



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO DEL PROCESO DE MANUFACTURA
DE MOLDES PARA ASIENTOS DE AUTO

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ALEJANDRO CAMPOS TOVAR

TUTOR PRINCIPAL:
DR. VICENTE BORJA RAMÍREZ
FACULTAD DE INGENIERÍA.

MÉXICO, D. F. SEPTIEMBRE DE 2013.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: (DR. LOPEZ PARRA MARCELO)
Secretario: (DR. RAMÍREZ REIVICH ALEJANDRO C.)
Vocal: (DR. BORJA RAMÍREZ VICENTE)
1^{er.} Suplente: (DR. GONZALEZ GONZÁLEZ LEOPOLDO A.)
2^{do.} Suplente: (DR. ESPINOSA BAUTISTA ADRIÁN)

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO, FACULTAD DE INGENIERÍA,
MÉXICO D.F.

TUTOR DE TESIS:

NOMBRE

DR. BORJA RAMÍREZ VICENTE

FIRMA

(Segunda hoja)

AGRADECIMIENTOS

A MI PADRE.

Porque gracias a él, aprendí lo que tenía que saber de la vida.

A ELIZABETH VALLEJO GALICIA.

Porque su presencia mantiene, mi lucidez y la luz de mi vida eternamente.

A MI MADRE.

Por los principios de responsabilidad, honestidad y trabajo duro que me enseñó.

AL DR. VICENTE BORJA RAMÍREZ

Porque además de ser mi asesor me mostró el verdadero significado de ser maestro y me enseñó que nada es fácil, que para realizar algo se requiere disciplina y esfuerzo; por lo cual le agradezco infinitamente su tiempo invertido y su motivación para creer en mí que me llevó a cumplir mi meta.

A MIS HERMANOS.

Porque ningún título me hace diferente a ellos, este logro también es suyo.

A TODOS.

Que directamente o indirectamente contribuyeron a la realización de esta empresa.

A DIOS.

Quien me da la oportunidad y capacidad de emprender y ver culminadas todas mis metas.

Gracias por todo.

ÍNDICE

ÍNDICE.....	i
LISTA DE FIGURAS.....	iii
LISTA DE TABLAS.....	v
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	vii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. MARCO METODOLÓGICO.....	4
1.1.- ANTECEDENTES.....	4
1.1.1 Situación económica y tecnológica en México, del proceso de fabricación de modelos (patrón y/o prototipos).....	5
1.1.2 Situación económica y tecnológica en México, del proceso de fabricación de moldes para plásticos en general.....	6
1.2.- DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	7
1.3.- OBJETIVO GENERAL.....	8
1.4.- ALCANCE.....	9
1.5.- JUSTIFICACIÓN.....	9
1.6.- METODOLOGÍA.....	10
CAPÍTULO 2. GENERALIDADES.....	13
2.1.- PROCESO DE MOLDEO DEL POLIURETANO.....	13
2.1.1 Clasificación de los plásticos de poliuretano.....	13
2.1.2 Tecnología de moldeo de poliuretano (proceso RIM).....	17
2.2.- DISEÑO DE MOLDES PARA ESPUMAS DE POLIURETANO.....	20
2.2.1 Método para diseño de moldes.....	21
2.2.1.1 Guía de diseño.....	22
2.2.2 Métodos de construcción de un molde y técnicas de fabricación....	28
2.2.2.1 Materiales de fabricación.....	29

2.2.2.2 Técnicas de construcción del molde.....	31
2.3.- DESCRIPCIÓN DEL MODELADO IDEF0 (DEFINICIÓN INTEGRAL PARA MODELADO DE FUNCIONES).....	33
2.3.1 Definición para modelado de funciones (IDEF0).....	33
2.4.- CICLO DE VIDA DEL ASIENTO DE UN AUTOMÓVIL.....	36
CAPÍTULO 3. MODELO GENERAL IDEF0 PARA LA MANUFACTURA DE MOLDES PARA ASIENTOS DE AUTOMÓVIL.....	48
3.1.- PROPÓSITO DEL MODELO IDEF0.....	48
3.2.- GUÍA DE ACTIVIDADES DEL MODELO IDEF0.....	50
3.3.- DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES SEGÚN EL MODELO IDEF0.....	53
CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS, ACTUAL Y PROPUESTOS.	97
4.1.- EVALUACIÓN DEL PROCESO ACTUAL.....	97
4.1.1 Análisis Económico.....	97
4.2.- DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS DE FABRICACIÓN PROPUESTOS.....	102
4.2.1 Diseño y manufactura de moldes mediante centro de maquinado CNC.....	105
4.2.2 Diseño y manufactura de moldes mediante Impresora 3D en resina.	108
4.3.- EVALUACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE LOS OBJETIVOS PONDERADOS.....	112
4.3.1 Metodología.....	112
4.3.2 Matriz de proyección.....	113
4.4.- RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN.....	117
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES.....	120
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	125
ANEXOS.....	131

LISTA DE FIGURAS.

Número	Nombre	Página
	Capítulo II	
Figura 2.1	Sistemas de poliuretanos	17
Figura 2.2	Proceso RIM (Cortesía de Bayer MaterialScience).	18
Figura 2.3	Izquierda: Esquema de una cabeza mezcladora de tipo L .A la derecha: Modelo CAD en 3D seccionado	19
Figura 2.4	Posición de llenado, línea de partición	24
Figura 2.5	Área de sellado del molde	25
Figura 2.6	La ventilación del molde típico	25
Figura 2.7	Geometría de los canales de refrigeración.	27
Figura 2.8	Superior: agujero con corazón removible. Inferior: entalladura con inserto removible.	28
Figura 2.9	Ejemplo de molde fundido en aluminio.	32
Figura 2.10	Jerarquías del modelado IDEF-0.	34
Figura 2.11	Diagrama estructural gráfico de un IDEF0.	34
Figura 2.12	Formato típico gráfico para un IDEF0, generado en software BPwin®.	36
Figura 2.13	Ciclo de vida de un asiento.	38
Figura 2.14.	Partes principales de un modulo de asiento para auto.	39
Figura 2.15	Ejemplo de un boceto del interior de auto.	41
Figura 2.16	. Izquierda: Diseño Mecánico de un bastidor CAD. Derecha: Simulación térmica con un análisis CAE.	42
Figura 2.17	Ensamble de un modulo de asiento compuesto por: un bastidor, una espuma y cubierta.	43
Figura 2.18	Estilo de vida de la familia dentro de un automóvil.	45
Figura 2.19	Reciclado mecánico: Adhesive pressing y Pulverización.	46
Figura 2.20	Reciclado químico: Esquema de Hidrólisis y Glicolisis.	46
Figura 2.21	Esquema de Incineración.	47
	Capítulo III	
Figura 3.1	Actividad A0: Diseño y Manufactura de molde para asiento de automóvil.	53
Figura 3.2	Actividades A1 y A2, que completan el desarrollo de la actividad A0	54
Figura 3.3	Actividades que completan el desarrollo de la actividad A1.	56
Figura 3.4	Actividades que completan el desarrollo de la actividad A13.	61
Figura 3.5	Actividades que completan el desarrollo de la actividad A2.	67
Figura 3.6	Actividades que completan el desarrollo de la actividad A21.	68
Figura 3.7	Modelo primario.	71
Figura 3.8	Actividades que completan el desarrollo de la actividad A21.	72
Figura 3.9	Ejemplo de Formación de ceja o cama.	75
Figura 3.10	Preparación de la zona de sellado.	76
Figura 3.11	Parte de la cavidad en yeso.	78
Figura 3.12	Serpentín y nervios que acompañan al modelo de yeso.	79
Figura 3.13	Actividades que completan el desarrollo de la actividad A23.	81
Figura 3.14	Izquierda: Molde de arena de una cavidad. Derecha: Colocación del serpentín en el molde de arena.	83

Figura 3.15	Izquierda: Pintura selladora del grano de arena. Derecha: Quemado de residuos de pintura.	84
Figura 3.16	Izquierda: Molde de arena listo para vaciar. Derecha: Molde con dispositivos de sujeción.	85
Figura 3.17	Collage de las etapas de fusión y vaciado del material.	86
Figura 3.18	Superior: Solidificación de material. Inferior: Limpieza y remoción del molde metálico.	87
Figura 3.19	Actividades que completan el desarrollo de la actividad A24.	88
Figura 3.20	Izquierda: Cavidad del molde pulida. Derecha: Operario realizando pulido del molde.	90
Figura 3.21	Operaciones de ajuste de plantillas como medio verificador de las dimensiones de las cavidades.	91
Figura 3.22	Superior: Mecanizado del molde. Inferior y Derecha: Muestra de un molde ya mecanizado “en caja”.	93
Figura 3.23	Superior: Molde sellado fraguando la resina epóxica. Inferior y Derecha: Zona de sellado (más oscura).	94
Figura 3.24	Muestra del molde terminado pintado con herrajes y su portamolde.	96
	Capítulo IV	
Figura 4.1	Actividades A1 y A2, que completan el desarrollo de la actividad A0, que se llevarán a cabo en los procesos propuestos.	102
Figura 4.2	Modelo alámbrico (wireframe).	103
Figura 4.3	Modelo de sólido (volumen).	103
Figura 4.4	Planos de partición generados por el software	103
Figura 4.5	Cavidades generadas con el comando moldes en CAD	103
Figura 4.6	Plano de conjunto del molde	103
Figura 4.7	Vista en explosión del conjunto de molde (base y tapa).	104
Figura 4.8	Actividades que completan el desarrollo de la actividad A2, del proceso propuesto No. 1.	105
Figura 4.9	Preparación y montaje de modelo de Resina en centro de maquinado.	106
Figura 4.10	Izquierda: Mecanizado de modelo de Resina en CMV. Derecha: Modelo casi terminado de mecanizar.	107
Figura 4.11	Actividades que completan el desarrollo de la actividad A2, del proceso propuesto No. 2.	108
Figura 4.12	Pasos a seguir en la obtención de un modelo a través de la impresión 3D.	110
Figura 4.13	Técnica Polyjet para impresión en 3D.	111
Figura 4.14	Familia de impresoras 3D de la marca Objet. Izquierda: Objet500. Derecha y arriba: Objet30. Derecha y abajo: Objet1000.	112

LISTA DE TABLAS.

