
			6	Pegar	Operador A repase el liner superior calentado con el rodillo realizando presión para pegado entre liner superior e inferior. Fundamental pasar el rodillo por toda el area calentada.	Para realiza un pegado uniforme, evitando fallas y garantizando máxima impermeabilización.
Observaciones:						
Responsable metodos:		Responsable producción:		Recibida formación a operarios:		

Anexo 21: Layout actual de la empresa





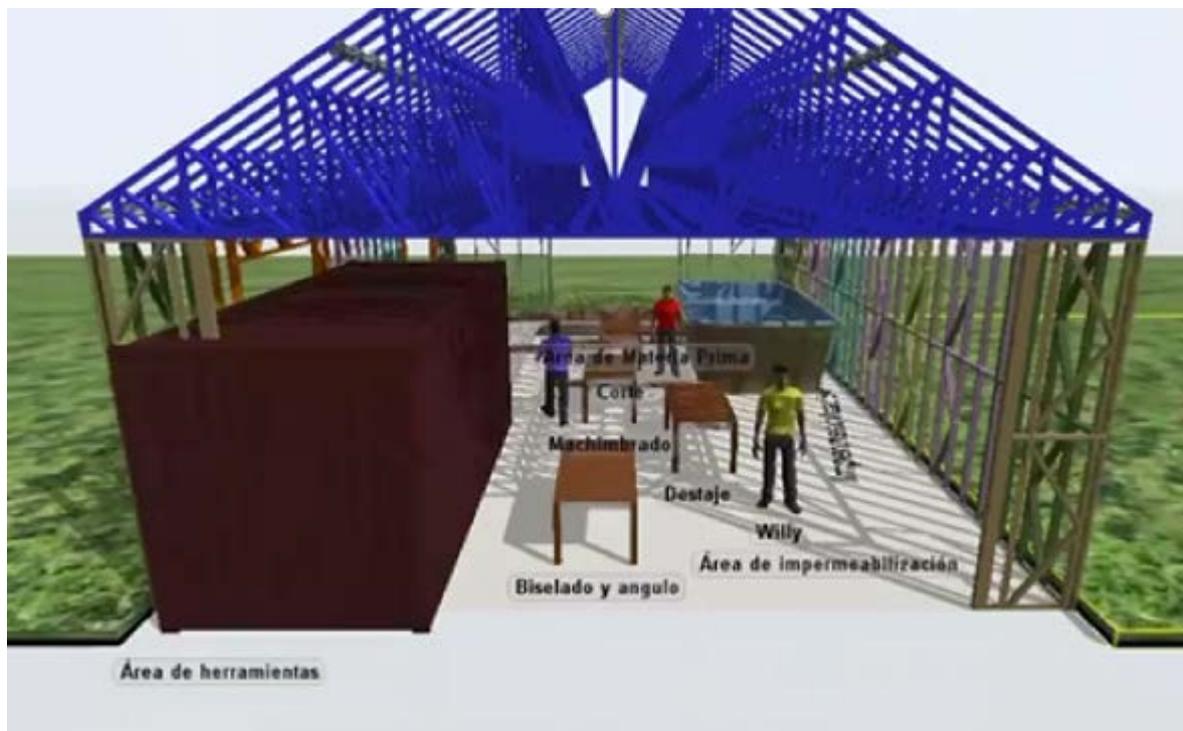
Anexo 21: Layout actual de la empresa

Anexo 22: Simulación actual del layout de la empresa



Anexo 22: Simulación Layout actual

Anexo 23: Simulación ideal del layout de la empresa



Anexo 23: Simulación Layout ideal