

INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN

**FABRICACIÓN DE MOLDES DE INYECCIÓN DE
PLÁSTICOS POR MEDIO DE CAD/CAM/CAE:
ANÁLISIS DE LAS VARIABLES ASOCIADAS A
LA REPARACIÓN Y FABRICACIÓN DE
MOLDES DE INYECCIÓN DE PLÁSTICOS**

Proyecto financiado por USAID-RTI. En asocio
colaborativo con el clúster UCA-UDB

DOCENTE INVESTIGADOR
PRINCIPAL DE ITCA-FEPADE:
ING. KEOPS ANDRÉS CASTRO CASTANEDA

CO-INVESTIGADOR:
ING. LUIS EMIR REYES RIVERA

ESCUELA DE EDUCACIÓN DUAL
ITCA-FEPADE SEDE CENTRAL

ENERO 2019

INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN

**FABRICACIÓN DE MOLDES DE INYECCIÓN DE
PLÁSTICOS POR MEDIO DE CAD/CAM/CAE:
ANÁLISIS DE LAS VARIABLES ASOCIADAS A
LA REPARACIÓN Y FABRICACIÓN DE
MOLDES DE INYECCIÓN DE PLÁSTICOS**

Proyecto financiado por USAID-RTI. En asocio
colaborativo con el clúster UCA-UDB

DOCENTE INVESTIGADOR
PRINCIPAL DE ITCA-FEPADE:
ING. KEOPS ANDRÉS CASTRO CASTANEDA

CO-INVESTIGADOR:
ING. LUIS EMIR REYES RIVERA

ESCUELA DE EDUCACIÓN DUAL
ITCA-FEPADE SEDE CENTRAL

ENERO 2019

Rectora

Licda. Elsy Escolar SantoDomingo

Vicerrector Académico

Ing. Carlos Alberto Arriola Martínez

Vicerrectora Técnica Administrativa

Inga. Frineé Violeta Castillo

Dirección de Investigación y Proyección Social

Ing. Mario Wilfredo Montes, Director

Ing. David Emmanuel Ágreda Trujillo

Inga. Ingrid Janeth Ulloa de Posada

Sra. Edith Aracely Cardoza de González

Director de Escuela de Educación Dual

Ing. Ovanio Humberto Ávalos

621.984

C355f

Castro Castaneda, Keops Andrés, 1981

SV

Fabricación de moldes de inyección de plásticos por medio de CAD/ CAM/CAE : análisis de las variables asociadas a la reparación y fabricación de moldes de inyección de plásticos [recurso electrónico] / Keops Andrés Castro Castaneda, Luis Emir Reyes Rivera, coaut. -- 1ª ed. Datos electrónicos (1 archivo : 14600 kb).-- Santa Tecla, La Libertad, El Salv. : ITCA Editores, 2019.

1 recurso en línea : col.

Forma de acceso : World Wide Web. URL:

<https://www.itca.edu.sv/produccion-academica/>

Título tomado de la pantalla de presentación

Datos publicados también en forma impresa

ISBN: 978-99961-50-97-5 (Impreso)

ISBN: 978-99961-50-98-2 (E-Book)

1. Moldes para plásticos. 2. Moldeo de plásticos por inyección. 3. Manufacturas con ayuda de Computador. 4. CAD/CAM (sistemas). I. Reyes Rivera, Luis Emir, coaut. II. Título.

Autor

Ing. Keops Andrés Castro Castaneda

Co Autor

Ing. Luis Emir Reyes Rivera

Tiraje: 13 ejemplares

Año 2019

Este documento técnico es una publicación de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE; tiene el propósito de difundir la Ciencia, la Tecnología y la Innovación CTI, entre la comunidad académica y el sector empresarial, como un aporte al desarrollo del país. Para referirse al contenido debe citar el nombre del autor y el título del documento. El contenido de este Informe es responsabilidad de los autores.



Atribución-No Comercial
4.0 Internacional

Esta obra está bajo una licencia Creative Commons. No se permite el uso comercial de la obra original ni de las posibles obras derivadas, cuya distribución debe hacerse mediante una licencia igual que la sujeta a la obra original.

Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE
Km 11.5 carretera a Santa Tecla, La Libertad, El Salvador, Centro América

Sitio Web: www.itca.edu.sv

TEL: (503)2132-7423

FAX: (503)2132-7599

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	4
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
2.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	5
2.2. ANTECEDENTES / ESTADO DE LA TÉCNICA	5
<i>La inyección de plástico en El Salvador</i>	5
<i>Inyección de plásticos y su simulación</i>	6
2.3. JUSTIFICACIÓN	6
3. OBJETIVOS	7
3.1. OBJETIVO GENERAL:	7
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	7
4. HIPÓTESIS	7
5. MARCO TEÓRICO	8
<i>Reparación de moldes</i>	9
6. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	10
6.1. PLAN DE IMPLEMENTACIÓN	11
<i>Etapa 1 “Diagnóstico técnico”</i>	11
<i>Etapa 2 “Propuesta, diseño y validación de la reparación de un molde usado”</i>	12
<i>Etapa 3 “Modelado y simulación”</i>	13
<i>Etapa 4 “Diseño y validación del molde para un producto nuevo”</i>	14
<i>Etapa 5 “Propuesta de modelo de negocios para diseño, fabricación y reparación de moldes en el país”</i>	15
7. RESULTADOS	16
7.1. ESTUDIO DE CAMPO	16
7.2. DISEÑO DEL MOLDE	16
7.3. FABRICACIÓN DEL MOLDE	17
<i>Proceso de mecanizado de piezas</i>	17
7.4. PROCESO DE INYECCIÓN	26
7.5. REPARACIÓN	27
<i>ETAPA 1: Evaluar alternativas de reparación</i>	28
<i>ETAPA 2: Definir el material de aporte a partir de las características del material</i>	28
<i>ETAPA 3: Definir condiciones de soldadura a partir de las características de la falla</i>	29
<i>ETAPA 4: Definir el pre y postcalentamiento a utilizar</i>	29
<i>ETAPA 5: Ejecutar la soldadura</i>	29
7.6. RESULTADOS DE MODELADO Y SIMULACIÓN DE UN MOLDE	29
8. CONCLUSIONES	30
9. RECOMENDACIONES	30
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
11. ANEXOS	32
11.1. ANEXO 1. TABLAS	32
11.2. ANEXO 2. GUIA DE ENTREVISTA A EMPRESAS	34

1. INTRODUCCIÓN

El proceso de inyección es uno de los más ampliamente utilizados en el procesamiento de materiales poliméricos. Uno de los elementos que más destacan usados dentro del proceso es el molde que sirve para dar forma al polímero. El molde es un mecanismo complejo integrado por varios sistemas que sufre la aplicación de grandes presiones y se somete a cambios de temperatura de manera cíclica. Lo anterior, aunado a un manejo inadecuado, puede provocar que requiera de reparación en diferentes momentos de su vida útil y por lo cual su diseño es una actividad que necesita particular atención.

Por el otro lado, el uso de software es cada vez más común en el diseño de ingeniería. Además, el costo cada vez menor del hardware sumado al acceso cada vez mayor a programas especializados está haciendo que la simulación se convierta en una herramienta importante para diseñar en procesos industriales. Se ha afirmado que, debido a la complejidad de la inyección de plástico, esta es una de las áreas de procesamiento de plástico donde el uso de simulación ha sido más exitoso.

Tomando en cuenta lo anterior, y dado que en el contexto salvadoreño se ha observado que la reparación y fabricación de moldes se lleva a cabo mediante procedimientos empíricos, se ha creído conveniente plantear un proyecto de investigación que permita un acercamiento científico a dichas actividades. El objetivo del proyecto es identificar el conjunto de variables metalúrgicas y de la inyección de plásticos que permitan proponer a la industria salvadoreña una metodología de reparación de moldes y validar experimentalmente el uso de software para el diseño y optimización de moldes como alternativa a la reparación.

La investigación propuesta se llevaría a cabo en cinco etapas. La primera de ellas se enfocaría en documentar las condiciones actuales que se dan en la industria para las áreas que son objeto de estudio. En la segunda etapa, se analizarán los mecanismos de falla de los moldes que se utilizan en la inyección de plástico y se propondrá una alternativa de reparación, la cual será validada a nivel de prueba piloto. A partir de esto, se contaría con los datos necesarios para proponer una metodología de reparación, implementarla a nivel de laboratorio y verificar sus resultados.

Dado que algunos de los fallos en el proceso pudieran no ser debidos a defectos en el molde se ha propuesto una tercera etapa de simulación del proceso de inyección y su correspondiente validación; con esto se tendrá una mejor comprensión del fenómeno desde la perspectiva del procesamiento del material. A partir de este conocimiento se plantea una cuarta que permita ampliar la investigación al diseño y fabricación de un molde. Finalmente, se pretende hacer una valoración económica de lo realizado de tal manera que esta información sirva de referencia para que los interesados en este sector puedan tener acceso a ella.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Las empresas del sector plásticos en El Salvador, no cuentan con una metodología técnica para diseñar y fabricar sus moldes, que les permita hacerlo de manera eficiente y minimizando los posibles errores que puedan cometerse durante el proceso, lo cual encarece los procesos e impacta en las finanzas de las empresas.

2.2. ANTECEDENTES / ESTADO DE LA TÉCNICA

El proceso de inyección de plástico nació con los polímeros, el primer termoplástico conocido fue conformado mediante este proceso en 1868 [1]; sin embargo, hay que hacer notar que el verdadero origen de la inyección se encuentra en la fundición de metales [2].

Aunque el proceso ha evolucionado y muchos de los problemas ligados al manejo de polímeros se han resuelto, persiste el interés en el estudio del mismo. Actualmente el uso de este método de conformado no está limitado a materiales poliméricos exclusivamente, también es aplicable en materiales compuestos cuya matriz es polimérica. También ha de tenerse en cuenta que el mundo de los polímeros implica un gran número de materiales con una igualmente amplia variedad de comportamientos.

Tomando en cuenta la diversidad de enfoques desde la cual se puede abordar el proceso de inyección de plásticos y la reparación de moldes, se han estructurado estos antecedentes en varias categorías que se desarrollan a continuación.

La inyección de plástico en El Salvador

Dentro del contexto de la realidad nacional, El Salvador se caracteriza por estar lleno de emprendedores. Personas que, al identificar una oportunidad con cierto potencial, tratan de materializar la misma con la finalidad de obtener ganancias y así beneficiar a sus familias y a las personas que les rodean. Esto no solamente favorece a los involucrados en la idea, sino que fomenta una cultura de progreso que ayuda al país a tener una mayor participación a nivel internacional.

Conociendo entonces esta forma de actuar del salvadoreño, no es de extrañarse que varios sectores importantes se hayan desarrollado a nivel local. Metal-mecánica, industria azucarera, producción energética, sector del plástico son ejemplos de sectores que han nacido de esta manera; siendo, en este caso particular, el sector del plástico el que se ha considerado objeto de estudio.

El plástico encuentra en El Salvador, al igual que en otras partes del mundo, una amplia gama de usos. Desde depósitos (los comúnmente conocidos huacales, depósitos para bebidas, depósitos para medicinas, etc.) hasta tapaderas e incluso juguetes, se convierten en lo que día a día se ve en las diversas empresas locales que se dedican al rubro en cuestión.

Con la finalidad de poder fabricar esta diversidad de productos (variando tanto en formas, usos y materiales), la industria local ha tenido que adquirir la maquinaria y experiencia necesaria. Procesos tales como inyección

de plástico, soplado y extruido son solamente algunas de las tecnologías que se usan en el país. El primero de ellos, el proceso de inyección de plástico, es una de las más utilizadas no solo a nivel local, y la misma se puede resumir brevemente en calentar plástico hasta el punto de fusión, hacerlo pasar hasta un molde con una forma predeterminada, inyectar el plástico en las cavidades del molde mencionado, dejarlo enfriar y posteriormente extraer la pieza deseada. Este proceso explicado tan escuetamente, es el que conforma el centro de atención del proyecto en cuestión.

Inyección de plásticos y su simulación

Si se acude a revistas especializadas, las publicaciones relacionadas al tópico en cuestión, identificadas por los criterios de búsqueda “moldeo por inyección”, “polímero” y “plástico”, son abundantes. En cuanto a las temáticas específicas que son objeto de investigación, podría decirse que estas son variadas. Como ejemplo de esta variedad se presenta a continuación una lista de algunos de las áreas que abordan algunas de las publicaciones realizadas en el año 2016:

- Estudio del proceso en piezas de muy pequeño tamaño (micro y nano escala)
- Efecto de los parámetros de operación en la resistencia a la tensión de un polímero auto-reforzado (SPC – single polymer composite)
- Optimización del enfriamiento mediante el uso de moldes elaborados acudiendo a la impresión 3D
- Exploración de nuevos materiales con énfasis en materiales amigables con el medio ambiente
- Optimización del proceso de inyección para la generación de unión en materiales disimilares
- Uso de recubrimientos en el molde y su efecto en los parámetros de operación
- Influencia de los parámetros de operación en la microestructura del producto

En este proyecto se han propuesto como ámbitos de exploración la simulación del proceso de inyección y la reparación de moldes; por lo tanto, es necesario contar con una idea de su participación este vasto campo que es la investigación del moldeo por inyección de plásticos.

De las publicaciones que tratan sobre inyección de plásticos pueden acotarse las que tratan el tema de simulación. Al hacer esto se encuentra que el número de publicaciones sigue siendo importante además de actual. Sin embargo, debe hacerse notar que el proceso de inyección, y su simulación, tiene una aplicación mucho más allá de los alcances que este proyecto se propone.

2.3. JUSTIFICACIÓN

Se ha valorado que la industria puede beneficiarse de este proyecto de la siguiente manera:

1. Se podrá analizar el proceso de falla de los moldes aplicando técnicas no destructivas, esto con el potencial de reducir costos debido a la falla prematura de moldes de inyección.
2. Realizando una adecuada selección de materiales y del proceso de reparación aplicado a moldes de inyección de plásticos se podrá alcanzar una mejora sustancial en los procesos de las industrias salvadoreñas que actualmente realizan este proceso de forma empírica y a prueba y error.
3. Se tendrá un mejor panorama sobre las ventajas que ofrece utilizar software para diseñar piezas fabricadas por medio de inyección. La industria de plástico tendrá la información que necesita para decidir

si le es rentable implementar la tecnología de simulación en el diseño de productos nuevos fabricados por inyección de plástico. En teoría, la tecnología de simulación es utilizada por empresas del primer mundo, por lo que tener la capacidad de implementarla en empresas salvadoreñas tiene el potencial de hacerlas más competitivas.