Número	Nombre	Página
	Capítulo IV	
Tabla 4.1	Análisis económico del proceso actual.	98
Tabla 4.2	Análisis económico del proceso propuesto No. 1.	99
Tabla 4.3	Análisis económico del proceso propuesto No .2.	99
Tabla 4.4	Precio de maquinaria y materia prima, procesos propuestos.	100
Tabla 4.5	Costos de servicios subcontratados	101
Tabla 4.6	Calidad de los procesos.	101
Tabla 4.7	Criterios para la matriz de proyección.	114
Tabla 4.8	Puntuación relativa para la matriz de proyección.	114
Tabla 4.9	Matriz para determinar la importancia de los criterios.	115
Tabla 4.10	Criterios ordenados por importancia con sus pesos relativos.	115
Tabla 4.11	Calificaciones según el desempeño relativo.	116
Tabla 4.12	Puntuación relativa según el desempeño para la matriz de puntuación.	117

RESUMEN

En México, la industria de la transformación de plásticos representa un sector manufacturero de gran importancia económica, siendo el proceso de inyección con reacción (RIM) el analizado en esta tesis; sin embargo, las empresas mexicanas no cuentan con la especialización necesaria en la fabricación de los moldes, por lo que la mayoría de estos se adquieren en el extranjero. En este trabajo se presenta el diseño del proceso de manufactura de moldes para asientos de auto apoyado con herramientas de la ingeniería concurrente, se realizó una secuencia de actividades con diferentes recomendaciones, para lo cual se presentaron los modelos de información involucrados en la tarea de diseño de moldes. Para resolver este problema, se implementó una metodología de modelado de la información denominada IDEF0 buscando estandarizar el proceso de manufactura de moldes. Al mismo tiempo, se diseñó con base en los procesos de manufactura requeridos. Para lograr esto, se modeló en diagramas IDEF0 cada una de las funciones involucradas en la manufactura de moldes, considerando las especificaciones y requerimientos del cliente, las características de los poliuretanos, los procesos de manufactura involucrados, las condiciones de procesado (temperaturas, presiones, tiempos de enfriamiento, tipo de flujo) y los costos involucrados. Una vez modelado, se implementará en una empresa mexicana para verificar las ventajas obtenidas por el modelo. Con esto se espera lograr reducir el tiempo total de desarrollo del proyecto en aproximadamente un 40%, así como el costo estimado para la manufactura del molde en un 30%, con lo cual se determina el adecuado funcionamiento del modelado IDEF0, como parte de la ingeniería concurrente para la manufactura de moldes de inyección para asientos de auto en poliuretano.

ABSTRACT

In Mexico, the plastics industry represents a great economic importance, being the reaction injection process (RIM) discussed in this thesis; however, because of Mexican companies lack the necessary expertise in the manufacture of molds, these are acquired abroad. This paper presents the design of the manufacturing process of molds for car seats supported concurrent engineering tools, is carried out sequence of activities with different recommendations, which were presented for information models involved in mold design task. To solve this problem, in this thesis was implemented a methodology called IDEF0 to standardize the manufacturing process for molds. At the same time, the design was based on the required manufacturing processes. To accomplish this, each function involved in the manufacturing molds was modeled with IDEF0 diagrams, taking into consideration customer specifications and requirements, polyurethanes characteristics, manufacturing processes involved, conditions of plastic processing (temperatures, pressures, cooling times, flow type) and involved costs. After that, this model be implemented in a Mexican company to verify the possible advantages obtained. Under it, is expected to achieve the reduction of the total time of project development by approximately 40% and estimated costs to manufacture the mold by 30%, therefore, thus determines the proper functioning of IDEF0 modeling as part of concurrent engineering, to manufacture injection molds for polyurethane car seats.

INTRODUCCIÓN.

La innovación tecnológica es elemento clave para optimizar los procesos productivos, para generar productos y servicios que resulten con ventajas competitivas reales. La complejidad, costos y riesgos asociados a la innovación hacen imprescindible el establecimiento de redes de colaboración interinstitucional y multidireccionales, encaminadas a compartir conocimientos para colaborar en investigación y desarrollo.

Los productores de plásticos saben que el desarrollo de nuevos productos sólo tiene valor si éstos se adaptan a las necesidades de la industria y de los clientes, mientras que ofrezcan soluciones a dichas necesidades. También saben que la industria automotriz es un sector que requiere ser atendida por la industria del plástico.

Las expectativas de la industria automotriz son favorables, ya que para 2017 México se tendrá una capacidad para producir cuatro millones de vehículos anuales, convirtiéndose en el séptimo productor y en el tercer exportador de autos a nivel mundial, así lo aseguró la subsecretaria de Industria y Comercio de la Secretaría de Economía, Lorenza Martínez Trigueros (SE, Marzo 2012).

Muchas empresas colaboran con la industria automotriz en forma directa o indirecta, tal es el caso de la empresa con la que se participó en este reporte. Pues la industria del automóvil maneja diferentes segmentos como: el tren motor, el exterior o carrocería, el interior, el chasis, la gestión térmica, la eléctrica y electrónica; que hacen requerir conocimientos de diferentes áreas para su aplicación en sectores especializados.

En algunos de estos segmentos sabemos que existe una demanda en aumento de los elementos de confort en los automóviles. Por ejemplo, crece cada vez más el uso de dispositivos eléctricos para la regulación de la temperatura y posición de los asientos, que debe considerarse como una tendencia.

Este trabajo se presenta como respuesta a una necesidad en particular de la industria automotriz, en el sector de la fabricación de moldes para asientos de automóvil. En este reporte, se abordó el segmento de los interiores de autos en particular el de los asientos; para ser más específicos se realizó el tratado en las herramientas que se utilizan para fabricarlos, que reciben el nombre de: MOLDES.

Un propósito de toda organización, es fabricar un producto de calidad a tiempo con el menor costo posible y con una inversión mínima (Niebel, Freivalds, 2004). Por lo cual la manufactura de los productos es una actividad importante desde el punto de vista económico, tecnológico e histórico.

Desde el diseño hasta la construcción de un molde por inyección con reacción de poliuretano (RIM, por sus siglas en inglés) existe una serie de pasos y factores que deben vigilarse en todo momento. Se ha observado que el uso de ciertos conceptos de la ingeniería concurrente permite gestionar estas etapas y elevan la probabilidad de éxito para colocar un producto en el mercado antes que otra empresa lo haga. Esta metodología está siendo implementada por la industria automotriz en todo el mundo que cada vez está más globalizado, donde la velocidad de respuesta a estos cambios es un factor primordial para aprovechar las ventajas competitivas.

A continuación se hará una breve descripción de los capítulos generados, para cumplir con el objetivo planteado en el presente trabajo; mediante cinco capítulos que se describen en los párrafos siguientes:

En el *capítulo 1. MARCO METODOLÓGICO*, se presenta una breve descripción de la situación de la empresa en el contexto industrial que vive el país en general, analizando su problemática de forma particular y con base en esta información se logran presentar los objetivos que se persiguieron con el desarrollo de este reporte, para darle la justificación necesaria que sustente la realización de esta investigación, marcando varios alcances que debemos cubrir en esta tarea.

En el *capítulo 2. GENERALIDADES*, se presenta un marco teórico, que consta de una recopilación de los procesos de diseño, moldeo, y manufactura de moldes para espumas de poliuretano donde se describen las operaciones principales de estos procesos. En la segunda parte del capítulo, se presenta una breve descripción de las características de la metodología IDEF0, utilizada para realizar el modelado sistemático de las actividades relacionadas con el proceso de manufactura.

En el *capítulo 3. MODELO GENERAL IDEF0 PARA LA MANUFACTURA DE MOLDES DE UN ASIENTO*, se describe en forma detallada el proceso de trabajo que se sigue para la fabricación de moldes para asiento de auto, utilizando la metodología de modelado IDEF0. El modelo comprende una serie de diagramas donde se representan las actividades y subactividades necesarias para producir un molde para espumados de poliuretano.

La segunda parte de este capítulo comprende la descripción del modelo IDEF0, donde se menciona cada aspecto relevante para el seguimiento del proceso de trabajo actual y se analiza la importancia de cada uno de los controles y recursos identificados para la realización de las actividades modeladas.

En el *capítulo 4. EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS, ACTUAL Y PROPUESTOS*, se presentan los procesos tanto actuales como los propuestos; necesarios para la ejecución de las actividades asignadas para la manufactura de moldes para asientos de auto. Además, tiene por objeto establecer una guía práctica y sistemática del desarrollo de la selección del proceso propuesto para la manufactura, de manera que pueda orientar al personal técnico en la nueva forma de ejecutar el proceso. La finalidad del capítulo 4 es presentar el método de selección para verificar la validez y la eficacia prevista del proceso propuesto.