4. En las universidades y en la industria quedará el conocimiento sobre el uso de software especializado en procesos de diseño respaldados mediante la experimentación y la monitorización de variables. Este conocimiento se divulgará y los resultados de la investigación se publicarán en los medios oportunos.
5. La industria que se dedica a maquinar moldes metálicos podrá contar con soporte de ingeniería para el diseño de los moldes, lo cual tiene el potencial de ampliar su mercado existente.
6. El proceso de diseño, validación por software y fabricación de los moldes requiere de conocimiento en la elaboración y lectura de planos, técnicas de calibración de equipo de medición, y técnicas de maquinado CNC. El proyecto puede proporcionar información para posteriormente capacitar al personal técnico de la industria en estas áreas.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL:

Identificar el conjunto de variables metalúrgicas y de la inyección de plásticos que permitan proponer a la industria salvadoreña una metodología de reparación de moldes y validar experimentalmente el uso de software para el diseño y optimización de moldes como alternativa a la reparación.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Documentar los parámetros técnicos que se utilizarán para la creación de modelos CAD/CAM/CAE de un molde de inyección.
2. Analizar, proponer y validar un método de reparación por soldadura de moldes para la industria del plástico que permita extender la vida útil los mismos.
3. Utilizar software comercial para modelar y simular el funcionamiento del molde de inyección de plástico.
4. Diseñar, construir y validar el funcionamiento del molde para fabricar un producto nuevo.
5. Determinar la factibilidad económica para diseñar, fabricar y reparar moldes.

4. HIPÓTESIS

La falta de una metodología apropiada para diseñar y fabricar moldes de inyección de plásticos, genera en las empresas disminución de utilidades y reprocesos que disminuyen la eficiencia de los procesos productivos.

5. MARCO TEÓRICO

El proceso de inyección de plásticos ha sido, por muchos años, uno de los más difundidos y utilizados por el sector de fabricación de productos plásticos. Este es un proceso que en nuestro país, representa uno de los mayores rubros productivos en el sector industrial, lo que hace necesario prestarle la debida atención, poniendo en él, todos los esfuerzos necesarios por fortalecerlo y tecnificarlo.

El molde, específicamente para la inyección de plásticos, es un sistema complejo que debe satisfacer simultáneamente varias demandas: conducir y contener el polímero fundido, transferir calor de manera adecuada y expulsar el producto de su interior. Es esta complejidad y los fenómenos que ella comprende la que hace a la simulación una herramienta muy apreciable para el diseño de moldes de inyección. Los beneficios de la simulación se basan en el hecho que más barato y rápido evitar problemas en la fase de diseño que repararlos en producción.

La reparación de moldes como fue presentado anteriormente puede representar ahorros significativos para la industria. Realizarla de forma tecnificada es algo que no se está haciendo en la actualidad, principalmente por la falta del conocimiento técnico y científico para ello. Esta investigación pretende a través del proceso de medición y caracterización metalúrgica de las fallas acercar a la industria el conocimiento científico requerido.

El uso de la simulación es, en definitiva, una herramienta a tener en cuenta en una industria que demanda mayor tecnología. Sobre todo si se tiene en cuenta que va más allá del diseño del molde y que es útil para determinar las condiciones de procesamiento en la inyección de plásticos.

La utilización de herramientas de simulación trasciende lo que aquí se propone pues ella es aplicable en diferentes áreas. Es decir, un acercamiento a su uso también ayuda a generar confianza en este software y a promover su uso por otras industrias.

Varios términos requieren definirse, a algunos de ellos se han agregado anotaciones para entenderlos apegados al contexto de la presente investigación.

CAD o Diseños Asistido por Computadora: Se entiende como el software que permite generar modelos computarizados de productos. Este tipo de software no solo sirve para generar dibujos sino modelos que incluyen características del producto, como materiales. Pueden encontrarse definiciones que limitan este tipo de software al ámbito de la generación de planos; no obstante, en muchos programas disponibles esta es solo una de la gran variedad de funcionalidades con las que cuenta.

CAM o Manufactura Asistida por computadora: Uso de computadores en el control de procesos de manufactura. Es habitual relacionar el concepto específicamente al software que permite programar las operaciones de mecanizado en un equipo automatizado a partir de un modelo CAD. En este trabajo, este último es el sentido en el que se entiende el concepto.

CAE o Ingeniería Asistida por Computadora: Según [2], es el conjunto de métodos que son usados para desarrollar una amplia variedad de tareas de diseño. En este caso particular, cuando se hace referencia a la simulación del proceso de inyección se entiende que esta es uno de esos métodos a los que hace alusión el concepto.

Actualmente muchas empresas ya cuentan con capacidad y experiencia importante en el uso de herramientas CAD y CAM; sin embargo, aún es posible potenciar más su uso sumándole las ventajas que puede ofrecer el software de simulación (CAE). Permitiendo la fabricación de moldes optimizados para su uso.

Para que este método asociado al CAE tenga el impacto deseado se hace necesario validar la metodología utilizada por medio de experimentación. Este proceso requiere la instrumentación de un molde para la caracterización de las variables de interés que demuestren que en general la simulación está brindando resultados apropiados.

El desarrollo del proyecto también apunta a fortalecer empresas del sector metalmecánica que también se dedican a la fabricación de moldes o que estén interesadas en este campo. Los insumos requeridos para el uso del software de simulación también permitirían la exploración de la reparación de moldes y otros tipos de reparación que también son efectuadas por estos este sector. Es posible visualizar dos líneas potenciales de trabajo en lo que se refiere a moldes: fabricación de moldes y reparación de moldes.

Para lograr el fortalecimiento que se pretende, teniendo en cuenta el contexto inmediato y global, se partirá de un caso concreto de la industria que serviría como un proceso de aprendizaje de las herramientas específicas necesarias para el modelado y simulación de un molde de inyección y su funcionamiento. Luego de hecho este recorrido, se fabricaría un molde de inyección haciendo uso de la experiencia ganada. En síntesis, el proyecto propone llevar a cabo las siguientes etapas:

1. Diagnóstico técnico
2. Propuesta, diseño y validación de la reparación de un molde usado
3. Modelado y simulación
4. Diseño y validación del molde de inyección para un producto nuevo
5. Propuesta de un modelo de negocios para el diseño, fabricación y reparación de moldes en el país

Reparación de moldes

La reparación de moldes es otra de las líneas principales de trabajo que se propuso en el proyecto. Con el fin de establecer un breve marco de referencia, al igual que se ha hecho para la línea de simulación. El grado, severidad de falla o desgaste de un molde en condiciones de servicio, depende de su forma, tamaño y de la precisión requerida en la pieza. Las causas principales de falla de un molde durante las condiciones de servicio son: ciclo de carga, choque térmico, desgaste, deformación plástica, corrosión, fatiga, material defectuoso, etc. Otras causas pueden ser accidentales o de un diseño equivocado.

El análisis de falla de las superficies falladas o desgastadas, es de gran importancia para seleccionar adecuados procesos y parámetros de reparación. En este o, los moldes son tradicionalmente reparados utilizando soldadura de arco (SMAW) o proceso TIG, y las intervenciones realizadas se desarrollan principalmente en dos momentos:

- a) Durante la fabricación, por errores de maquinado o por algún cambio en el diseño de la pieza a inyectar y
- b) Durante el servicio, por la incidencia de fallas en el molde.

La tecnología de punta en la reparación de moldes plásticos a nivel internacional, utiliza técnicas de reparación por láser, haz de electrones, técnicas de micro TIG pulsado, pre y post calentamiento, etc. Estas

son opciones de reparación muy recientes y atractivas, principalmente debido a la baja generación de calor y la deposición de material de aporte, en forma controlada. El uso de la tecnología de punta, es muy importante para las industrias de moldes, ya que ayudan a seleccionar el proceso más adecuado en función de la disponibilidad de recursos y con un conocimiento profundo de las ventajas y limitaciones.

Los desarrollos tecnológicos en soldaduras pueden llevarse a cabo utilizando probetas, las cuales son “reparadas artificialmente”, con la finalidad de optimizar procedimientos y procesos. También se utilizan diversas técnicas de simulación de la zona afectada por el calor, esto permitiría calcular picos de temperaturas alcanzados durante la soldadura, microestructuras, etc.

La soldadura por fusión es frecuentemente utilizada para reparar superficies gastadas o agrietadas y para modificar la forma de las herramientas existentes. Sin embargo, la aplicación de esta tecnología de reparación no es simple debido a formas complejas, áreas difíciles de alcanzar, láminas finas y tamaños pequeños dentro de las tolerancias especificadas, etc. La soldadura en moldes es extremadamente exigente en lo que se refiere al conocimiento mecánico-metalúrgico y a las habilidades del soldador.

Los materiales de molde son, generalmente, aceros de alta aleación y los depósitos de soldadura deben hacerse en geometrías complejas, con espesores reducidos y pequeñas tolerancias, siendo el acceso es a menudo difícil.

La calidad requerida de la soldadura no sólo está relacionada con las propiedades mecánicas adecuadas o al comportamiento de la zona afectada por el calor (HAZ). Se requiere también que la región soldada de la superficie del molde o cavidad proporcionen una textura uniforme, tal que permita un excelente pulido de la superficie o cavidades.

En general, el uso correcto de las tecnologías de soldadura en la reparación del molde ayuda a los fabricantes a obtener soldaduras de calidad, permitiéndole implementar y difundir su uso, facilitando la reutilización del molde con significativos de ahorros de costos.

6. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Con la finalidad de estructurar el desarrollo de la investigación sobre la base de la realidad salvadoreña, fue necesario establecer relaciones de recopilación de información con la industria del plástico local. En este sentido, el acercamiento desarrollado con dichas entidades consistió en las siguientes fases:

1. **Identificación de empresas:** localización de entidades del sector del plástico en El Salvador que estuvieran interesadas en colaborar o compartir sus problemáticas y experiencias. Fue de especial relevancia que las empresas dispuestas colaborar formaran parte de la gremial ASIPLASTIC.

2. **Identificación de contactos:** una vez la empresa accedió a colaborar, fue necesario establecer relaciones con los protagonistas de las temáticas de interés al proyecto. Personal de mantenimiento y producción, tanto del área de ingeniería como técnica, fueron las personas que se buscaban.

3. **Visita a empresas:** en las cuales se llevó un instrumento para guiar la entrevista. El objetivo consistió en desarrollar las preguntas preparadas previamente mediante la interacción directa con el personal de la empresa que apoyaba con su experiencia: un miembro del proyecto era el que guiaba la entrevista, mientras que otro se encargaba de recopilar los detalles. Posteriormente toda la información se adaptaba a otra

herramienta en línea (Google Forms) con la finalidad de facilitar el manejo de la información estadística, siempre garantizando la confidencialidad de la información. Cabe destacar que para aquellas empresas en las cuales no se pudo desarrollar la entrevista de forma presencial, el instrumento de recopilación de información se les hizo llegar de forma virtual.

4. **Análisis de resultados y conclusiones:** en función de los detalles recabados en el paso anterior, se analizaron las respuestas de las empresas que colaboraron, esto con la finalidad de identificar las problemáticas más representativas del rubro en cuestión en El Salvador.

6.1. PLAN DE IMPLEMENTACIÓN

Etapa 1 “Diagnóstico técnico”

En esta etapa se recopilará toda la información requerida para las etapas posteriores del proyecto. Esto puede incluir tanto la visita a empresas y la entrevista con personal técnico como la realización de pruebas de laboratorios y otras actividades de monitorización.

ETAPA 1: DIAGNÓSTICO TÉCNICO		
Objetivo específico 1		Duración
Documentar los parámetros técnicos que se utilizarán para la creación de modelos CAD/CAM/CAE de un molde de inyección.		3 meses
Objetivos específicos	Actividades	Resultados
<ol style="list-style-type: none"> 1. Documentar con detalle el proceso de fabricación de un producto plástico fabricado por inyección en una industria específica. 2. Documentar la información financiera relacionada a la vida útil del molde y su sustitución. 3. Determinar las propiedades mecánicas y metalúrgicas del molde en uso. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Seleccionar el producto y el molde que será documentado. 2. Preparar los formularios que se utilizarán para recopilar la información. 3. Adquirir el equipo de medición requerido para obtener o verificar la geometría del molde utilizado. 4. Calibrar o verificar la calibración del equipo en los laboratorios de la Universidad Don Bosco. 5. Visitar a la empresa seleccionada para completar el formulario y obtener la información requerida. 6. Documentar, instrumentar y medir las variables de funcionamiento del molde en el proceso y los requerimientos 	<p>Informe técnico.</p> <p>El informe tendrá lo siguiente:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. La metodología utilizada durante la visita. 2. Las características generales del producto fabricado. 3. El diagrama de flujo del proceso de fabricación de la pieza. 4. La geometría y las dimensiones del molde, ya sea obtenidas por medición directa o a través de los planos de diseño. 5. Las variables de funcionamiento del molde. 6. Las propiedades mecánicas y metalúrgicas del molde analizado. 7. El precio del molde, su vida útil, las técnicas que se utilizan para alargar su vida útil si fuera el caso, el lugar de compra y el flujo de efectivo relacionado al uso del molde. 8. Los criterios para determinar la vida útil del molde y los tipos de falla de los mismos, si aplica.