En el *capítulo 5. CONCLUSIONES*, finalmente se muestran las conclusiones generadas del presente trabajo de investigación.

CAPÍTULO 1. MARCO METODOLÓGICO.

1.1 ANTECEDENTES.

Según el “X Congreso Internacional de la Industria Automotriz”, celebrado en México en el año 2012, se hizo una prospectiva de la industria automotriz mexicana, afirmándose que el país está en vía de consolidarse como proveedor automotriz para el Continente Americano, al tiempo que incrementa su participación en nuevos mercados, como el chino, que ya es un comprador de vehículos fabricados en el país. Se aseguró que en el 2011, el país ocupaba el octavo sitio como productor de vehículos y el cuarto como exportador a nivel mundial. Se hizo referencia también a las acciones instrumentadas por el Gobierno Federal para apoyar al mercado interno, tras la crisis económica registrada entre 2008 y 2009, que permitieron una rápida recuperación (SE, Marzo 2012).

Sin embargo los diversos sectores industriales, consideran que la industria no ha desarrollado todo su potencial para el país; tomando en cuenta que:

- La participación de la industria en el PIB es del 3%.
- México no es aún un centro de desarrollo tecnológico, condición necesaria para asegurar una presencia destacada en el largo plazo.
- Existen amplias áreas de oportunidad para la proveeduría de la industria.

Pero no todo ha sido gris para la industria automotriz y aunque no se ha tenido un desarrollo como se esperaba, México ha avanzado en su posición como productor y exportador de vehículos y de autopartes. Por ejemplo, de 2000 a 2011, el valor de las exportaciones del sector pasó de 37.7 a 78.5 miles de millones de dólares, teniendo un crecimiento de 108% (SE, Agosto 2012). Con el fin de desarrollar más este sector la Secretaria de Economía acordó con las asociaciones automotrices elaborar un Programa Estratégico para la Industria Automotriz para orientar y coordinar las acciones necesarias.

1.1.1 Situación económica y tecnológica en México, del proceso de fabricación de modelos (patrón y/o prototipos).

Durante años, los modelos patrón o prototipos han sido objetos físicos y estos son modelos de productos nuevos, utilizados en fundición para realizar muestras físicas de una pieza o en otras áreas de diseño para analizar su funcionalidad. Pero a finales del siglo XX, los ingenieros desarrollaron el software de diseño asistido por computadora (CAD) en 3D, lo que permite crear prototipos digitales en la memoria de una computadora y verlos en la pantalla gráfica (Stephen, 2010)

Hasta 1987, los prototipos físicos tenían que hacerse a mano con madera o metal utilizando máquinas de taller como tornos. Muchas veces, los fabricantes de prototipos partían de diseños de ingeniería en dos dimensiones. Las piezas complejas requerían varios montajes y el uso de diversos moldes. Fue hasta los años 90, cuando las piezas se fabricaron directamente a partir de modelos 3D generados por computadora cuando ocurrió la aparición del prototipado físico (Stephen, 2010).

El Prototipado Rápido (RP, por sus siglas en inglés) fue una de las primeras aplicaciones de las tecnologías de fabricación por Manufactura Rápida (RM, por sus siglas en inglés), y permanece hoy día entre las herramientas más potentes para el desarrollo de nuevos productos, explica Stephen en su artículo.

Actualmente las aplicaciones de la fabricación por RM son prácticamente ilimitadas. En el ámbito de la fabricación de modelos para fundición quizás la mayor barrera para realizar nuevas aplicaciones y conseguir grandes beneficios sea la resistencia al cambio. Aunque los costos de adquisición de dichas tecnologías y la posibilidad de adquirir financiamiento para ello son aspectos importantes en conjunto para verificar su rentabilidad.

Por otro lado, la industria de la fundición fue un gran consumidor de modelos primarios al utilizarlos en sus procesos en el año de 2012. En México se cuenta con más de mil

500 fundiciones, de las cuales 90% son pequeñas y medianas empresas (Pymes), que fabrican diferentes tipos de piezas desde las más simples hasta monoblocks y utilizan diversos tipos de metales como son: acero, hierro, aluminio, cobre, entre otros (I.F.Tabira, 2012).

Datos generados en el año 2011, revelan que el sector automotriz es el principal cliente para las fundiciones con un 78% de la producción destinada al automóvil, seguido de lejos por la maquinaria agrícola y las máquinas-herramientas, con unas demandas de un 8.3% y un 3.9% respectivamente. Se puede agregar que las Pymes se encuentran un tanto obsoletas y las necesidades de renovación de equipos son importantes y se pudo verificar con el equipo de fundición de la empresa con la que se colaboró en este informe.

1.1.2 Situación económica y tecnológica en México, del proceso de fabricación de moldes para plásticos en general.

La situación del sector nacional de autopartes repercute directamente a la del plástico que tiene relevancia para esta investigación, pues es uno de sus principales clientes. Por tal motivo se debe hacer extensiva la situación de la industria automotriz y los problemas que le aquejan, hasta la industria del plástico.

En la industria en general del plástico, más del 80% de la maquinaria y herramental proviene del exterior. La industria maquiladora es abastecida de manera marginal por las empresas nacionales. El 84% de las empresas del sector plástico y hule son micro y pequeñas, de las cuales una buena proporción son negocios familiares.

Existen estudios que han demostrado que el promedio de una operación de manufactura de moldes es solo el 15% en actividades de valor agregado, el 85 % del tiempo restante se pueden clasificar en trabajos de banco, ajuste, limpieza de

máquinas, montaje y puesta a punto del trabajo, reparaciones de moldes en piso esperando ser procesados y partes en tránsito dentro del taller (Vega, 2009).

Según datos de la Secretaría de Economía, más del 90% de los herramientas que se utilizan en la industria mexicana son importados. Estados Unidos es el principal exportador de moldes a México, con 43% del total, Canadá aporta 9.3%, Corea del Sur el 10%, China un 8.4% y Japón casi 8% (Metalmecánica, 2011).

En este sentido, la Secretaría de Economía, afirma que no se ha desarrollado completamente el sector de moldes en México (Metalmecánica, 2011). Entre otras razones se habla de:

- ✗ la falta de capacitación, en las áreas de diseño y simulación.
- ✗ la existencia de pocas empresas dedicadas a la producción y manufactura.
- ✗ el bajo nivel de especialización de proveedores, para la puesta a punto.
- ✗ la falta de estándares y normas que determinen la calidad de los moldes.

De acuerdo con la Secretaría de Economía, el valor alcanzado de las importaciones de moldes promedia en los últimos años más de 700,000 millones de dólares (Metalmecánica, 2012). En esta rama industrial de la fabricación de moldes del país no existe un padrón confiable, sin embargo, se calcula que el número de talleres ronda entre los 1000 y 1500, en contraste con la información oficial, proporcionada por el DENE del INEGI, serían 541 los fabricantes.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

Actualmente la empresa con la que se colaboró en este proyecto de investigación ha logrado subsistir en el mercado con sus propios métodos de trabajo, acumulando más de 30 años de experiencia en la manufactura de moldes y modelos de tamaño mediano a grande.

Esta empresa, elabora diferentes tipos de moldes para asientos de automóvil mediante un proceso productivo, que involucra un alto índice de utilización de actividades manuales (mano de obra directa), maquinaria y herramientas manuales, tocando al tipo de trabajo artesanal dentro de la organización. Ante estos hechos, la dirección de la empresa ha tomado la decisión de cambiar para lograr permanecer en el mercado y tener un mayor crecimiento integral de la compañía. Se visualizan diferentes áreas de oportunidad a corregir, como en la administración de producción y el establecimiento de una actitud de mejora continua.

En este proyecto, se usó como base el proceso de la empresa para el desarrollo de los moldes para asientos; para realizar una propuesta de un nuevo proceso que considere el uso de modernas tecnologías CAD-CAM. Esto con el fin de mejorar la calidad, reducir tiempos de desarrollo y costos de sus moldes.

Otro de los problemas de la empresa, es la falta de implementación de metodologías definidas que documenten sus procesos, o modelen la información para el incremento de la productividad.

Con la penetración de las maquiladoras en México para atender a los mercados de Norteamérica, la empresa colaboradora ha perdido terreno en la competencia por captar más mercado en este segmento y pretende recuperar un lugar importante en el diseño, fabricación de moldes y herramientas para la industria de transformación de plásticos.

1.3 OBJETIVO GENERAL.

El objetivo del presente trabajo es el de diseñar un proceso de manufacturar para moldes, mediante el proceso de modelado integral con diagramas IDEF0. Esto con el fin de facilitar una estandarización del proceso de diseño y manufactura de moldes. Con

ellos se busca reducir el costo de manufactura de moldes de este tipo en México e incrementar la calidad durante el tiempo de vida de los moldes.

Dicho proceso consta de una serie de etapas cuya característica sea la simplificación de operaciones, un incremento de la productividad y una constante evaluación que permita a la empresa competir en el mercado.

1.4 ALCANCE.

Como alcances del proyecto que se reportan en esta tesis y se plantearon:

- ✓ Analizar el proceso actual de fabricación de moldes para asientos de automóvil.
- ✓ Modelar el proceso con la metodología IDEF0, que estandarice las actividades de fabricación de asientos de automóvil de la empresa colaboradora.
- ✓ Obtener diagramas gráficos del Modelo IDEF0 del proceso propuesto.
- ✓ Realizar un estudio comparativo de la productividad para el proceso mediante la estimación de costos y tiempos de proceso.
- ✓ Obtener una matriz de evaluación para la selección de alternativas.
- ✓ Proponer un diseño de un proceso productivo a implementar en la fabricación de moldes para asientos de autos y cuyo impacto se vea reflejado en el aumento de los indicadores de productividad.

Todos estos resultados se espera permitirán a la empresa tener mayor competitividad en el mercado y ser proyectada como un proveedor nacional de servicios completos en dar soluciones y herramientas para la industria.

1.5 JUSTIFICACIÓN.

Como se había mencionado anteriormente esta empresa colaboradora ha mantenido presencia en el mercado de moldes para vaciado de espumas de poliuretano. Pero no

ha experimentado un crecimiento sostenido, por la falta de actualización en sus técnicas de fabricación lo que acarrea problemas en sus tiempos de entrega que son largos y en el cumplimiento de los requisitos de calidad del producto que origina rechazos continuamente, considerados como puntos en contra por sus clientes. Esto ha generado una inquietud en la empresa por establecer estrategias para incrementar su productividad, reducir costos y lograr competir en el mercado.

Esta investigación se presenta como una propuesta para contrarrestar dicha problemática y facilita los medios para que la empresa fabricante de moldes se establezca como un proveedor fiable para las firmas internacionales fabricantes de asientos de espuma, o de otras que requieran proveedores de moldes para espumado; satisfaciendo los requisitos en términos de costo, calidad y tecnología; para ser un eslabón en la cadena productiva de la industria automotriz o en general.

Los resultados de esta investigación pueden ser consultados por cualquier empresa del ramo porque se muestra que a través de un diagnóstico de sus procesos de producción, podrán identificar las problemáticas que impiden su crecimiento, sobrevivencia o desarrollo, para enfocar sus recursos hacia un objetivo definido. Asociado a este hecho, una razón más para la realización de este trabajo es que puede ser un aporte técnico y práctico de dichos conocimientos para profesionales y fabricantes dedicados a la industria de los moldes para plásticos espumados.

1.6 METODOLOGÍA.

La presente investigación se realizó dividida en tres etapas metodológicas, la primera utilizó el método del tipo inductivo, en el que a través de la investigación documental se propone conocer la situación actual de la industria de moldes para plásticos en México para establecer el marco contextual donde se ubicó la investigación, que se integra como parte del marco teórico utilizado.

Esto nos permitió establecer la identificación del problema en la empresa colaboradora proveedora de la industria automotriz, en la que comenzamos por conocerla bien a través del diagnóstico y evaluación para poder llegar al planteamiento del problema y al establecimiento de objetivos.

Como consecuencia de la importancia de la competitividad y siendo parte de interés en informe realizado, la investigación procedió a la segunda etapa aproximándonos a la utilización del método hipotético deductivo, donde a partir de las contribuciones de diversos autores que se revisaron en la literatura, los cuales sugieren conocer los recursos y capacidades con que cuenta la empresa estudiada, al mismo tiempo que se evalúa la competitividad comparada con otras empresas alternas del sector manufacturero.

Además, de conocer información relevante de las empresas que requieren de sus productos para establecer las oportunidades de negocios con dichas industrias, conociendo su orientación a través de escuchar la “voz de cliente” para lograr el diseño de procesos competitivos que son parte del resultado de este informe.

En la tercera etapa, se realizó el trabajo de escritorio y discusión con algunos expertos en materia de fabricación de moldes e investigación que incluyó el análisis e interpretación de los datos obtenidos en los diagnósticos y las comparaciones de las propuestas realizadas, como resultado del proceso de interpretar “la voz de cliente”, lo que permite obtener el diseño de un proceso de fabricación que se propone.

A continuación se incluye una descripción de las actividades específicas que se realizaron y que sustentan la metodología que se llevó a cabo:

- Aplicar observaciones, cuestionarios y entrevistas informales. Al igual que en investigaciones revisadas y que se realizaron por otros autores en relación a la competitividad.
- Revisar artículos de investigaciones que involucren diseño de moldes para asientos de auto. Sean estos: tesis, reportes de congresos, libros, etcétera.

- Abordar los problemas en el diseño de moldes para asientos de auto.
- Estudiar los componentes del molde para asiento de auto con el fin de tener en cuenta cada función de los componentes.
- Investigar las nuevas tecnologías de diseño y fabricación de moldes para mejorar la calidad y la reducción de tiempos de elaboración.
- Diseñar un nuevo proceso productivo para fabricar moldes de asiento de auto mediante la determinación de la funcionalidad y la capacidad de fabricación, que implica mejoras en la productividad.
- Evaluar el nuevo proceso diseñado para garantizar la productividad del proceso, comparado con el proceso tradicional.
- Describir y resumir los resultados de la investigación, sin llegar a implementarse.

CAPÍTULO 2. GENERALIDADES.

Entre las piezas de diferentes materiales plásticos, las moldeadas por el proceso con máquinas de inyección son las más conocidas, porque son las más utilizadas en la industria del plástico. Sin embargo, se emplean una gran variedad de procesos para obtener piezas plásticas que requieren de diferentes moldes en construcción y materiales. Existe una gran variedad de partes plásticas utilizadas en la fabricación del automóvil.

Una estrategia para seleccionar los procedimientos de moldeo de plásticos, consiste en utilizar aquellos que cumplan con el criterio que permitan una mayor rapidez de transformación. Por lo que en una evaluación de procesos quedan fuera aquellos que no permiten seguir los ritmos impuestos por las grandes armadoras de automóviles, aunque pudieran mejorar la calidad del producto final.

En el interior del automóvil se combinan materiales como el plástico con textiles, a veces también poliméricos. En los elementos acolchados desde el volante, los asientos, interiores de puerta y techo, el material más utilizado combinado con textiles es el poliuretano espumado (abrev. PUR). Éste puede ser poliuretano conocido como de “piel integral” en el caso de los volantes o bien flexible como en los asientos.

2.1 PROCESO DE MOLDEO DEL POLIURETANO.

2.1.1 Clasificación de los plásticos de poliuretano.

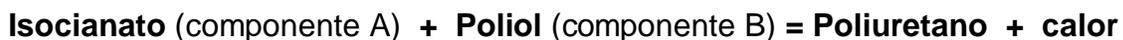
El principio químico básico que da origen al poliuretano (PUR) fue inventado en 1937, en los laboratorios de investigación de la compañía Bayer AG en Alemania. Gracias al Dr. Otto Bayer (1902-1982), quien estaba trabajando en el departamento de investigación de su compañía y de manera indirecta la química del poliuretano fue

descubierta mientras se perseguía lograr innovaciones en otros polímeros. Dentro de los siguientes años, los poliuretanos se convirtieron en una rama nueva y emocionante de la química de polímeros, que ha contribuido con muchos productos para la vida cotidiana (Bayer Material Science, 2012).

De acuerdo con la American Chemistry Council, Inc. (ACC, 2012), "Los poliuretanos se forman cuando un poliol reacciona con un diisocianato o un isocianato polimérico cuando hay catalizadores adecuados y aditivos presentes". Los productos de poliuretano son materiales termoestables, lo que significa que no pueden estar continuamente derritiéndose y formándose en nuevos productos como puede hacerse con materiales de tipo termoplásticos. Aunque hoy en día, la tecnología de reciclaje también se aplica para los productos de poliuretano.

Como se dijo antes la producción de piezas de poliuretano implica una reacción química mediante el cual polioles, isocianatos y aditivos se añaden juntos en cantidades y condiciones específicas para producir un producto de poliuretano con las propiedades requeridas para esa aplicación. Muchos de estos componentes están en forma líquida antes de que se combinen y que reaccionan entre sí.

La reacción básica para hacer un sistema de PUR es:



En un sistema de PUR, el isocianato (componente A) que son sustancias químicas muy reactivas y el poliol (por lo general una mezcla de polioles) (componente B), reaccionan para hacer poliuretanos, pero también pueden reaccionar con muchas otras cosas. Por eso se suministran en una formulación preenvasados o en un sistema, por lo que deben almacenarse con las medidas y equipos de seguridad recomendadas.

Un poliol (componente B), es el segundo componente principal de una formulación de poliuretano. El nombre poliol se refiere a compuestos químicos que contienen múltiples

grupos hidroxilo como: poliéteres, polietilenglicol, polipropilenglicol, politetrahidrofurano, poliésteres y polibutadienos. Los polioles también se utilizan en la ciencia alimentaria y la química de polímeros, incluyendo la formulación de poliuretanos. Es a este componente que se le puede combinar con diferentes aditivos o materiales, logrando propiedades específicas que permite tener una gran variedad de productos de poliuretano para ampliar sus aplicaciones.

También existe una variedad de isocianatos, pero dos de los isocianatos más utilizados son el MDI (diisocianato de difenilmetano) y el TDI (diisocianato de tolueno). Usar diferentes tipos de isocianatos también genera propiedades muy diferentes en el sistema de poliuretano.

En términos generales, el MDI se utiliza para producir espumas de poliuretano semirígidos y rígidos para productos como aislamiento de poliuretano, espumas de poliuretano moldeadas para usos tales como las suelas de calzado, y adhesivos de poliuretano, recubrimientos y elastómeros. El TDI es el más comúnmente utilizado para fabricar espumas flexibles de poliuretano, tales como los utilizados como cojines de muebles, colchones y asientos para auto.