ETAPA 1: DIAGNÓSTICO TÉCNICO		
Objetivo específico 1		Duración
Documentar los parámetros técnicos que se utilizarán para la creación de modelos CAD/CAM/CAE de un molde de inyección.		3 meses
Objetivos específicos	Actividades	Resultados
4. Medir las variables de funcionamiento del molde. 5. Identificar los principales modos de falla típicos de los moldes de inyección.	de calidad del producto fabricado (temperatura, presión, flujo, etc.) 7. Documentar la información técnica disponible sobre el molde (lugar de fabricación, material utilizado, hoja técnica del material utilizado, tratamiento térmico, precio del molde) 8. Determinar la dureza del molde. 9. Extraer una muestra representativa de un molde para realizar un análisis metalográfico. 10. Documentar el tipo de fallo típico de estos moldes en la empresa seleccionada	Documentos técnicos. <ol style="list-style-type: none"> Manual de calibración y verificación de equipo de medición para la fabricación de piezas metálicas. Técnicas para la medición de geometrías en moldes de inyección. Técnicas para la realización de pruebas metalográficas in situ. Técnicas de instrumentación y monitoreo de las variables de funcionamiento de moldes para inyección. Capacitaciones para la industria. <ol style="list-style-type: none"> Curso técnico sobre la calibración, manejo y cuidado de equipo de metrología. Curso técnico sobre lectura e interpretación de planos de diseño y planos de taller. Curso técnico sobre técnicas de análisis de falla en componentes mecánicos. Curso técnico sobre pruebas no destructivas. Curso técnico sobre determinación de dureza y pruebas metalográficas.

Etapa 2 “Propuesta, diseño y validación de la reparación de un molde usado”

Se ha considerado que puede tener impacto en los métodos usados actualmente por la industria es el planteamiento de la estrategia para la problemática de la reparación. En la actualidad la reparación de moldes de inyección es una realidad del día a día en todas las empresas de conformado de plásticos, sin embargo se ha adquirido poca capacidad técnica en su realización. Esta etapa del proyecto pretende desarrollar dicha capacidad técnica a partir la definición y medición de las variables metalúrgicas y del proceso de inyección causantes de fallas en el mismo, así como el desarrollo de una metodología que las alivie de mejor manera, partiendo de los métodos ya utilizados, pero apoyándose en la ingeniería asociada a estas problemáticas.

ETAPA 2: PROPUESTA, DISEÑO Y VALIDACIÓN DE LA REPARACIÓN DE UN MOLDE USADO		
Objetivo específico 2 Analizar, proponer y validar un método de reparación por soldadura de moldes para la industria del plástico que permita extender la vida útil los mismos.		Duración 3 meses
Objetivos específicos	Actividades	Resultados
1. Documentar, proponer, implementar y validar una técnica de reparación de moldes adecuada y viable para las necesidades de la industria	<ol style="list-style-type: none"> 1. Investigación bibliográfica y de mercado para identificar las alternativas de reparación 2. Elaboración de una propuesta de reparación para un tipo de falla en particular. 3. Implementación de la técnica de reparación propuesta en un molde dañado. 4. Prueba y validación de la reparación del molde 	<p>Informe técnico.</p> <p>El informe tendrá lo siguiente:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Los resultados de la investigación bibliográfica. 2. La propuesta de reparación. 3. La descripción de la reparación que se implemente. 4. Los resultados de la prueba de validación. <p>Capacitaciones para la industria.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Técnicas de reparación de moldes por medio de soldadura MIG

Etapa 3 “Modelado y simulación”

Partiendo de los resultados del Diagnóstico se continuará con un proceso que puede denominarse de Ingeniería Inversa. El modelo correspondiente al molde real obtenido se simulará bajo las condiciones adecuadas para verificar que el comportamiento descrito por el software corresponde con la realidad.

ETAPA 3: MODELADO Y SIMULACIÓN		
Objetivo específico 3 Utilizar software comercial para modelar y simular el funcionamiento del molde de inyección de plástico.		Duración 6 meses
Objetivos específicos	Actividades	Resultados
1. Dominar el uso de software de elementos finitos para simular el comportamiento del molde, validando los resultados comparándolos con las variables de funcionamiento determinadas experimentalmente.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Construir el modelo 3D del molde. 2. Simular el comportamiento mecánico del modelo 3D utilizando Autodesk Inventor. 3. Comparar los resultados de la simulación con los resultados experimentales y calibrar el modelo. 4. Simular el proceso de inyección de plástico 	<p>Informe técnico</p> <p>El informe tendrá lo siguiente:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. La descripción general sobre la construcción del modelo 3D. 2. La valoración del uso de Autodesk Moldflow para la simulación de procesos de inyección de plástico. 3. El análisis de la calibración de los modelos. <p>Documentos técnicos</p>

ETAPA 3: MODELADO Y SIMULACIÓN		
Objetivo específico 3 Utilizar software comercial para modelar y simular el funcionamiento del molde de inyección de plástico.		Duración 6 meses
Objetivos específicos	Actividades	Resultados
2. Dominar el uso del software Autodesk Moldflow para simular procesos de inyección de plástico.	<ul style="list-style-type: none"> utilizando Autodesk Moldflow. 5. Comparar los resultados de la simulación con lo observado en el proceso. 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Tutorial para la construcción del modelo del molde utilizando Autodesk Inventor. 2. Tutorial para la utilización del software Autodesk Moldflow en el proceso de inyección. 3. Tutorial sobre la técnica de elementos finitos para la simulación de moldes de inyección. <p>Capacitaciones para la industria</p> <ul style="list-style-type: none"> 1. Uso de Autodesk Inventor para la creación de piezas mecánicas y sus planos de taller. 2. Uso del software Moldflow para la simulación de procesos de inyección de plástico. 3. Técnicas de instrumentación de procesos industriales.

Etapa 4 “Diseño y validación del molde para un producto nuevo”

La experiencia adquirida en la simulación para un producto existente y los procesos de formación de las etapas anteriores permitirán que se tengan las bases para modelar, simular y fabricar un molde para un producto nuevo.

ETAPA 4: DISEÑO Y VALIDACIÓN DEL MOLDE DE INYECCIÓN PARA UN PRODUCTO NUEVO		
Objetivo específico 4 Diseñar, construir y validar el funcionamiento del molde para fabricar un producto nuevo.		Duración 3 meses
Objetivos específicos	Actividades	Resultados
<ul style="list-style-type: none"> 1. Diseñar el molde para fabricar un producto nuevo propuesto por la industria. 2. Validar el funcionamiento teórico del molde y del proceso de inyección por 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Definir, en conjunto con la industria, un producto nuevo a ser fabricado por inyección de plástico. 2. Diseñar el molde para el producto deseado. 3. Elaborar el modelo del molde y del producto utilizando Autodesk Inventor. 	<p>Informe técnico.</p> <p>El informe tendrá lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1. El proceso de selección del producto a fabricar. 2. El proceso de diseño del molde. 3. La descripción y los resultados de la simulación. 4. La descripción del proceso de fabricación. <ul style="list-style-type: none"> a. Selección del material b. Selección de la herramienta c. Selección de la estrategia de mecanizado

ETAPA 4: DISEÑO Y VALIDACIÓN DEL MOLDE DE INYECCIÓN PARA UN PRODUCTO NUEVO		
Objetivo específico 4 Diseñar, construir y validar el funcionamiento del molde para fabricar un producto nuevo.		Duración 3 meses
Objetivos específicos	Actividades	Resultados
medio de simulación. 3. Fabricar y probar el funcionamiento del molde diseñado.	4. Verificar el funcionamiento teórico del molde y del proceso de inyección por medio de simulación. 5. Generar los planos de diseño y los planos de taller del molde. 6. Fabricar el molde en los talleres del ITCA. 7. Instalar el molde en la empresa, instrumentarlo y validar su funcionamiento	d. Selección de los parámetros de corte e. Programación del CNC a través del software CAM 5. Los resultados del funcionamiento del molde. Documentos técnicos 1. Uso de la simulación por elementos finitos para el diseño de moldes de inyección. 2. Planos de diseño y de taller del molde a ser fabricado 3. Planos de diseño y planos de taller del molde propuesto.

Etapa 5 “Propuesta de un modelo de negocios para el diseño, fabricación y reparación de moldes en el país”

Uno de los propósitos más importantes del proyecto es que quede demostrada la forma en que los proyectos de investigación aportan a la empresa. Es por esto que se ha considerado imprescindible incluir una etapa exclusivamente para hacer esta valoración. Está demostrado que la investigación aporta a la productividad y la rentabilidad por lo que esta fase permitiría visualizar las condiciones bajo las cuales es posible tener estas ventajas.

ETAPA 5: Propuesta de un modelo de negocios para el diseño, fabricación y reparación de moldes en el país		
Objetivo específico 5 Determinar la factibilidad económica para diseñar, fabricar y reparar moldes.		Duración 3 meses
Objetivos específicos	Actividades	Resultados
1. Determinar el modelo de negocios que permita fabricar moldes para inyección de plástico con las empresas locales	1. Determinar el flujo de operaciones requeridas para fabricar moldes nuevos en el país. 2. Determinar el flujo de operaciones requeridas para reparar moldes dañados en el país.	Informe técnico y financiero: El informe tendrá lo siguiente: 1. El diagrama de proceso tanto para la fabricación de un molde nuevo como la reparación de moldes deteriorados. 2. Los flujos de efectivo de ambos procesos.

ETAPA 5: Propuesta de un modelo de negocios para el diseño, fabricación y reparación de moldes en el país		
Objetivo específico 5		Duración
Determinar la factibilidad económica para diseñar, fabricar y reparar moldes.		3 meses
Objetivos específicos	Actividades	Resultados
	3. Determinar el flujo de efectivo para la fabricación de moldes nuevos (inversión requerida, recursos necesarios, precios de venta, rentabilidad) 4. Determinar el flujo de efectivo para la reparación de moldes deteriorados (inversión requerida, recursos necesarios, precios de venta, rentabilidad)	3. El análisis de retorno de la inversión para ambos procesos. 4. Conclusiones.

7. RESULTADOS

7.1. ESTUDIO DE CAMPO

Después de hacer las gestiones correspondientes se ha tenido accesos 3 empresas para poder completar el cuestionario. Las visitas hechas para realizar la entrevista fueron las que la gremial del sector de plásticos facilitó. Por otra parte, los investigadores han estado en contacto con alrededor de 7 empresas del sector, incluidas las anteriores. Los contactos mencionados no necesariamente han sido dentro del desarrollo del proyecto; sin embargo, permiten a los investigadores proponer algunas ideas en torno a la interpretación de los datos recopilados.

7.2. DISEÑO DEL MOLDE

El principal objetivo del proyecto, y que le daría validez al mismo, era desarrollar una metodología que permitiera diseñar y fabricar un molde de inyección de plástico, de manera eficiente, a bajo costo, y replicable. En ese sentido, la actividad medular del proyecto, fue el diseño y fabricación de un molde funcional, que serviría para ser introducido en los procesos de inyección de una empresa del sector.

Se contó con la colaboración estratégica de la empresa IBERPLASTIC, quienes colaboraron poniendo a disposición sus instalaciones y toda la información referente a sus procesos productivos.

Como resultado se diseñó por completo un molde funcional, cumpliendo con los requisitos de: funcionalidad, economía, productividad, eficiencia y durabilidad.

7.3. FABRICACIÓN DEL MOLDE

Una vez cumplida y validada la etapa de diseño, se prosiguió a la etapa de fabricación del molde.

Esta fue una de las etapas más complejas y trabajosas de todo el proyecto, ya que, por su naturaleza, la fabricación de cada una de las piezas es muy delicada y además los materiales que se utilizaron, aumentaron aún más la complejidad de fabricación, ya que por tratarse de materiales especiales, también se debieron trabajar con herramientas especiales. Como principal resultado de esta etapa, se obtuvo el molde completo que sería montado en una de las máquinas de la empresa. Adicionalmente, se desarrolló una metodología de fabricación que se detalla a continuación:

Existen empresas que tienen la capacidad de fabricar sus propios moldes y otras que los compran de proveedores locales o internacionales; también hay algunas que para proveerse de moldes acuden a las dos alternativas anteriores.

Los materiales con los que están hechos los moldes pueden ser de diversos, un mismo molde puede incorporar uno. Las categorías de materiales usados son aceros al carbono y aceros herramientas. Aunque también pueden elaborarse inserto u otros elementos que están hechos de aleaciones no férricas (por ejemplo, cobre-berilio) e incluso materiales poliméricos. El uso de estos materiales no férricos se da en diferentes partes de moldes: sistema de refrigeración, canales calientes, pasadores, guías, entre otros.

No se tiene conocimiento del uso de algún tratamiento térmico en la fabricación de moldes dentro de las empresas que fabrican moldes. Sin embargo, se ha hablado de procedimientos como el nitrurado y otros que permiten lograr características mecánicas o de acabado especiales en la superficie del molde.

Como limitaciones a la fabricación se han señalado la falta de capacidades en el equipo con el que se cuenta y que falta conocimiento para el diseño de moldes. De estas dos problemáticas las personas consultadas consideran más relevante la primera que implica el contar con mejores capacidades para realizar el maquinado.

En cuanto al uso de planos para la fabricación se echa de menos la aplicación de normas y una mejor comunicación de aspectos no dimensionales a través del plano. Entre los aspectos no dimensionales que podrían enriquecer la elaboración de planos se encuentran los materiales y procesos de construcción. Los argumentos que se utilizan para que los moldes sean importados se refieren a la falta de procesos especializados para su fabricación y a la falta de equipos.

Proceso de mecanizado de piezas

El proceso de fabricación de un molde es por demás, complejo, por lo tanto, debe ser desarrollado de manera metódica, siguiendo un procedimiento bien definido, en el que se detallen todos los pasos que deben seguirse para fabricar cada parte, de tal manera que el método se estandarice y de esa manera se simplifique, consiguiendo así, la optimización de los costos de fabricación.

A continuación, se detalla el proceso de fabricación de una pieza, para el caso, la placa de soporte fija, la cual sirve como base para todo el molde, esta es la que se monta directamente sobre la bancada fija de la maquina inyectora, y en ella se aloja el aro centrador y la boquilla de inyección. La descripción de este proceso de fabricación tiene como objetivo brindar la información necesaria que permita establecer un método de fabricación óptimo y económico, que pueda servir como referencia para futuros diseños.

ETAPA 1: Diseño.

El proceso comienza por la etapa de diseño, hay que dejar en claro que el diseño de cada pieza, si bien es individual, no debe tratarse como piezas aisladas si no como un todo, ya que cada pieza debe encajar con otro número de piezas más y estas a su vez con otras, formando así un conjunto ensamblado, el cual, por la naturaleza del proceso de inyección, debe separarse y unirse constantemente.

Por esta razón el proceso de diseño debe realizarse utilizando un software que permita manipular las piezas de manera individual y al mismo tiempo en conjunto, para tales fines existen diversos programas disponibles tales como: Solidworks, Inventor, Solidedge, Rhino, 3D max, etc.

Nosotros decidimos iniciar el diseño utilizando el software de Autodesk, Inventor (fig.1), debido a que ellos brindan la facilidad de descargar gratuitamente versiones educativas de sus paquetes.

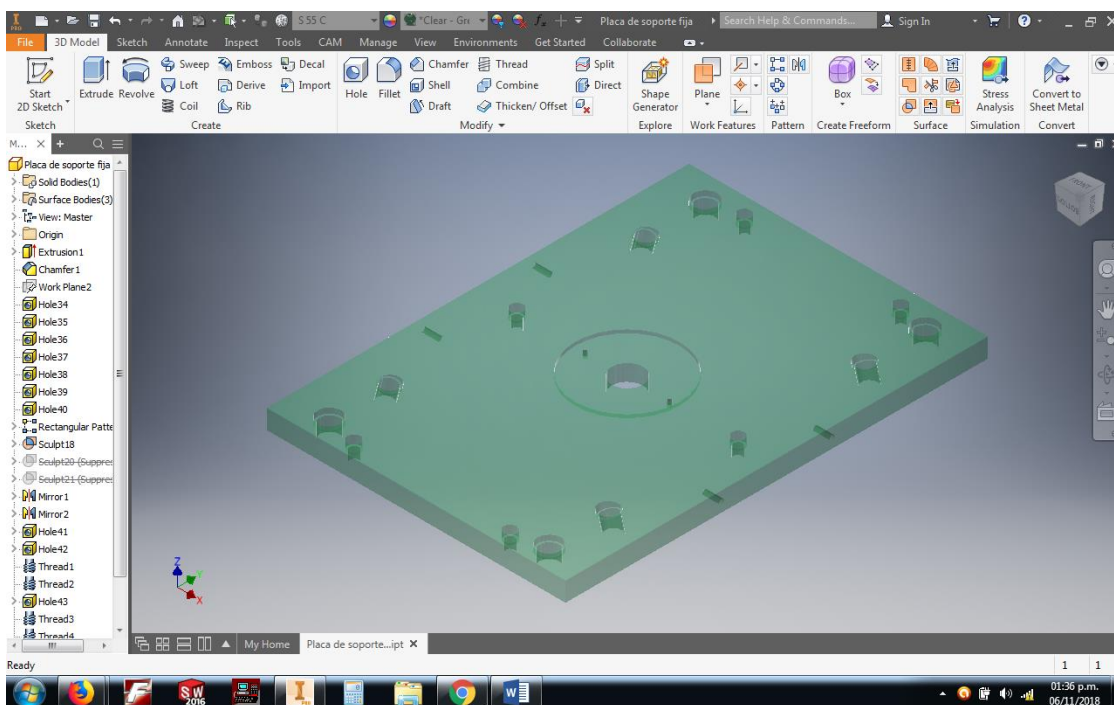


Fig. 1. Diseño de las piezas.

Cabe recalcar la importancia de esta etapa, ya que del diseño inicial dependerán los ajustes posteriores que deban hacerse y el buen funcionamiento de todas las partes. La ventaja de este tipo de softwares, es que permiten hacer análisis que muestran si las piezas tienen las dimensiones adecuadas para soportar las cargas a las que se someterán, además permite corroborar si todos los elementos que se ensamblan están alineados adecuadamente.

ETAPA II: Planos.

Una vez realizado el diseño y comprobado sus dimensiones se procede a obtener el plano de fabricación (fig. 2), en este se detallan, utilizando normas de dibujo técnico, todas las dimensiones que sean necesarias para

poder definir adecuadamente la geometría de la pieza. Este es el insumo base para la siguiente etapa que es la fabricación, el plano representa un mapa y este se consulta constantemente durante toda la etapa de fabricación, para poder corroborar que la pieza está quedando acorde al diseño original, y que todas las partes sean mecanizadas tal cual fueron concebidas inicialmente.

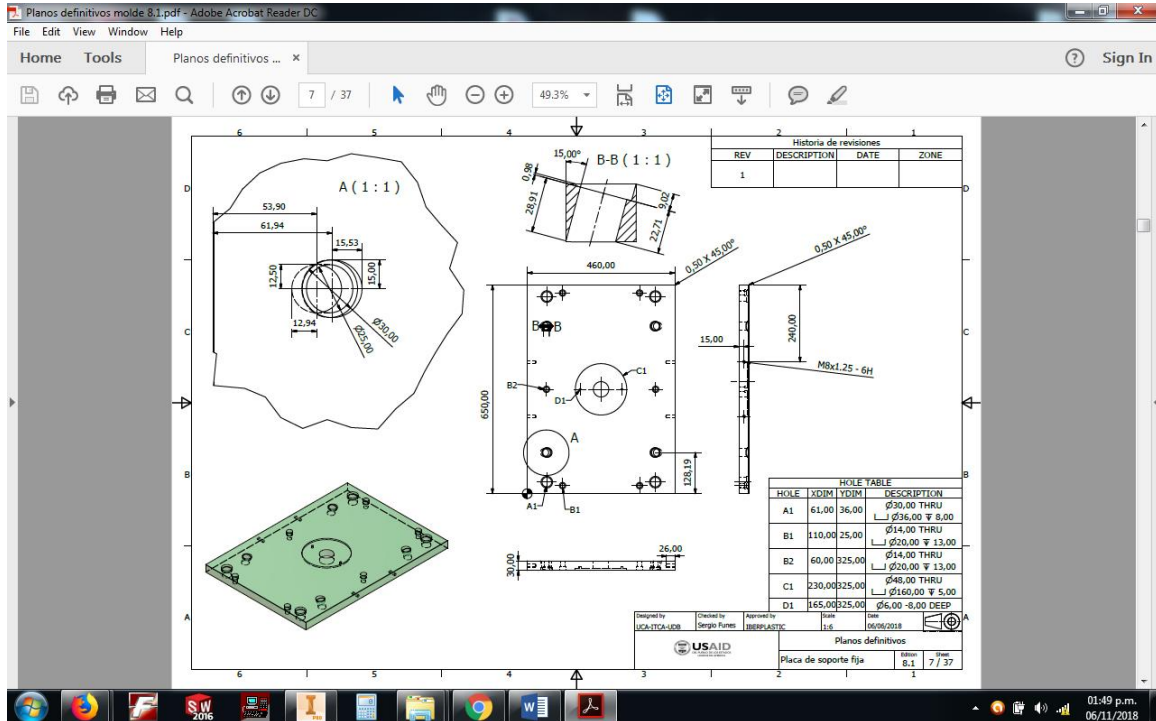


Fig. 2. Plano de fabricación.

ETAPA 3: Fabricación.

La tercera etapa, la fabricación, se divide en tres sub etapas, el diseño de las estrategias de mecanizado, el montaje y la fabricación como tal, a continuación, se detallan cada una de ellas.

Etapa 3.1: diseño de estrategias de mecanizado.

Una vez obtenido el modelo solido de la pieza, este se exporta hacia un software especializado de CAD CAM, al igual que los softwares de diseño, los softwares de CAD CAM son muchos. Para el proyecto se utilizó el software POWER MILL de Delcam, este fue adquirido como parte del convenio, se optó por utilizar este debido a que es uno de los más versátiles y cuenta con soporte técnico local, lo cual es muy beneficioso para aclarar dudas que puedan surgir.

Lo primero que debe definirse es la estrategia que se utilizara para mecanizar las diferentes partes de las piezas, una misma parte, como un agujero (Fig. 3), puede ser mecanizada de diferentes formas, todo dependerá de las herramientas que se tengan disponibles. En este punto hay que hacer énfasis en la importancia de dotar al software con la información real de las herramientas con las que contamos, los programas CAD CAM traen una librería pre definida que puede ser muy útil, sin embargo, los datos reales de

las herramientas no siempre coinciden con los del software, por esta razón debemos modificar o agregar en la librería las herramientas propias que se utilizaran en el proceso. Una vez hecho esto, entonces procedemos a crear las rutas de mecanizado de las herramientas (fig. 4), las cuales son creadas automáticamente en base a las estrategias que definimos y a los datos de las herramientas que introducimos. Posteriormente se realiza una simulación de mecanizado (fig. 5), esta ayudara a verificar que no existan colisiones y que el resultado de los procesos de mecanizado sea satisfactorio. Por último, una vez hecha la simulación y verificado que todo el proceso es adecuado, se procede a obtener el código (fig. 6) que se exportara a la máquina para mecanizar la pieza.

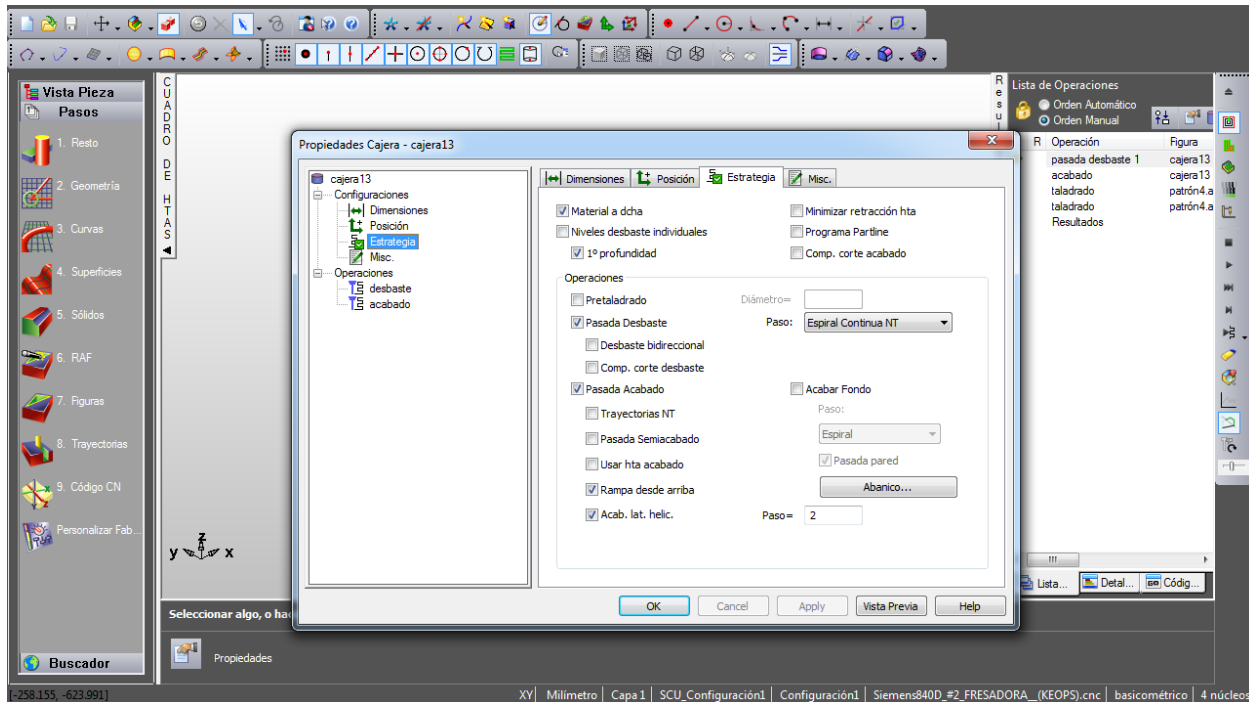


Fig. 3 Diseño de estrategia de mecanizado

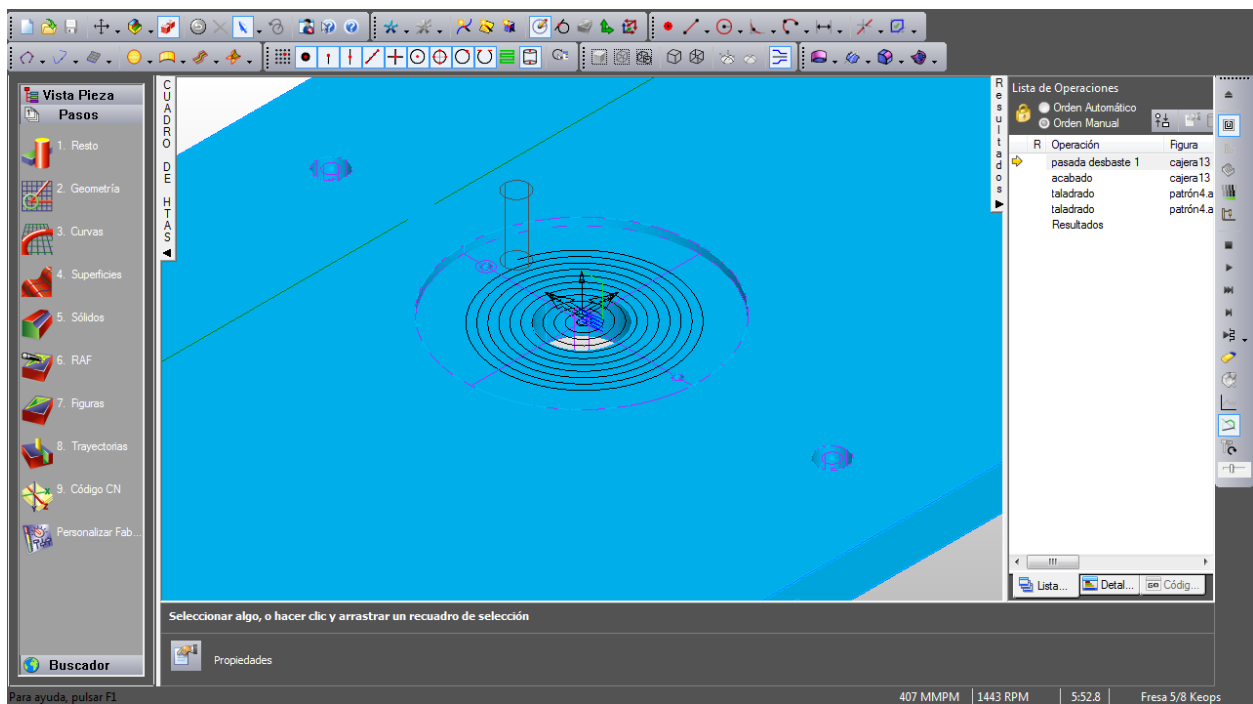


Fig. 4. Definición de las rutas de mecanizado.