Un sistema de poliuretano se define físicamente por el grado de rigidez, que por lo general, lo ubica en una de las tres categorías (ver figura 2.1):

a) Sistemas de poliuretano espumado flexible.

Estas formulaciones son las que sobresalen en uso en la industria del automóvil, gracias a sus propiedades de tensión, resistencia a la tracción, el aumento de la resistencia a la luz y disolventes. La espuma de poliuretano flexible moldeada para asientos de automóviles satisface diferentes exigencias en los modernos asientos automóbiles. Además de los diseños de asientos ergonómicos, la buena amortiguación a las vibraciones, la durabilidad a largo plazo, criterios como confort en el uso y condición climática son decisivos. Las ventajas del moldeado de espuma de poliuretano

flexible son: variabilidad de la forma en altura, formación de espuma con inserciones posibles, proceso de producción automatizada y partes de doble o múltiples durezas.

b) Sistemas de poliuretano sólido, rígido o elastomérico.

Un sistema de PUR elastomérico se encuentra a menudo en aplicaciones que requieren resistencia al impacto. Estos sistemas presentan una buena resistencia y estabilidad dimensional a través de un amplio rango de temperaturas tienen una excelente resistencia a la abrasión, al desgaste y resistencia al corte. Los poliuretanos elastoméricos se utilizan por ejemplo: para hacer las ruedas de los patines en línea, suelas de zapato, los bujes y las almohadillas de vibración de la maquinaria industrial.

c) Sistemas estructurales de poliuretano compuestos, que son sólidos o materiales espumados.

Un sistema de PUR rígido generalmente tiene un mayor módulo de flexión y grado de dureza. Esta categoría de materiales que normalmente ofrecen buena resistencia térmica, eléctrica, química y buen aislamiento acústico. Por ejemplo, las espumas rígidas de poliuretano se utilizan para aislar térmicamente los edificios residenciales y comerciales o en recipientes.



Figura 2.1. Aplicaciones de los sistemas de poliuretanos.

Los poliuretanos están por todas partes en nuestra vida diaria debido a su gran variedad de propiedades, incluida la capacidad de aislamiento y ligereza. Estos pueden adoptar la forma de losas de espuma, artículos moldeados, e incluso películas o fibras. Por eso los mercados clave para poliuretanos son la industria automotriz, de electrodomésticos, construcción, de muebles y colchones. Parte del éxito del PUR es su capacidad para ser producido de muchas formas diferentes

2.1.2 Tecnología de moldeo de poliuretano (proceso RIM).

Para la fabricación de cualquier sistema de poliuretano, sea flexible, rígido, moldeado, el utilizado para revestimientos, adhesivos, selladores y elastómeros se requiere de la utilización de un equipo capaz de almacenar, medir, proporcionar el calor, mezclar y dispensar los productos químicos (que como ya vimos, por lo general será un polioli o poliéster, y un isocianato o diisocianato).

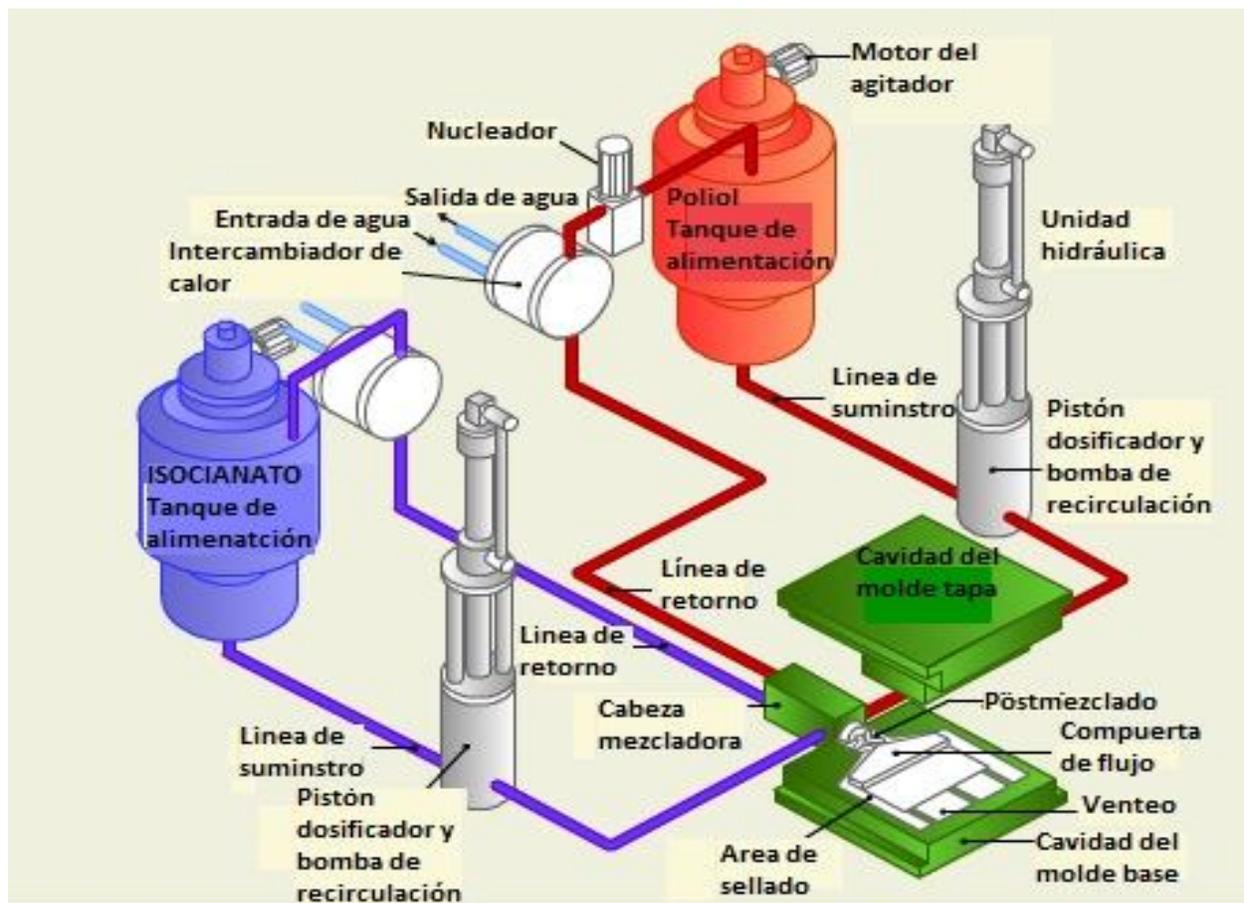


Figura 2.2. Proceso RIM (Adaptado de Bayer MaterialScience, 2012).

En contraste con los procesos utilizados en termoplásticos, los plásticos RIM como se mencionó anteriormente se componen de dos componentes líquidos que reaccionan químicamente en un molde para formar una pieza de plástico. Esto requiere mucho menos calor y presión que la fusión de un material termoplástico para después inyectarlo a alta presión.

Los tanques presurizados (ver figura 2.2), por lo general tienen poco más de 110 litros de isocianato y polioli. Existen en el sistema bombas de recirculación y agitadores para mantener una mezcla homogénea de los componentes individuales. Los intercambiadores calor se encargan de mantener su temperatura de operación. Los cilindros dosificadores de alta presión miden la proporción adecuada del isocianato y el polioli para introducirlo en la cabeza mezcladora (Craig, 2001).

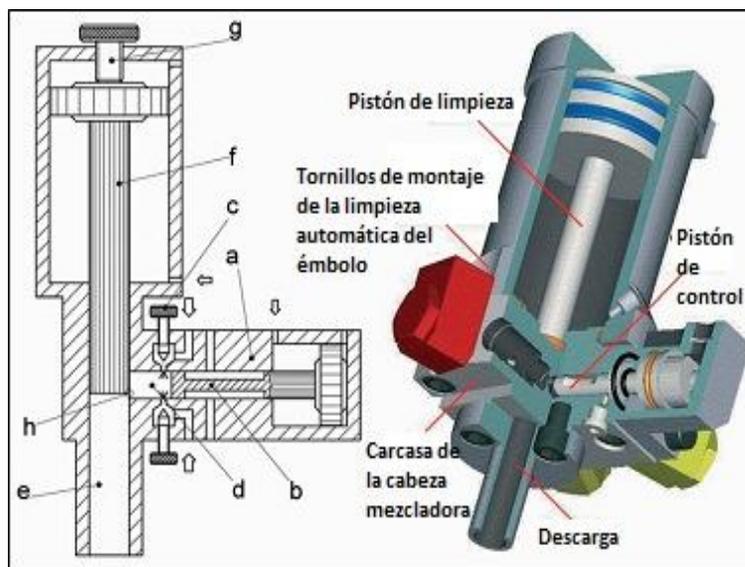


Figura 2.3. Izquierda: Esquema de una cabeza mezcladora de tipo L con el mecanismo de ajuste de la sección transversal del acelerador, (a: pinzamiento mezclador, b: el control y la limpieza del pistón, c: toberas de inyección, d: cámara de mezcla, e: canal de descarga, f: pistón de descarga de la limpieza, g: mecanismo de corte transversal del acelerador ajuste, h: sección transversal del acelerador). A la derecha: Modelo CAD en 3D seccionado (adaptado de Maier, 2004).