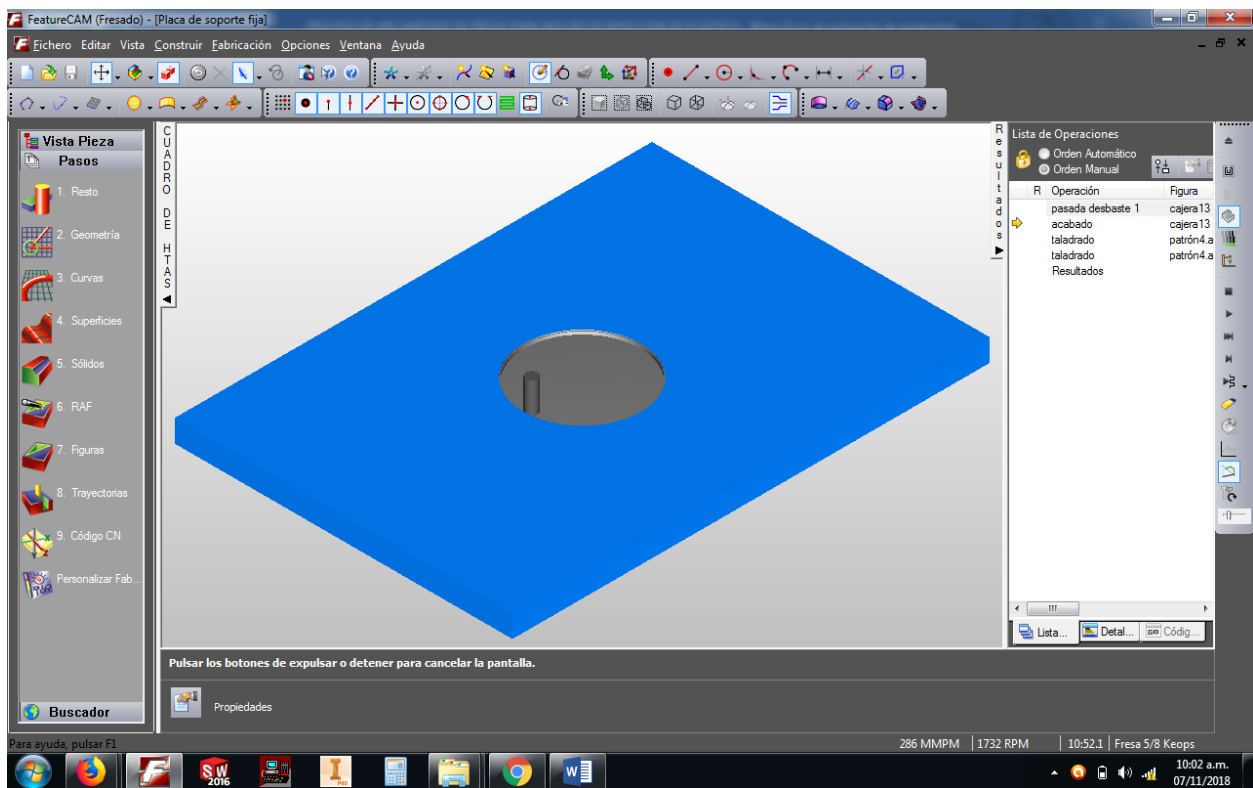


Fig. 5. Simulación de mecanizado.

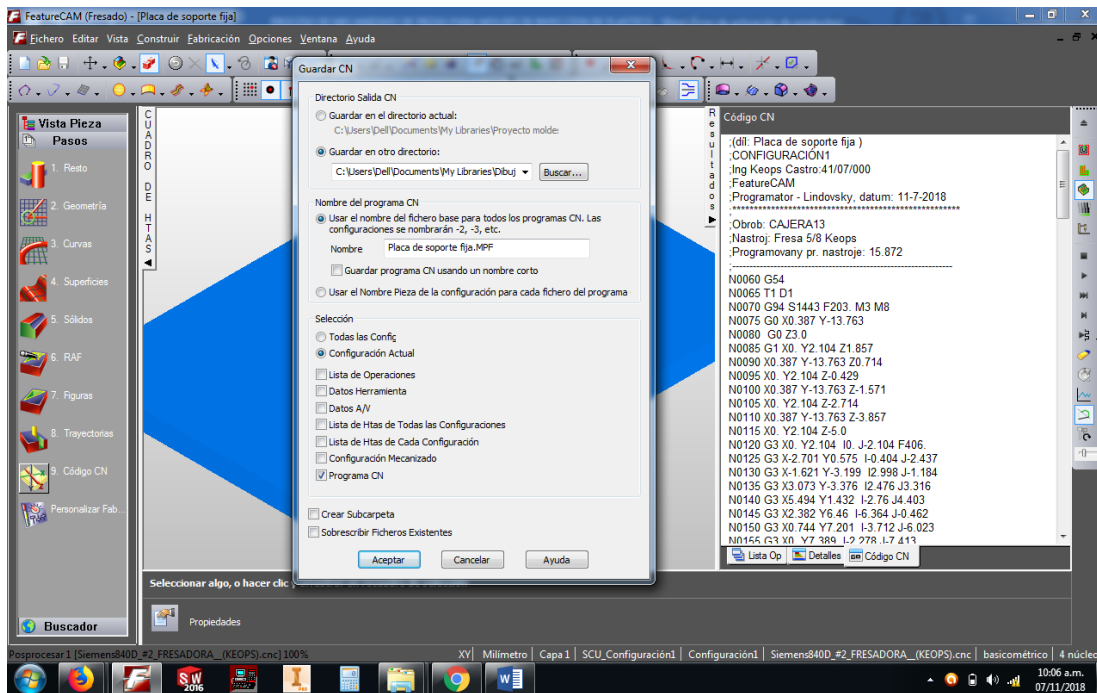


Fig 6. Obtención del código de máquina.

Etapa 3.2: Montaje.

La etapa de montaje es crucial en el proceso, y es quizás, la que mayor tiempo requiere, sobre todo cuando las dimensiones de las piezas son grandes, como en nuestro caso, el montaje se complica más. Para realizar el montaje de las placas más grandes, se recurrió al uso de placas auxiliares (fig. 7) sobre las cuales se empernarón las placas principales.



Fig. 7. Placas auxiliares para montaje

Estas placas nos dan la posibilidad de sujetar las piezas grandes mediante pernos, dejando la superficie de trabajo libre, de esta manera se puede trabajar sin riesgo de colisiones. Estas placas auxiliares se montan sobre la mesa por medio de las guías que esta trae, luego sobre ellas se empernan las placas principales (Fig. 8). Esta técnica de montaje resulta muy efectiva, sin embargo, lleva un buen tiempo realizarla correctamente, ya que las placas deben quedar perfectamente alineadas para evitar desajustes en las piezas, además, requiere que las placas principales se perforen previamente, para poder introducir los pernos de sujeción con los cuales se montaran, por esta razón solamente se sugiere utilizar este método cuando las piezas a trabajar son demasiado grandes para utilizar otro medio como prensa o bridas.

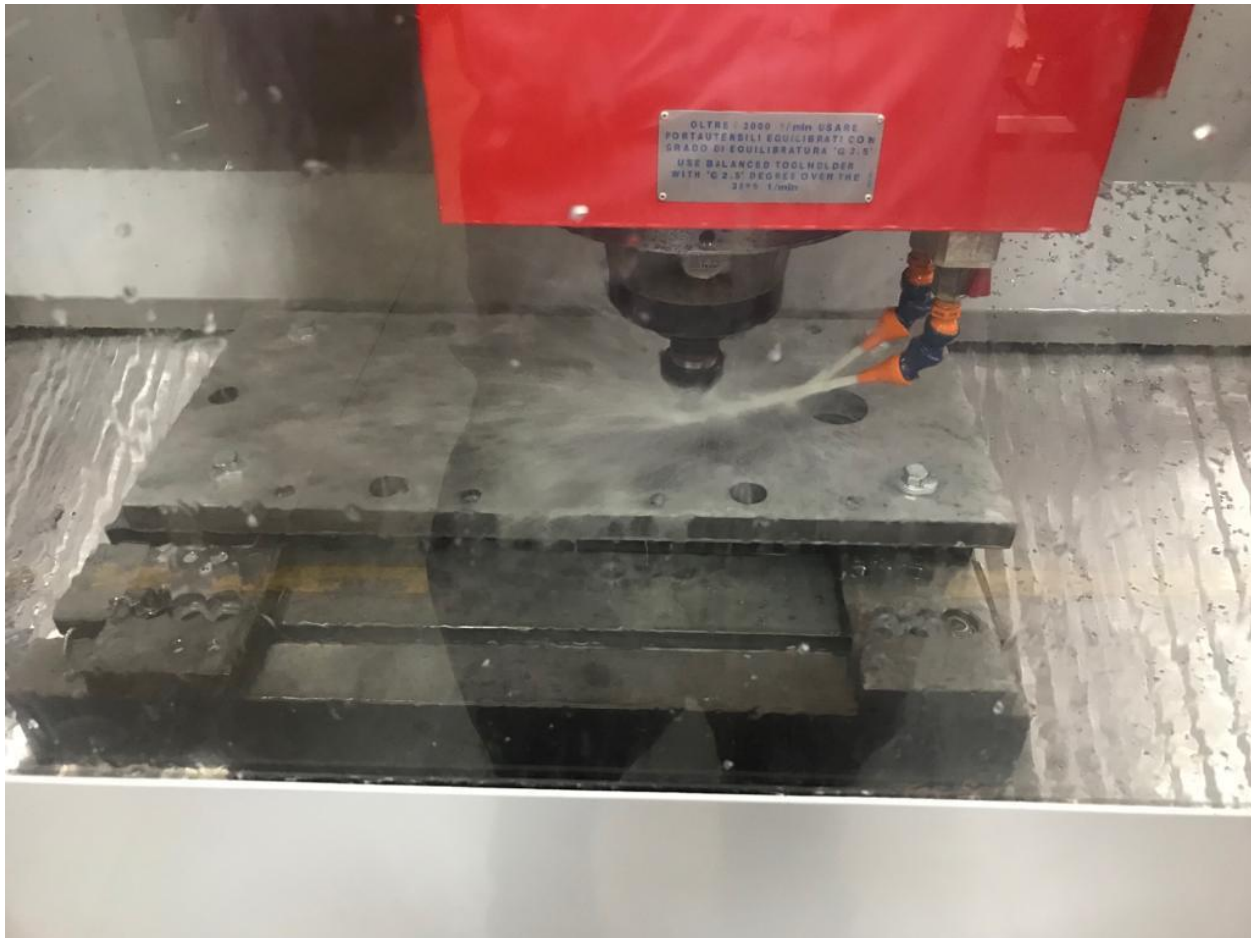


Fig. 8 Montaje de placas.

Etapa 3.3: mecanizado.

Una vez las piezas han sido montadas y alineadas por medio de un comparador de caratula, entonces se procede al mecanizado de las mismas, el tiempo que demore esta última fase dependerá solamente de las estrategias diseñadas en la primera sub etapa, aunque se debe buscar optimizar el tiempo, tenemos que tener en cuenta que las herramientas tienen limitantes en cuanto a velocidades de corte, penetración, y avances.

En esta fase la maquina trabaja en automático, la única intervención del operario será en caso de exista alguna anomalía, ya sea, colisiones, herramientas quebradas, piezas que se aflojan o sueltan, etc. De no existir nada fuera de lo normal o inesperado, la maquina continuara trabajando hasta obtener la pieza completamente mecanizada, esta se desmonta y se procede luego a quitar filos y rebabas que puedan haber quedado después del proceso (Fig. 9).

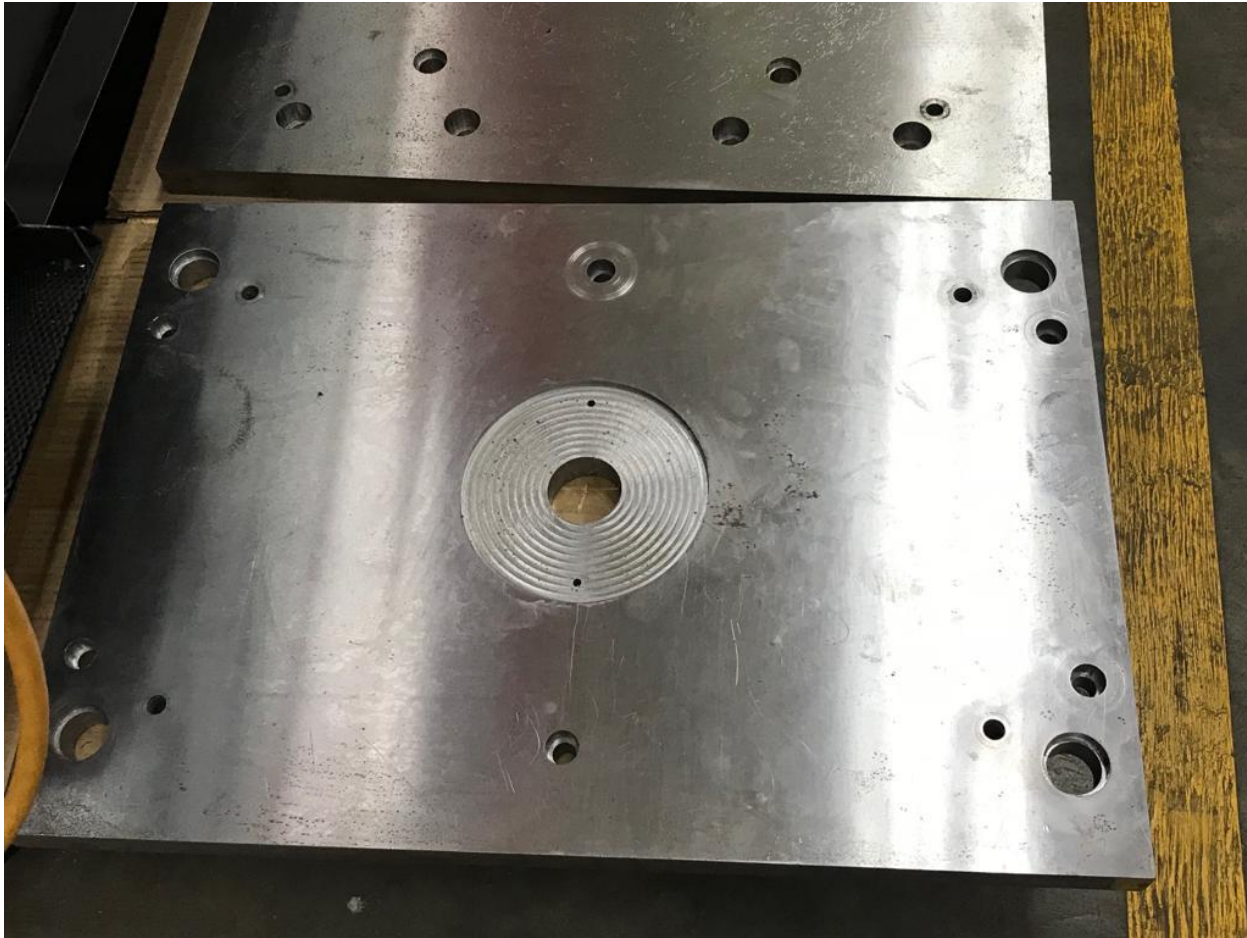


Fig. 9. Placas ya mecanizadas y listas.

ETAPA 4: Control de calidad.

Una vez finalizadas las piezas mecanizadas, se procede a realizar el control de calidad, este consiste en medir cada una de las partes de la pieza que han sido mecanizadas y compararlas con las medidas nominales, así se determina si las medidas están dentro o fuera de tolerancia, esta tarea se facilita con el uso de un brazo de medición 3D, el cual está hecho con esa finalidad, esta máquina nos permite medir cada parte y compara automáticamente dicha medición con los valores que nosotros le indiquemos. Para realizar el control de calidad utilizamos el brazo FARO Gage (Fig. 10) y además utilizamos el software POWER inspect (fig. 11), el cual fue adquirido como parte del convenio. Este software es muy versátil y permite una gran cantidad de aplicaciones, tales como: medición con CAD, medición simple, generación de reportes, escaneo 3D, etc. En nuestro caso utilizamos la función de medición simple que genera un reporte automáticamente (Fig. 12), ya que únicamente queríamos corroborar las medidas obtenidas



Fig. 10. Brazo de medición 3D FARO Gage.

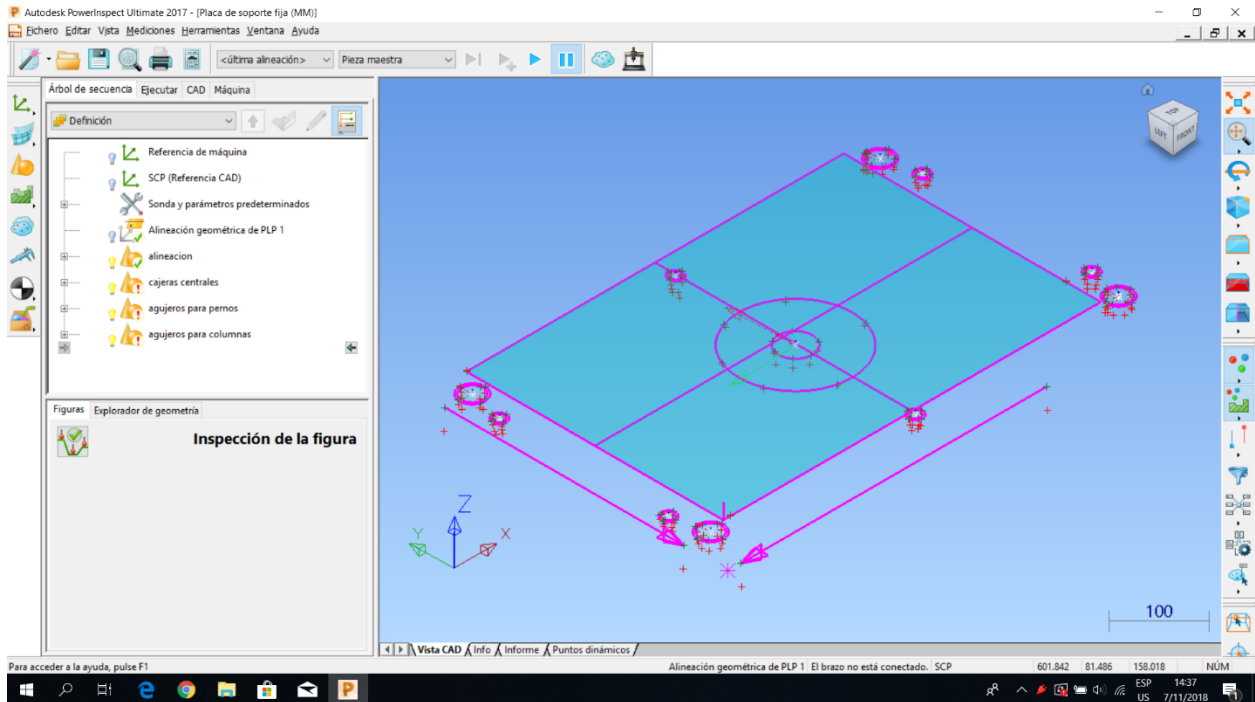


Fig. 11. Software PowerInspect.

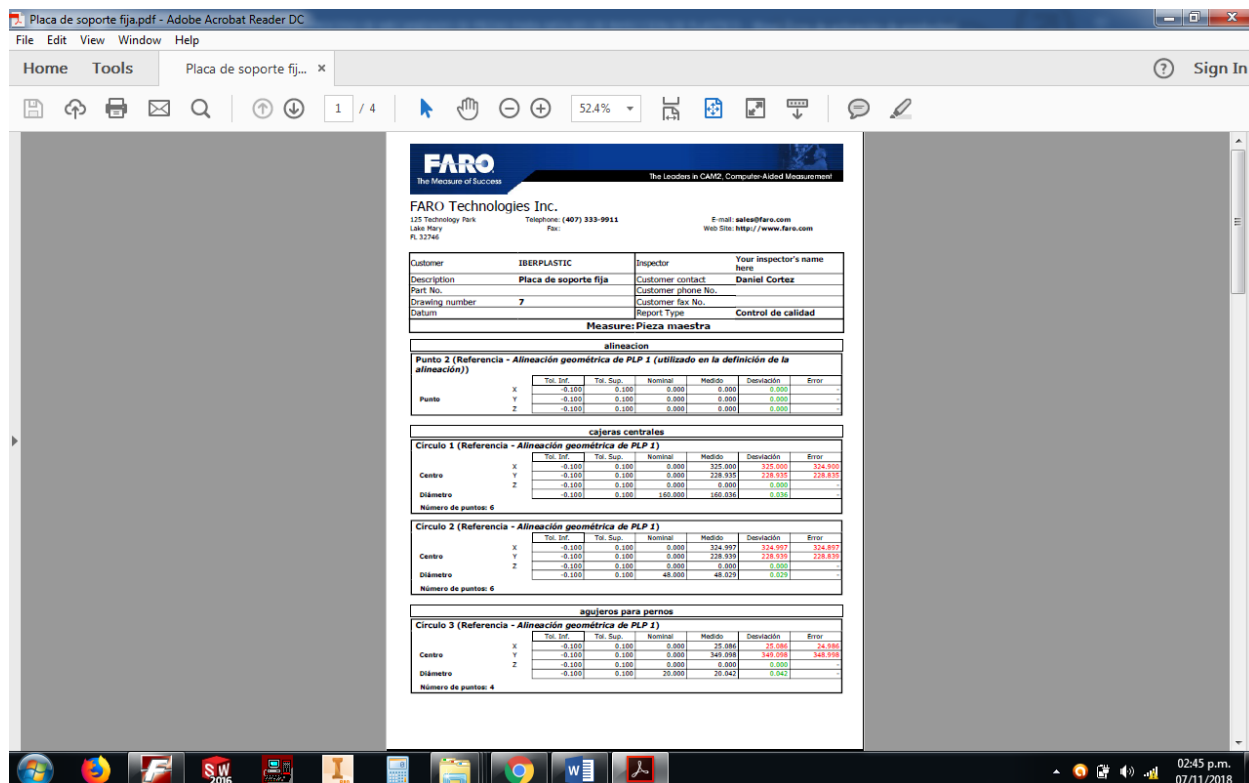


Fig. 12. Reporte de medidas generado por Software PowerInspect.

7.4. PROCESO DE INYECCIÓN

El análisis del proceso de inyección por parte de las personas entrevistadas permite definir áreas donde es posible hacer mejoras. En primer lugar se coloca la ejecución de la configuración inicial del proceso. A continuación en importancia se encuentra la adquisición de la materia prima y su control de calidad, el diseño y la fabricación del molde y el mantenimiento. En último lugar se ubicaría, la falta de materiales en el país.

La configuración inicial del proceso se hace con base en las recomendaciones del fabricante del equipo, el proveedor del polímero, la experiencia previa y los requisitos del cliente. La configuración estaría adecuadamente hecha cuando el producto resultante alcanza cierto nivel de calidad establecido.

No todas las empresas consideran que haya pérdidas importantes a raíz de la configuración de inicio. Sin embargo, principalmente se observaría un impacto en el desperdicio de material y en el tiempo que se requiere que invierta el personal.

Durante la ejecución del proceso se da seguimiento a variables como la temperatura, presión, temperatura ambiente y velocidades de inyección. La información recopilada se utiliza para controlar la calidad del producto, corregir ajustes por variaciones en la calidad de la materia prima y ajustar tiempos de ciclo, entre otros. Se ha observado que esta monitorización de variables está basada en los medidores de diferente que las máquinas poseen. Adicional a las mencionadas se considera deseable tener medios para monitorizar, por ejemplo, la temperatura del molde, la temperatura de enfriamiento y la velocidad de llenado.

Las pruebas de calidad a las que se someten son diversas y pueden incluir la revisión del acabado, la revisión de dimensiones y pruebas de desempeño. Esta evaluación de calidad puede ser bajo una norma internacional o por cierta especificación propia o del cliente. El uso de normas se percibe como una necesidad y un deber ser para la empresa, esto aunque no se haga uso de ellas.

7.5. REPARACIÓN

Se ha encontrado que la reparación es una actividad común en las empresas consultadas y es crítico cuando se habla de reparar específicamente el molde. Se determina que un molde requiere una reparación cuando se observan defectos superficiales; también se da el caso cuando se repara después de una inspección rutinaria ya sea por el operario o por el personal de mantenimiento. Puede darse el caso que se da seguimiento a un conjunto de síntomas de falla que se manifiestan de manera progresiva.

Una vez que se ha identificado una falla en el molde se procede a evaluar la gravedad de la falla y, en caso de moldes importados, consultar al proveedor. Se evalúa si se cuenta con los insumos necesarios para realizar la reparación y/o se hace un análisis económico para valorar si la reparación se hace a nivel interno o se subcontrata el servicio. Una solución inmediata puede ser la sustitución del molde por otro, de tal manera no se detenga la producción.

Habitualmente la reparación del molde puede incluir algunas de las siguientes operaciones: pulido, rectificado, soldadura, elaboración de insertos, re-maquinado y alineación de sujetadores. La selección de la operación se hará de acuerdo al tipo de daño observado. En el caso del pulido, este puede incluir el uso de lijas, piedras abrasivas, abrasivo en polvo y otros elementos.

Para las operaciones de reparación que se llevan a cabo sobre la cavidad es sumamente importante volver a lograr un buen acabado; sin embargo, no se ha identificado que se efectúen mediciones de rugosidad en las empresas consultadas. La solución habitual para evaluar la calidad de la reparación incluye la medición de dimensiones, la evaluación visual y la observación del producto que se genera una vez finalizada la reparación.

Cuando se hace uso de soldadura se usa principalmente soldadura SMAW aunque también puede utilizarse soldadura GMAW, específicamente TIG. Se sabe que un proceso de soldadura podría requerir calentar la pieza antes y después de la soldadura; en el medio se ha encontrado que hay casos donde no se calienta la pieza y otros donde únicamente se pre-calienta. El precalentamiento, cuando se hace, es mediante una flama aplicada a la pieza que se soldará. Por lo general el procedimiento de soldadura se lleva a cabo a temperatura ambiente.

Los entrevistados reconocen la necesidad de expandir su conocimiento en análisis de fallas, pruebas no destructivas de diferente tipo, medición de dureza y pruebas metalográficas. Esta valoración parte de las fallas más comunes que han observado cuando un molde se encuentra en operación. Debe señalarse que las personas entrevistadas manifiestan que ya se realizan pruebas de dureza en sus instalaciones por medio de diferentes instrumentos.

Al igual que sucede con las operaciones de configuración inicial, el impacto de una reparación no determinada a tiempo afectaría primeramente en la generación de material desperdiciado y en el uso de personal en tareas no programadas. Se estima que un paro por falla de molde podría ir desde un par de horas hasta más de un

día, y la reparación podría demorar esto o más tiempo, dependiendo del daño. Una falla no identificada oportunamente también podría reducir la vida útil del equipo y generar pérdida de clientes.

Se ha considerado oportuno también realizar algunas consultas respecto a características específicas de los moldes. Estas características permiten formar una mejor panorámica del reto que supone la reparación de moldes en el país. Los aspectos que se han contemplado son los siguientes:

Peso del molde: este es variable y puede desde 200 libras hasta más de una tonelada. Este parámetro es importante puesto que pone evidencia las dificultades de manejo que pudieran tenerse en un proceso de reparación.

Recubrimiento: se puede utilizar algún recubrimiento en la superficie del molde aunque también hay casos donde no se aplican. Las implicaciones de la existencia de recubrimientos están relacionadas con la factibilidad de la implementación de una reparación. Además, hay que tener en cuenta que pueden ser un costo importante para la fabricación del molde, una estimación recibida fue del 5% del costo del molde. Las durezas que se pretenden alcanzar con este tipo de tratamiento estarían por encima de 35 HRC.

Vida útil: La vida útil de los moldes es también variable pero se esperaría tenerlo en uso más allá de los 250 mil ciclos. La forma de desgaste que se observa en el molde durante la vida del molde es principalmente por erosión. Según se ha averiguado, la vida útil deseada es el punto de partida que determina muchas decisiones en torno al diseño del molde. Reparaciones y adaptaciones se llevan a cabo en el molde para prolongar su vida útil.

Mantenimiento: En algunos casos se cuenta con un programa de mantenimiento preventivo aunque principalmente se hace de manera correctiva; en algún se mencionó el uso del mantenimiento predictivo. El personal tiene conocimiento del valor que representa un molde y, por lo tanto, cuentan con las herramientas apropiadas para realizar las labores de mantenimiento.