Los caudales, presiones y temperaturas son controlados para conseguir una buena calidad de las piezas moldeadas. El cabezal mezclador contiene boquillas con inyectores que hacen chocar el isocianato y el polioli a muy altas velocidades (ver figura 2.3). Entonces el proceso de moldeo por inyección con reacción, (RIM, por sus siglas

en inglés) se basa en mezclar dos componentes líquidos de bajo viscosidad por medio de alta presión dentro de una cabeza mezcladora mediante un choque de partículas (Palmosina, 2000).

Al igual que el moldeo por inyección termoplástica, el proceso RIM es un formador de piezas plásticas que utiliza moldes con la forma de dichas piezas, pero la similitud ahí termina. En este proceso el material una vez mezclado es introducido en el molde de la parte a fabricar de dos formas:

1) La primera forma suele llamarse a molde cerrado y es que puede ser dirigido para que fluya a través de un sistema de colada que consiste en un canal post-mezclador, lo que asegura un material bien homogenizado que luego pasa a una zona de relajamiento de material lo que minimiza la turbulencia para ser introducido en el molde como un flujo laminar.

2) La segunda forma de moldear el poliuretano es a molde abierto, en el que el flujo de material se hace más lento en la cabeza mezcladora, para que posteriormente el material sea depositado (de forma similar al vaciado que se hace en fundición), en la cavidad del molde que va a ser reproducido. Desde la cámara de mezcla, el líquido fluye entonces en el molde a una presión igual a la atmosférica. En el interior del molde, el líquido se somete a una reacción química exotérmica que realiza el polímero de poliuretano en el molde.

Dentro de las ventajas del proceso RIM, están el que utiliza líquidos de muy baja viscosidad de 500 a 1500 centipoises (cps), bajas temperaturas de procesamiento de 32 a 40° C, bajas temperaturas de molde de 32 a 40° C y bajas presiones de moldeo internas entre 0.35 y 1.034 Mpa. Estas condiciones de procesado proporcionan unas ventajas para el proceso de RIM en comparación con otros métodos de procesamiento de plástico. Entre las que se encuentran:

1. Obtener piezas muy grandes. La fluidez de los componentes de poliuretano líquido les permite llenar moldes para piezas de gran tamaño.

2. La encapsulación de los insertos. Insertos de muchos tipos se pueden colocar en un molde antes de la inyección del material de RIM y el material puede encapsular insertos durante el moldeo.
3. Las paredes gruesas y delgadas. El proceso de RIM le ofrece la flexibilidad para diseñar piezas con importantes variaciones de espesor de pared.
4. El acabado superficial de las piezas moldeadas con el proceso RIM permite a los fabricantes producir partes pintadas con excelente terminado, como los de clase A.
5. Decoración en el molde. Con el proceso RIM es posible aplicar capas de pinturas de gel y de dos componentes de poliuretano, en el mismo molde antes de la inyección.
6. Opciones de bajo costo de operación. La presión de inyección baja del proceso RIM permite a los constructores del molde utilizar una variedad de materiales menos costosos.

2.2 DISEÑO DE MOLDES PARA ESPUMAS DE POLIURETANO.

Las metodologías de diseño para la fabricación de moldes propuestas en la actualidad que han sido analizadas por los expertos y que se pueden aplicar a cualquier tipo de molde, incluyendo los de asientos de auto presentan generalmente los siguientes problemas (Rubio, 2000):

- La complejidad que posee el proceso de diseño del molde exige un gran número de iteraciones, que hacen muy difícil el desarrollo de un algoritmo único que resuelva este proceso.
- En esta área del conocimiento del diseño mecánico existen soluciones de alto contenido empírico difíciles de racionalizar, incluso mediante el uso de herramientas CAE o sistemas avanzados. En este caso de estudio que hemos abordado se ha confirmado parte de esta problemática.

Para resolver los problemas antes citados será necesario clarificar y simplificar una metodología para que pueda ser implementada en forma de algoritmo, que se apoye en un sistema CAD y de ser posible que integre las herramientas CAM y CAE.

Actualmente en un proceso de vanguardia tecnológica, el primer paso para la fabricación de una pieza que se va a fabricar moldeada es la definición de las medidas y sistema de llenado del molde en función de un posible análisis de simulación.

En las partes del automóvil, se tiene tendencia a producir primero un modelo generalmente un archivo en CAD en 3D, a partir del estilizado realizado por los diseñadores que posteriormente se suele mecanizar sobre materiales blandos adecuados y que eventualmente puede servir para fabricar piezas prototipo.

Una vez aceptado el modelo, este puede servir con el uso de máquinas de medición por coordenadas para crear la definición numérica de la pieza si no se ha hecho a partir de un archivo CAD del modelo. Esta parte se realiza durante la definición de las herramientas para el molde en función del cálculo de contracciones y otros parámetros que intervienen posteriormente en el moldeo.

2.2.1 Método para diseño de moldes.

Los moldes para espumados de poliuretano se construyen utilizando técnicas y directrices similares a las de moldeo por inyección convencional. En estos moldes se requieren ciclos de llenado más rápido y tiempos de curado más largos, también es importante el uso de sistemas estratégicos de venteo y los métodos de calefacción.

Existen dos métodos básicos para la producción de espuma comercial: la de rociado y de vertido (Bakerjian, 1998).

El método de rociado se limita generalmente a las espumas rígidas, mientras que el método de vertido se utiliza para todos los tipos de espumas. El método vertido se subdivide en las categorías: de espuma vertida en flujo abierto y cerrado.

En el método a flujo abierto, los reactivos de la espuma mezclados se dispensan de forma continua o en disparos temporizados en cavidades abiertas donde la reacción

tiene lugar. A excepción de sistemas muy rápidos (como el de la espuma elastomérica de alta densidad), todas las espumas flexibles y rígidas pueden ser hechas por esta técnica. La cavidad puede dejarse abierta o cerrada después de la colada. Si la cavidad es abierta, el material resultante se denomina espuma de plancha o losa.

Cuando la cavidad está cerrada, la espuma es llamada moldeada. Para espumas flexibles, la producción mundial es de aproximadamente 50% en losa y 50% moldeado. Los moldes para las espumas flexibles pueden ser individuales, como los que son utilizados para fabricar asientos de automóvil (Bakerjian, 1998).

2.2.1.1 Guía de diseño.

En la fabricación de moldes para asiento de autos se deben seguir los siguientes lineamientos o consideraciones de diseño para lograr un molde con resultados exitosos (Bayer MaterialScience, 2008):

1.- Consideraciones para la contracción.

Todos los plásticos incluyendo los materiales de poliuretano contraen durante el enfriamiento, muchos factores influyen al calcular con exactitud el porcentaje de contracción a utilizar, las compañías fabricantes de espumas de PUR han estimado porcentajes de contracción de acuerdo a cada uno de los sistemas de PUR que desarrollan. Cuando se diseña y construye un molde se debe considerar en cada una de sus dimensiones la contracción por unidad de longitud, ajustando las dimensiones del molde para producir la parte final dentro de las dimensiones especificadas.

2.- Tolerancias dimensionales.

Un buen número de variables del entorno de fabricación y procesamiento del material determinan las variaciones de las partes fabricadas para tener el tamaño especificado. Entre las variables que afectan la reproducibilidad son:

- Densidad de la pieza.
- Temperatura del molde.

- Alineación del molde.
- Desgaste del molde.
- Razón de inyección.
- Tiempo de desmoldeo.
- Relación de componentes y temperaturas.
- Temperatura ambiental y porcentaje de humedad.
- Curado de partes inhibidas o desiguales.
- Presión del molde.

Gracias a la ayuda de los sistemas CAD/CAM y otros avances, la precisión del molde se ha mejorado y no debe ser una preocupación mayor. El fabricante de moldes debe garantizar una tolerancia dimensional, en la mayoría de casos de 0.1 %, más o menos, dependiendo de la parte.

3.- Consideraciones para la línea de partición.

Con frecuencia, la configuración de la pieza limita la localización de la línea de partición, sin embargo la posición de la línea de partición influye directamente en otras características del molde incluyendo la posición de llenado, la inclinación del molde y las zonas de venteo. Se prefiere que los moldes sean llenados del punto más bajo al punto más alto, con la línea de partición tan alto como sea posible para acomodar la zona de venteo y liberar el aire atrapado (ver figura 2.4).

Debe procurarse que en el diseño de las partes se llegue a utilizar un molde hecho en dos partes. Si la línea de partición no puede ser localizada en la posición más alta en la cavidad del molde se debe usar una placa de arrastre para crear una línea de partición secundaria.

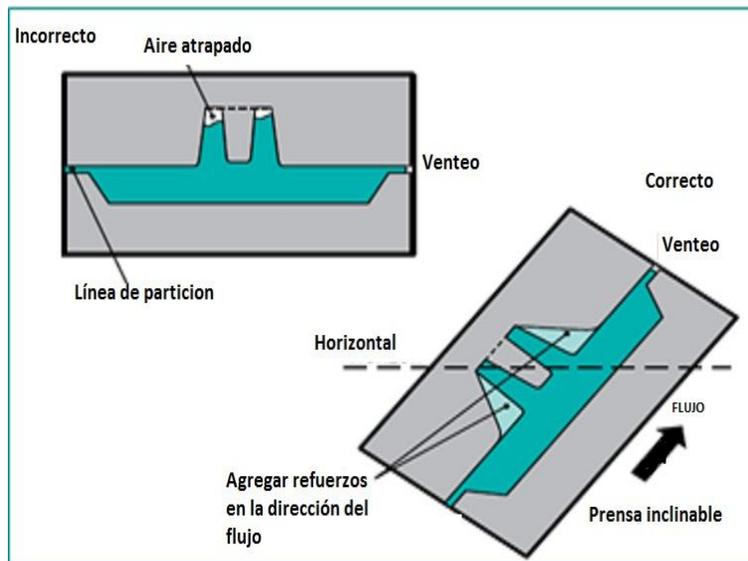


Figura 2.4. Posición de llenado, línea de partición (Adaptado de Bayer MaterialScience LLC, 2008).