ETAPA 1: Evaluar alternativas de reparación

Primero que nada, es necesario valorar si la soldadura es la mejor opción de reparación de acuerdo a la falla presentada. Rayones, fisuras o grietas son los defectos que usualmente pueden ser solventados con este método, no sin una previa inspección de la zona afectada.

Dada las diversas formas que puede tomar un rayón, grieta o defecto, se sugiere utilizar un método de soldadura sobre el cual se tenga un control completo y una vista adecuada de la zona a intervenir. Por lo tanto, se sugiere implementar soldadura TIG, ya que si bien es cierto el proceso requiere mayor destreza por parte del soldador, se tiene control total de la intervención a realizar. No se recomienda MIG dado que su principal aplicación es para procesos en serie (lo cual entra en conflicto con la naturaleza variables de las fallas consideradas), ni tampoco se recomienda soldadura con electrodo revestido, debido a que la calidad es inferior al no contar con atmósfera protectora, agravado esto por la formación de escoria.

ETAPA 2: Definir el material de aporte a partir de las características del material

Una vez la soldadura haya sido identificada como método de resolución, es necesario tener claro cuál es el material principal que conforma a la zona sobre la cual se pretende desarrollar la soldadura. Esto con la finalidad de conseguir un material de aporte que sea lo más cercano posible en cuanto a su composición

química, sino que el mismo que el material base. Esto se sugiere con miras a que, una vez la soldadura haya sido desarrollada y se lleve a cabo el pulido, tanto el material de aporte como el material base tengan la misma tonalidad y así se afecte lo menos posible el color de la pieza inyectada, y por lo tanto su calidad se mantenga inalterada, al menos en este aspecto.

En muchas ocasiones, los materiales de los cuales se manufacturan los moldes de inyección de plástico se caracterizan por ser especiales, lo cual implica que conseguir materiales de aporte para desarrollar operaciones de soldadura puede ser difícil. Se sugiere que desde el momento de la adquisición del molde (o bien desde el momento en el cual se adquiera la materia prima para fabricar el molde), se establezcan relaciones comerciales con la empresa que fabrique o provea la materia prima para identificar potenciales proveedores del electrodo correspondiente.

ETAPA 3: Definir condiciones de soldadura a partir de las características de la falla

Es necesario caracterizar la falla que se presenta en el molde: longitud de la fisura, profundidad, localización, etc., se convierten en elementos esenciales que definen los parámetros a implementar durante la soldadura. Esto, aunado al diámetro y material del electrodo a utilizar, se convertirán en los insumos que definirán el amperaje a utilizar, velocidad recomendada de soldadura, etc.

ETAPA 4: Definir el pre y postcalentamiento a utilizar

Como se ha visto en los resultados expuestos anteriormente, utilizar pre y post-soldadura proporciona los mejores resultados en cuanto a uniformidad de dureza. Dadas las dimensiones generalmente grandes que caracterizan a los moldes, resulta inviable calentar todo el molde, por lo cual se sugiere la adquisición de mantas térmicas, las cuales permitan calentar solamente la región afectada por el defecto. Se recomienda adquirir aquellas que varíen entre los 200 y 600°C.

ETAPA 5: Ejecutar la soldadura

Se sugiere que la soldadura sea desarrollada por personal con gran experiencia en el tema, para así reducir la posibilidad de defectos como resultados de factores humanos.

7.6. RESULTADOS DE MODELADO Y SIMULACIÓN DE UN MOLDE

1. Habrá de tenerse en cuenta que, según lo visto, no se obtiene directamente el modelo que se utiliza en la simulación sino que hace falta una serie de pasos que permiten tener un archivo manejable.
2. Destacar que es parte del equipo de escaneo 3D una computadora con las prestaciones adecuadas para permitir un manejo ágil de los archivos que se generan en el proceso.
3. La alternativa del escaneo 3D habrá de utilizarse en aquellos casos en los que la complejidad geométrica lo requiera y completarse con el modelado a partir de mediciones directas, para las partes más sencillas.

Como ya se indicó el tamaño del molde que se considera en Moldflow Adviser Ultimate 2018 es solamente el que involucra a las cavidades, al sistema de enfriamiento y al sistema de alimentación, todas las demás placas no se toman en cuenta. Es por tal razón que el tamaño de las placas consideradas (A, B y flotante), no necesariamente corresponde al tamaño físico de cada uno según planos (al menos en lo que respecta a su altura en Z, las dimensiones en X y Y si son fieles al plano).

Lo anterior es debido a las limitaciones en cuanto a generación de componentes, por ejemplo, los “gates” solamente se pueden generar desde el origen de cada cavidad hasta el plano en el cual la pieza es expulsada, que en este caso particular se complica ya que la cavidad tiene dos hembras, en lugar del típico macho y hembra.

8. CONCLUSIONES

- Se logró documentar la metodología que permita introducir el uso de software CAD CAM CAE, en los procesos de diseño de moldes para inyección de plásticos.
- Por medio de la aplicación de una metodología apropiada, es posible y viable la reparación de moldes de inyección por medio de soldaduras especiales, lo cual genera ahorros a las empresas, en el sentido que los moldes dañados pueden volver a ser utilizados, eliminando la necesidad de volver a fabricarlos por completo.
- Existen una gran variedad de software especializado, que permiten hacer simulaciones de funcionamiento de los moldes. Estos pueden ser adquiridos localmente o en el extranjero. Al introducir el uso de estas herramientas, se ahorran muchos costos, en cuanto a lo que es corrección de errores de diseño, ya que estos, por medio de las simulaciones, tienen la posibilidad de indicar los puntos débiles de los diseños, abriendo la posibilidad de corregirlos antes de entrar a la etapa de fabricación.
- Es posible fabricar moldes localmente, utilizando las herramientas, procesos, y procedimientos adecuados. Esto abre la posibilidad de ahorrar costos de importación y tramites engorrosos. Si se tiene la maquinaria y herramientas adecuadas, los moldes fabricados cumplirán con los requerimientos que los procesos de inyección exigen para obtener productos que cumplan con los criterios de calidad adecuados.
- El costo de fabricación de un molde, al hacerlo localmente, es igual o en ocasiones menor, al costo que implica mandarlo a fabricar fuera del país, adicionalmente, se evita el pago de impuestos de importación, transporte internacional y tiempos de espera. Esto indica que es muy factible la fabricación en nuestro país.

9. RECOMENDACIONES

- La etapa de diseño debe ser realizada minuciosamente, tomando en cuenta todos los detalles de funcionalidad del molde, tales como, ubicación de las cavidades, ubicación de los canales de inyección, sistema de refrigeración, sistema de expulsión y sistema de inyección.

- Tomar en cuenta la naturaleza de los polímeros a la hora de seleccionar los materiales del molde, ya que muchos de ellos son corrosivos, o pueden reaccionar con ciertos materiales, dependiendo de su composición química y sus propiedades.
- Tomar en cuenta el tamaño de los componentes a mecanizar, así como su configuración, para poder optar por un montaje adecuado que garantice el éxito del mecanizado.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R. International, "Proyecto de USAID de Educación Superior para el Crecimiento Económico. Perfil Sectorial: Manufactura Liviana," 2016.
- [2] T. Altan, B. Lilly, and Y. C. Yen, "Manufacturing of Dies and Molds," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 50, no. 2, pp. 404–422, 2001.
- [3] D. O. Kazmer, *Injection Mold Design Engineerin*. Hanser Publishers, 2007.
- [4] J. R. van Ommen, S. Sasic, J. van der Schaaf, S. Gheorghiu, F. Johnsson, and M.-O. Coppens, "Time-series analysis of pressure fluctuations in gas–solid fluidized beds – A review," *Int. J. Multiph. Flow*, vol. 37, pp. 403–428, 2011.
- [5] M. G. Villarreal, R. Mulyana, J. M. Castro, and M. Cabrera-Ríos, "Simulation optimization applied to injection molding," in *Proceedings - Winter Simulation Conference*, 2008, pp. 1995–2003.

11. ANEXOS

11.1. ANEXO 1. TABLAS

Características del acero AISI P20 (según especificaciones del fabricante).

Fabricante	Uddeholm					
Denominación comercial	Uddeholm Impax Supreme					
Descripción general	Acero pre-templado para moldes Acero aleado Cr-Ni-Mo desgasificado por vacío					
Composición (%, valores aproximados)	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
	0.37	0.3	1.4	2.0	1.0	0.2
Propiedades físicas (endurecido y revenido a 310 HB, a 20° C)	Densidad: 7,800 kg/m ³ Módulo de elasticidad: 205,000 N/mm ² Calor específico: 460 J/kg °C					

Parámetros utilizados en la ejecución de la soldadura

<i>Probeta</i>	<i>Amperaje</i>	<i>Tiempo de post calentamiento (hr)</i>	<i>Velocidad de arco prevista (cm/min)</i>	<i>Velocidad de arco real (cm/min)</i>	<i>Desviación de la velocidad (cm/min)</i>	<i>Desviación porcentual de la velocidad</i>
1	100	1:30	4.13	4.89	0.76	18%
2	100	1:30	6.2	6.41	0.21	3%
3	125	1:30	4.13	6.63	2.5	61%
4	100	2:00	6.2	6.2	0	0%
5	125	1:30	6.2	7.29	1.09	18%
6	100	2:00	4.13	4.96	0.83	20%
7	125	2:00	6.2	7.58	1.38	22%
8	125	2:00	4.13	7.38	3.25	79%
9	100	2:00	6.2	14.41	8.21	132%
10	125	2:00	4.13	7.29	3.16	77%
11	100	1:30	6.2	6.2	0	0%
12	125	1:30	6.2	7.01	0.81	13%
13	125	2:00	4.13	7.75	3.62	88%
14	100	1:30	4.13	6.88	2.75	67%

Evaluación de la uniformidad a partir de las durezas medias en los perfiles

Probeta	Velocidad (cm/min)	Amperaje máximo (A)	Tiempo de postcalentamiento (hr)	Comparación de durezas
9	14.41	100	2.0	No uniforme
10	7.29	125	2.0	No uniforme
11	6.20	100	1.5	No uniforme
12	7.01	125	1.5	No uniforme
13	7.75	125	1.5	No uniforme
14	6.88	100	2.0	Uniforme
15	5.79	100	1.5	No uniforme
16	13.77	125	2.0	No uniforme

Resultados de la evaluación de la soldadura desarrollada como parte de la inspección por rayos X

Identificación Placa	Discontinuidad Detectada	Ubicación	Cantidad	Tamaño	Observación
09	CI	Ambos extremos	en dos lugar	> 1.6 mm	-
10	-	-	-	-	-
11	CI, FF	Ambos extremos A 15 mm a la derecha	en tres lugar	> 1.6 mm	-
12	-	-	-	-	-
13	FF	A 20 mm a la derecha	En dos lugares	> 1.6 mm	-
14	-	-	-	-	-
15	FF	A 5 mm a la derecha	En un lugar	> 1.6 mm	-
16	-	-	-	-	-

Nota: La ubicación se lee: a "x" cm a la derecha de la referencia en la placa.

Clave Identificación de Discontinuidades en Soldadura:

CI: Cordon Incompleto	IM: Inclusión Material
CR: Concavidad Raíz	LE: Línea de Escoria
DC: Deformación Cordon	LG: Línea de Gas Atrapado
DP: Des-alineamiento Placas	PA: Poros Alineados
FF: Falta de Fusión	PD: Poro Disperso
FP: Falta de Penetración	PS: Poros
GA: Gas Atrapado	QA: Quemada
GT: Grieta Transversal	RE: Refuerzo Excesivo
GL: Grieta Longitudinal	SE: Socavado Externo
IG: Inicio de Grieta	SI: Socavado Interno

11.2. ANEXO 2. GUIA DE ENTREVISTA A EMPRESAS

GUÍA DE ENTREVISTA GENERAL PARA EMPRESAS DEL SECTOR DE PLÁSTICOS

DATOS DE LA EMPRESA

Nombre de la empresa:

Departamento o área:

Datos de contacto:

PARTE I: Fabricación de moldes

Objetivo: Identificar las principales problemáticas en el ámbito de la fabricación de moldes de inyección de plásticos que enfrenta la industria del plástico en El Salvador con el fin de buscar soluciones a través de la investigación aplicada.

1. ¿Fabrican moldes de inyección de plásticos dentro de su empresa? Sí No (vaya a la pregunta 7)

2. ¿Qué materiales utiliza en la manufactura de un molde?

- Aceros al carbono (1020, 1030, 1040, 1095)
- Aceros aleados (4130, 4140, 6150, 8620)
- Aceros herramientas
- Aceros para trabajos de choque: S1, S7
- Aceros para trabajo en frío O1, A2, A4, A6, D2,
- Aceros para trabajo en caliente: H13, H23
- Aceros para propósito especial: L6
- Aceros para moldes: P2, P20
- Aceros inoxidables (martensíticos): 420
- Otros. Especifique

3. ¿Aplican algún tratamiento térmico al material empleado? De ser afirmativa su respuesta, especifique el tratamiento considerado.

4. ¿Cuáles son los dos principales problemas a la hora de fabricar un molde de inyección de plásticos?

- El proceso de maquinado.
- La adquisición de la materia prima, herramientas y otros consumibles.
- El ajuste de las diferentes piezas que componen el molde.
- Falta de procesos especializados.
- El equipo para la fabricación tiene sus limitaciones.
- El diseño no se hace correctamente.

5. De las opciones anteriores, ¿cuáles considera que son los dos problemas que en su proceso de fabricación necesitan una solución inmediata?

- El proceso de maquinado.
- La adquisición de la materia prima, herramientas y otros consumibles.
- El ajuste de las diferentes piezas que componen el molde.
- Falta de procesos especializados.
- El equipo para la fabricación tiene sus limitaciones.
- El diseño no se hace correctamente.

6. ¿Utilizan planos para construir moldes? De ser así, de los siguientes aspectos seleccione aquellos que más problemas tienen en la lectura y uso de planos:

- Comprensión de las ideas que se desean transmitir.
- Aplicación de normas para estandarizar los planos.
- Representación del ensamble completo del molde a construir.
- Transmisión de ideas que no necesariamente son dimensiones, tales como:
- Materiales.
- Métodos de construcción.
- Responsables de las distintas etapas en la construcción.
- Etc.
- Otros (especifique)

7. ¿Por qué motivo no fabrican moldes de inyección?