4.- Sellado de molde.

El sellado del molde debe ser hermético, para lograrlo este se realiza con una pasta de resina epóxica (ver figura 2.5). Para lograr este sellado la presión interna del molde no debe exceder la presión de sujeción del molde. La superficie de sellado se encuentra alrededor de la cavidad y el canal de venteo debe ser tan pequeño como sea posible para reducir el área de contacto y proporcionar un buen sellado.

Cuando una pieza es fabricada por el proceso RIM para materiales de poliuretano, los moldes deben estar sellados para asegurar la densidad de la pieza y minimizar el “flash”, que es el exceso de material que se forma a lo largo de la línea de partición. Algunas veces el flash es creado de forma intencional en algunas áreas para ayudar al llenado en la cavidad del molde, en estos casos el molde debe tener un vertedero para colectar el exceso de material.

5.- Venteo del molde.

Todos los moldes usados con sistemas de PUR en RIM, deben tener zonas de ventilación para asegurar que el aire en la cavidad pueda escapar durante el proceso de llenado. Después, de observar las primeras piezas vaciadas, se determina las zonas

donde sea requerido un venteo, cortando o maquinando la zona donde se ha marcado (ver figura 2.6).

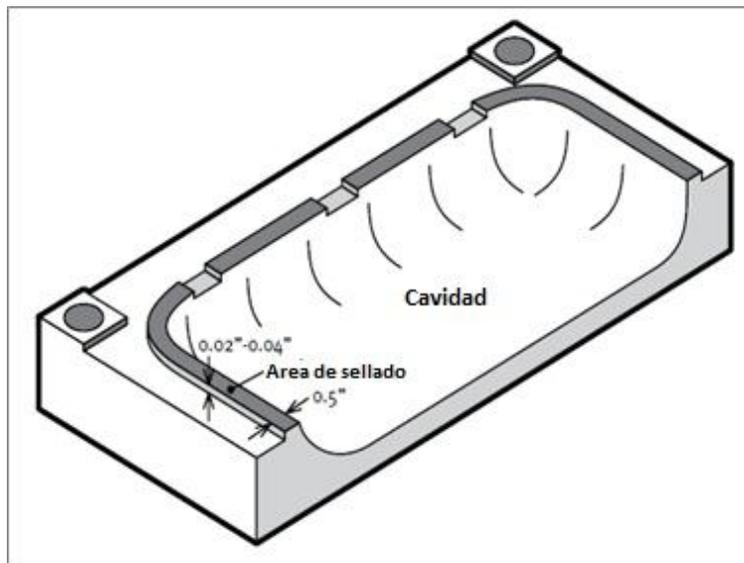


Figura 2.5. Área de sellado del molde (Adaptado de Bayer MaterialScience LLC, 2008).

6.- Llenado del molde.

Los niveles de llenado de un molde varían de acuerdo al sistema PUR utilizado y a su densidad. En un sistema de espumado se llena de un 40 o al 80% de la cavidad del molde, dependiendo de la densidad requerida en la pieza final.

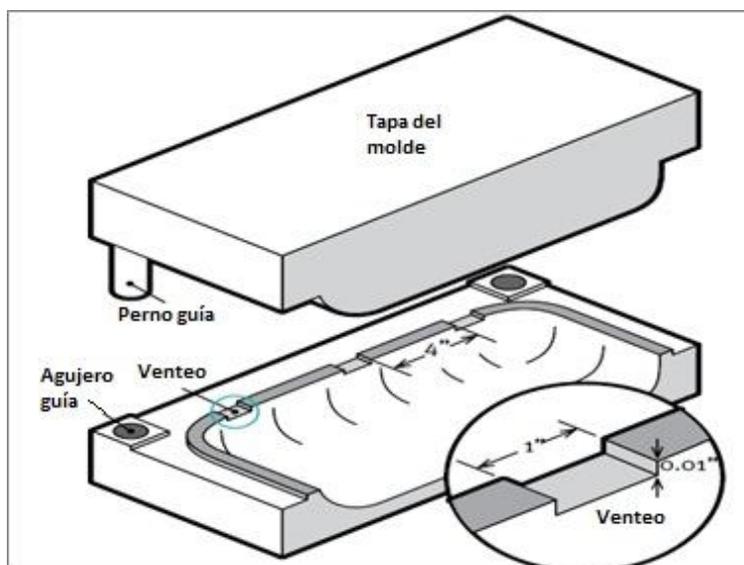


Figura 2.6. La ventilación del molde típico (Adaptado de Bayer MaterialScience LLC, 2008).

Cuando se planifica el flujo de un material apropiado hay que considerar cualquier obstrucción en la cavidad del molde, por ejemplo núcleos o corazones. Para reducir el efecto de soldadura o línea de puntos originado por estos obstáculos, los sistemas líquidos de poliuretano deben fluir alrededor de dichos elementos y reunirse.

Al analizar este y otros factores de conformación de la espuma en el momento del llenado, se pueden realizar análisis de flujo computarizado, que puede ayudar a determinar dónde pueden ocurrir problemas.

7.- Control de temperatura de molde.

Cuando se diseña un molde para espumado de poliuretano debe tenerse en cuenta la temperatura del molde y la forma de controlarla, este control dependerá de la configuración de las líneas de calentamiento o refrigeración.

La temperatura del molde afecta la calidad de la pieza terminada. Cuando los componentes en un sistema RIM de poliuretano reaccionan se genera una gran cantidad de calor en proporción a la masa de material mezclado. La temperatura del molde debe permanecer constante en un cierto nivel entre 48 °C y 66 °C, dependiendo del sistema utilizado.

Para mantener el control de temperatura en el molde este calor debe ser conducido a través de sus paredes, en dirección de la parte que se cura. El método típico para mantener y controlar la temperatura del molde es mediante canales de calefacción donde circula agua. Generalmente, el tipo de canales de distribución múltiple para la calefacción es preferido por los diseñadores, sobre los del sistema de simple paso, pues tiene mejores ventajas (ver figura 2.7).

Dependiendo del sistema de PUR con el que se trabaja, el material del molde, el tamaño y la complejidad del mismo, se determina la colocación y el número de canales de enfriamiento. Para mejores resultados, una recomendación de diseño es que los canales deben ser colocados entre 1.5 a 2 veces el diámetro del tubo de los canales de

distancia de la superficie de la cavidad del molde y un máximo de dos pulgadas entre centro de los canales, dichos canales deben tener un diámetro entre 3/8" y 1/2" de diámetro.

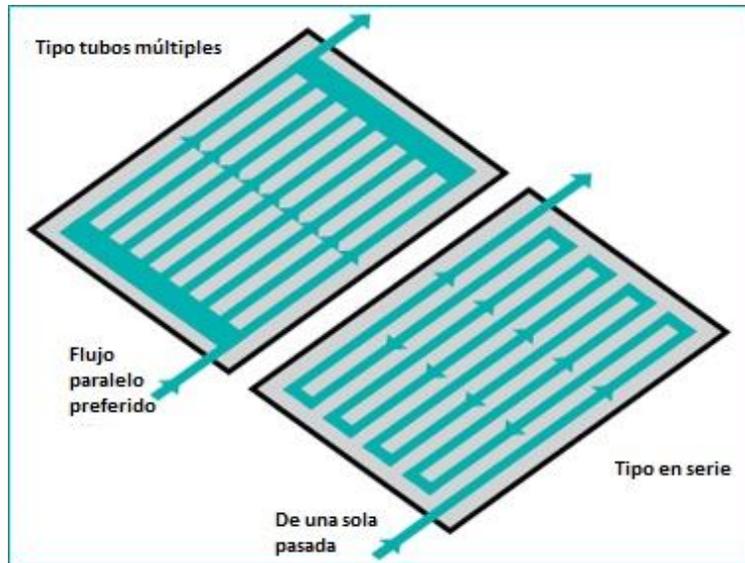


Figura 2.7. Geometría de los canales de refrigeración (Adaptado de Bayer MaterialScience LLC, 2008).

8.- Métodos de expulsión.

Para ayudar a remover las piezas moldeadas, se utilizan diferentes técnicas. Los tres métodos más comunes son:

- Ventosas de vacío. Son aplicadas a las partes para una remoción manual y este método puede ser usado para desmoldear los asientos de auto.
- Asistencia de aire. Este método se ha demostrado que es suficiente para piezas sencillas y planas.
- Expulsión hidráulica o mecánica. Se utilizan pernos en localizaciones estratégicas para expulsar las partes, generalmente usado en piezas estructurales.

9.- Corazones e insertos móviles o desplazables.

Se utilizan corazones móviles cuando una pieza tiene una entalladura o socavado, existe un ajuste a presión, un agujero o una muesca, que es localizada perpendicularmente a la dirección de extracción (ver figura 2.8). Una técnica es utilizar

corazones herméticos para prevenir que el material produzca flash dentro del actuador y bloquee su deslizamiento. Se puede considerar usar *o-rings* en los pernos y la flecha del actuador para prevenir el bloqueo.