- El equipo necesario para la fabricación de moldes no se encuentra disponible en el país.
- Falta de conocimiento sobre el diseño.
- Los procesos de fabricación requeridos son muy especializados y no se encuentran disponibles en el país
- Otro: Especifique.

PARTE II: Proceso de inyección

Objetivo: Identificar mejoras en la ejecución del proceso de inyección de plásticos en la industria de El Salvador que puedan ser desarrolladas con el apoyo de la investigación aplicada.

8. Partiendo de una revisión del proceso de producción, ¿cuáles de las siguientes áreas considera que son prioritarias para llevar a cabo mejoras dentro de su empresa? Seleccione dos alternativas.

Adquisición y manejo de la materia prima, esto incluye control de calidad de la materia prima.

- Diseño del producto plástico.
- Diseño y fabricación del molde.
- Ejecución del proceso de inyección.
- Configuración inicial o “seteo” previo.
- Control durante la ejecución.
- Actividades de mantenimiento relacionadas al molde.
- Otros, especifique:

9. En caso de haber seleccionado el control de la ejecución del proceso de inyección, al iniciar una colada, ¿cuál o cuáles de los siguientes aspectos toma en cuenta para configurar el arranque de la máquina?

- Recomendaciones del fabricante/proveedor de la máquina.
- Tipo de polímero a utilizar o Recomendaciones del fabricante/proveedor del polímero.
- Experiencias previas de los técnicos y encargados del área.
- Requisitos especiales del cliente.
- Ciclaje
- Producto
- Otros (especifique)

10. ¿Considera que el tiempo empleado en seteo representa pérdidas importantes en la producción? De ser negativa la respuesta, pase a la pregunta 11.

11. De los siguientes aspectos, mencione aquellos en los cuales el tiempo perdido en seteos afecta directamente:

- Material desperdiciado.
- Reducción de la vida útil del equipo.
- Uso de personal en tareas no programadas.
- Otros (especifique).

12. ¿Qué parámetro utilizan para determinar que la configuración previa de una máquina ya ha sido exitosamente finalizada?

- Calidad de las piezas obtenidas.
- Experiencias previas de los técnicos y encargados del área.
- Otros (especifique).

13. ¿Cuáles procesos de control de calidad utilizan para inspeccionar los lotes de piezas inyectadas?

- Revisión de dimensiones.
- Revisión de acabado superficial.
- Pruebas de desempeño.
- Otros (especifique).

14. ¿Aplican alguna norma internacional para llevar a cabo la inspección?

- ISO.
- ASTM.
- Otros (especifique)

15. ¿Por qué ha decidido utilizar una norma?

- Requisitos del cliente.
- Necesidad para exportar.
- Así debe ser.
- Otro

16. ¿Utiliza insertos en el molde? De ser afirmativa la respuesta, especifique que tipo de materiales emplea:

- Cobre-berilio.
- Mismo material del molde.
- Otro.

17. En caso la respuesta a la pregunta 16 haya sido afirmativa, ¿cuál es el uso de los insertos?

- Para canales calientes.
- Para el sistema de alimentación.
- Para el sistema de refrigeración.
- Otros.

18. ¿Se realiza alguna monitorización de variables tales como temperatura del plástico, presión de inyección, o alguna otra variable durante el proceso de inyección? En caso afirmativo especifique las variables monitoreadas y responda las preguntas 19, 20 y 21.

19. ¿Para qué es utilizada la información monitoreada?

20. ¿Qué dispositivo utiliza para capturar esta información?

21. ¿Qué otra variable del proceso de inyección consideraría útil a monitorear y con qué fines?

PARTE III: Reparación de moldes

Objetivo: Identificar las principales problemáticas en el ámbito de la reparación de moldes de inyección de plásticos que enfrenta la industria del plástico en El Salvador con el fin de buscar soluciones a través de la investigación aplicada

22. Al hablar de reparaciones, ¿cuál de los siguientes aspectos considera como críticos (o de resolución complicada) en su proceso actual?

- Reparación del molde como tal.
- Platinas.
- Cavidades.

- Reparación de las máquinas de inyección o alguno de sus sub-sistemas.
- Intervención en el sistema de enfriamiento, venteo o de inyección como tal.
- Otros.

23. En caso haya respondido reparaciones en el molde como tal, ¿las ejecutan ustedes directamente? De haber respondido afirmativamente pase a 25.

24. De los siguientes aspectos, ¿cuáles son los que ustedes implementan para determinar si un molde (cavidad o platina) necesita una reparación?

- Defectos superficiales en las piezas.
- Demora en el ciclo de expulsión.
- Inspecciones rutinarias en el molde.
- Personal de mantenimiento.
- Personal de operaciones.

25. ¿Cuáles son las operaciones de reparación que más comúnmente realizan en el molde (cavidad o platina)?

- Pulido y rectificado del molde.
- Soldadura.
- MIG o TIG o Etc.
- Insertos.
- Alineación de sujetadores o pines.
- Tratamientos térmicos (especifique).
- Otros (especifique).

26. Tomando como base las fallas más comunes a las que se enfrentan en la operación de un molde, así como las formas de identificarlas, ¿en cuál de los siguientes temas considera necesario expandir su área de conocimiento?

- Análisis de falla de elementos mecánicos.
- Pruebas no destructivas.
- Líquidos penetrantes o Partículas magnéticas o Ultrasonido.
- Etc.
- Determinación de dureza y pruebas metalográficas.
- Otros (especifique).

27. De los siguientes aspectos, mencione aquellos en los cuales una reparación no realizada a tiempo o adecuadamente afecta directamente:

- Material desperdiciado.
- Reducción de la vida útil del equipo.
- Uso de personal en tareas no programadas.
- Pérdida de clientes.
- Otros (especifique).

28. ¿Cuáles son los procedimientos mediante los cuáles identifican fallas en el molde?

- Revisiones periódicas por parte del operario.
- Revisiones periódicas por parte del personal de mantenimiento.
- Inspección visual de las piezas inyectadas.
- Revisión constante de los parámetros de inyección.
- Otros (especifique).

29. ¿Cuál es la metodología que implementa una vez una falla en el molde ha sido identificada?

- Evaluación de la gravedad de la falla.
- Sustitución por moldes similares (redundancias).
- Revisión de insumos para reparación interno.
- Análisis económico para determinar factibilidad de reparación desarrollada por la empresa vs reparación por terceros.
- En caso el molde sea importado, verificación con el proveedor.
- Otros (especifique).

PARTE IV: Aspectos económicos

Objetivo: Identificar los aspectos económicos clave que permitirían determinar la viabilidad de la implementación de las propuestas del proyecto de investigación.

30. ¿Considera que mejorar las capacidades de fabricación de moldes puede representar un beneficio económico para su empresa?

31. De acuerdo a su experiencia, ¿qué porcentaje del precio del molde es ocasionado por la importación del mismo?

32. ¿Qué criterios económicos son los que toman en cuenta para decidir si es necesario importar un molde o bien construirlo localmente? Seleccione de la siguiente lista:

- Capacidad instalada localmente (maquinaria, personal calificado, etc.).
- Tiempo de importación versus tiempo de construcción.
- Calidad del trabajo local versus calidad del producto internacional.
- Otros (especifique).

33. ¿Manejan alguna relación o “regla de dedo” para ciclos de vida y costo del molde? De ser así, asocie un costo a los siguientes rangos para un molde de colada fría:

- Ciclaje Costo (\$USD)
- <1000
- Entre 1000 y 20000
- Entre 2000 y 100000

- Entre 100000 y 250000
- >250000

GUÍA DE ENTREVISTA SOBRE REPARACIÓN PARA EMPRESAS DEL SECTOR DE PLÁSTICOS

INDICACIONES PARA LOS ENTREVISTADORES

Se sugiere que la entrevista sea llevada a cabo por dos personas, una encargada de guiar la entrevista y la otra de registrar las respuestas. Debe tenerse el cuidado de anotar la mayor cantidad de información brindada por los entrevistados aunque no se encuentre ajustada a los cuestionamientos proporcionados.

DATOS DE LA EMPRESA

Nombre de la empresa:

Departamento o área:

Datos de contacto:

1. Peso del molde

A) Identificación del molde.

Menos de 200lb

Más de 200lb

Otro

2. Recubrimiento del molde

Cromo duro.

Nitrurado.

Otros

3. Vida útil del molde (ciclos)

Menos de 100,000

Entre 100,000 y 250,000

Entre 250,000 y 500,000

Más de 500,000

4. Costo del tratamiento térmico

Menos de \$1000

Entre \$1000 y \$2000

Otros

5. Dureza del tratamiento térmico
Entre 30-35 HRC Entre 35-50 HRC Entre 50-60 HRC

6. Otros

Lubricación del molde

- Ácido esteárico.
- Ceras de parafina.
- Esteres biodegradables.
- ¿Brasa? Temperatura mayor a 100°C.
- Otros.

7. Paro de la máquina por falla del molde

Menos de 2 horas Entre 2-4 horas Entre 4-8 horas Más de un día

Otros

B) Polímeros utilizados.

1. Propiedades controladas o medidas.

Viscosidad

Conductividad térmica	Expansión térmica	
Densidad	Contracción	
Peso molecular	Temperatura de uso	Otros

2. Precio por tonelada del Pellet

Menos de \$600

Entre \$600-\$1200

Entre \$1200-\$2000

Otros

3. Procedencia del Pellet

Centroamérica

Suramérica

USA Otros

4. Porcentaje de material virgen en el producto

100% Otros (especifique)

5. Defectos causados por el polímero

Corrosión Desgaste Disminuye el pulido

Otros

6. Defectos en la pieza inyectada.

C) Reparación

1. ¿Existe un departamento especialmente dedicado al mantenimiento del molde? De no ser así, ¿qué área es la encargada de dichas actividades?

2. Tipo de mantenimiento

Predictivo Preventivo Correctivo

Otros

3. ¿Existen herramientas adecuadas para desmontar el molde?

Algunas Todas Siempre faltan

Otros

4. Identificación del mecanismo de desgaste

Desgaste abrasivo Desgaste erosivo Desgaste adhesivo Cavitación

Otros

5. El desgaste de las piezas se mide con:

Pie de rey Escuadra Micrómetro

Otros

6. Técnicas de reparación utilizadas

Soldadura Pulido Tratamiento superficial Re-maquinado

Rectificado Otros

7. Tipo de soldadura utilizada:

TIG MIG Electrodo Otros

8. La pieza a reparar es:

Precalentada Post-calentada No se calienta
Otros

9. Temperatura utilizada

Ambiente Entre temperatura ambiente y 150°C Entre 150°C y 250°C Otros

10. Para el calentamiento se utiliza

Horno Colcha térmica Plancha caliente Flama
Otros

11. La dureza se mide con

Durómetro de impacto Durómetro de banco Lima
Otros

12. La rugosidad se mide en

Micrones Micro pulgadas Otros

13. Rango de medición

0-10 micrómetros 10-50 micrómetros 50-100 micrómetros
Otros

14. Precisión de la medida

+/- 2% +/- 10% Otros

15. Las medidas se comparan con

Plano o dibujo Patrón No se comparan

16. El pulido se realiza con

Lijas Piedras Polvos abrasivos Pasta de diamante
Toallas Paños Gamuzas Otros

17. Tiempo utilizado en la reparación de cavidades desgastadas

1 día 2-3 días 3-4 días Más de 7 días Otros

18. Control de calidad de la reparación

Prueba de ultrasonido Prueba de dureza Pie de rey Micrómetro

Otros

19. Daños más frecuentes en la reparación.

Corrosión Desgaste Rajadura

Otros

20. Control del PH del agua de reparación.

Diariamente Semanalmente Mensualmente No se controla

Existe una planta de tratamiento de agua Otros

21. Costo estimado de la reparación

Menos de \$500 Entre \$500-\$1000 Más de \$1000

22. El molde se descarta de uso de acuerdo a

Número de piezas producidas Desgaste Rajaduras Fatiga térmica

Otros

IDENTIDAD INSTITUCIONAL

VISIÓN

Ser una institución educativa líder en educación tecnológica a nivel nacional y regional, comprometida con la calidad, la empresarialidad y la pertinencia de nuestra oferta educativa.

MISIÓN

Formar profesionales integrales y competentes en áreas tecnológicas que tengan demanda y oportunidad en el mercado local, regional y mundial, tanto como trabajadores y como empresarios.

VALORES

EXCELENCIA: *Nuestro diario quehacer está fundamentado en hacer bien las cosas desde la primera vez.*

INTEGRIDAD: *Actuamos congruentemente con los principios de la verdad en todas las acciones que realizamos.*

ESPIRITUALIDAD: *Desarrollamos todas nuestras actividades en la filosofía de servicio, alegría, compromiso, confianza y respeto mutuo.*

COOPERACIÓN: *Actuamos basados en el buen trabajo en equipo, la buena disposición a ayudar a todas las personas.*

COMUNICACIÓN: *Respetamos las diferentes ideologías y opiniones, manteniendo y propiciando un acercamiento con todo el personal.*

SEDE Y REGIONALES EL SALVADOR



La Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, fundada en 1969, es una institución estatal con administración privada, conformada actualmente por 5 campus: Sede Central Santa Tecla y cuatro Centros Regionales ubicados en Santa Ana, San Miguel, Zacatecoluca y La Unión.

1 SEDE CENTRAL SANTA TECLA

Km. 11.5 carretera a Santa Tecla, La libertad.
Tel.: (503) 2132-7400
Fax: (503) 2132-7599

2 CENTRO REGIONAL SANTA ANA

Final 10a. Av. Sur, Finca Procavia.
Tel.: (503) 2440-4348
Tel./Fax: (503) 2440-3183

3 CENTRO REGIONAL LA UNIÓN

Calle Sta. María, Col. Belén, atrás del Instituto Nacional de La Unión
Tel.: (503) 2668-4700

4 CENTRO REGIONAL ZACATECOLUCA

Km. 64.5, desvío Hacienda El Nilo sobre autopista a Zacatecoluca.
Tel.: (503) 2334-0763 y
(503) 2334-0768

5 CENTRO REGIONAL SAN MIGUEL

Km. 140 carretera a Santa Rosa de Lima.
Tel.: (503) 2669-2298
Fax: (503) 2669-0061