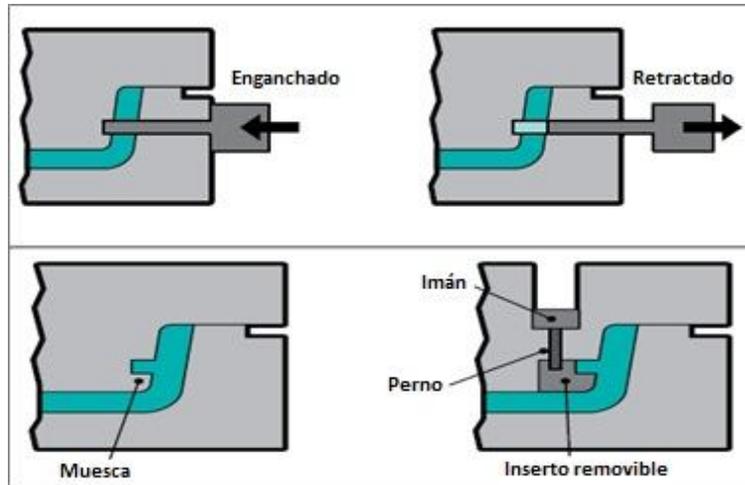


Figura 2.8. Superior: agujero con corazón removible. Inferior: entalladura con inserto removible (Adaptado de Bayer MaterialScience LLC, 2008).

Los insertos removibles son otro método para realizar entalladuras o socavados. A los operadores de moldes no les gusta usar estos insertos, pues implican una mayor labor de preparación y pueden fallar si se salen de posición y dañar el molde, pernos alineados en la dirección de extracción fijan el inserto en su posición, permitiendo que el inserto sea removido con la pieza vaciada. Este tipo de consideraciones de diseño como corazones e insertos móviles se deben discutir en el proceso de diseño del molde.

2.2.2 Métodos de construcción de un molde y técnicas de fabricación.

Debido a que los poliuretanos generan calor cuando reaccionan se debe elegir un material del molde que sea conductor, para disipar el calor de la pieza moldeada. Por esta razón los moldes metálicos son más recomendados. Además que para los moldes de los asientos que son de dimensiones grandes es necesario montarlos en portamoldes (*carriers*), y fijarlos bien. La determinación de cual material es mejor para la fabricación de un molde, depende de varios parámetros como:

- Número de piezas a fabricar
- Requerimientos del acabado superficial
- Tiempo disponible para construir el molde
- Tolerancias de las partes, dimensiones y formas de la geometría
- Tiempo de ciclo de moldeo y conducción de calor
- Calidad de piezas fabricadas
- Selección de material

Como la textura superficial es duplicada, las superficies no porosas de los moldes son esenciales, un alisamiento de la superficie del molde mejorará la superficie de las piezas. Las geometrías como agujeros, formas estriadas y otras imperfecciones en la superficie en el molde pueden llevar a obtener una pieza mala o a su ruptura.

Como regla básica: El sistema de poliuretano para RIM y los parámetros de producción influyen en el material de fabricación del molde. La geometría de la pieza influye en la técnica de construcción.

2.2.2.1 Materiales de fabricación.

Acero.

Debido a su alto grado de confiabilidad en la producción, los moldes maquinados de acero son especialmente ventajosos para altas producciones de piezas. Éste ofrece una vida larga del molde y puede ser diseñado con sistemas de expulsión automáticos, aunque no es muy elegido cuando se trabaja con piezas de materiales más blandos. Debido a su mayor costo se recomienda para producciones muy grandes en la industria automotriz. Típicamente los moldes de acero son más usados para partes hechas de materiales con rellenos de fibras cortas o compuestos, debido a la resistencia a la abrasión del acero.

Aluminio.

Este material tiene un peso más ligero, buena conducción del calor y más bajo costo de maquinado que el acero, por estos factores el aluminio tiene más preferencia para ser elegido como material por los fabricantes de moldes especializados para poliuretano. Otra de las características que tiene a su favor es ser más blando que el acero y puede utilizarse para grandes producciones o para ser usado en sistemas compuestos.

Aleaciones de Zinc (Zamack).

La ventaja en calidad que ofrece la fundición de moldes de aleaciones de zinc, es obtener una superficie sin poros. Éstos son relativamente más pesados y requieren un espaciado más estrecho entre las líneas de enfriamiento para mayor control de temperatura, porque no son tan buenos conductores del calor como el aluminio.

Cáscara de Níquel.

Para una alta calidad de reproducción se considera esta cáscara de níquel, estas cáscaras tienen una alta dureza superficial y ofrecen una buena característica para desmoldar. Los moldes más grandes son montados en una estructura de acero o aluminio con un vaciado de material para darle rigidez estructural. Las vías de enfriamiento pueden ser fijadas en la parte posterior de la cáscara.

Resinas Epóxicas.

Usados para corridas cortas o bajas producciones, piezas prototipos, los moldes de material epóxico tienen poco control de temperatura son frágiles y pueden tener una superficie muy rugosa. Éstos son malos conductores de calor algunas veces producen partes pegadas. Por eso estos moldes deben ser usados para producciones pequeñas o prototipos, cuando la calidad no es importante y el bajo costo es predominante. Las partes espumadas en moldes de epóxico tienden a tener paredes delgadas y no uniformes.

2.2.2.2 Técnicas de construcción del molde.

Como se mencionó antes, la geometría de la parte final influye en la técnica de la construcción del molde. En esta sección se analizan en forma general varios de los más comunes métodos de construcción.

Bloque fresado.

En esta técnica de construcción, la cavidad del molde se mecaniza directamente en un bloque de metal. Aunque puede ser más costoso un molde de un bloque fresado, esta da la representación más exacta de la parte, no muestra líneas que indiquen las partes en que está construido el molde y se incorporan las líneas de enfriamiento de forma fácil, sin embargo son más difíciles de modificar.

Componentes estructurales.

Esta técnica de construcción se realiza mediante placas fresadas que se unen con tornillos, pernos o soldadas. Placas unidas y barras es el método elegido para partes planas de gran tamaño en longitud.

Perfiles de aluminio extruido.

En la construcción de moldes de bajo costo se utilizan los perfiles extruidos tanto para sistemas sólidos y de espuma, se encuentra especial aplicación para geometrías de perfil como marcos de ventanas o puertas de hojas.

Chapa de Níquel.

En la construcción con chapado de níquel, se forma una chapa electrolíticamente o por deposición electrolítica. En esta técnica, una capa de 0.04 a 0.08 pulgadas de níquel se deposita sobre un modelo patrón positivo, con una capa de respaldo de cobre de 3/8" a 1/2" pulgadas electrolíticamente depositado sobre el níquel. Las líneas de refrigeración también pueden ser colocadas en esta capa de respaldo.

Fundición.

Esta técnica es la más utilizada en la fabricación de moldes y es la fundición de moldes en aluminio la preferida para su construcción ya que son más baratos. Estos son excelentes moldes y se utilizan de forma particular para partes con curvas prominentes (ver figura 2.9). Los moldes de acero no son normalmente fundidos.

La porosidad de la superficie a menudo debajo de una finísima capa del material puede causar dificultades en el pulido de moldes de aluminio fundido. Para hacer un molde de fundición se requiere de un modelo patrón positivo con una línea de partición predeterminada previamente realizada, este patrón es entonces fundido. Después, la superficie está condicionada para eliminar burbujas e imperfecciones. Las líneas de enfriamiento pueden ser fundidos en el mismo molde.



Figura 2.9. Ejemplo de molde fundido en aluminio.

2.3 DESCRIPCIÓN DEL MODELADO IDEF0 (DEFINICION INTEGRAL PARA MODELADO DE FUNCIONES).

2.3.1 Definición para modelado de funciones (IDEF0).

La finalidad de esta metodología es organizar los procedimientos para obtener resultados de calidad en el menor tiempo posible. El método IDEF0 (Integration Definition Function Modeling) plantea una secuencia de etapas y utiliza la combinación de gráficas y texto presentados en forma jerárquica, organizada y sistemática. La familia de técnicas *sobre* la definición de lenguajes (*Definition Languages*) del programa *ICAM (Integrated Computer Aided Manufacturing)*, se ha convertido en una técnica estándar para modelado. Este método fue derivado de un lenguaje gráfico conocido como Análisis Estructural y Técnica de Diseño (FIPS- PUBS, 1993).

Un modelo funcional es la representación de una serie de componentes de un sistema, desarrollado para el entendimiento, análisis, modificación o remplazo de sistemas compuestos por funciones interdependientes; describiendo a detalle las tareas que el sistema desempeña, lo que controla, los componentes que trabajan en él, las funciones y actividades involucradas en lo que el sistema produce.

El modelo IDEF0 es una técnica de modelado basado en una combinación de diagramas gráficos, jerárquicos, organizados y sistemáticos que garantizan el entendimiento y fundamentan el análisis, propician la lógica en los cambios potenciales, requerimientos específicos o inclusive fundamentan las actividades de diseño e integración.

El modelado IDEF0 para actividades de manufactura debe comprender subactividades, a través de diagramas secuenciales más detallados considerados como únicos, manteniendo una relación jerárquica entre las diferentes actividades en los diversos niveles del modelo, representados mediante cajas, flechas, textos y referencias cruzadas (Colquhoun, 1991).

La necesidad de implementar como herramienta la técnica IDEF0, en el proceso de diseño de moldes es porque puede representarse un modelo estructurado de todas las etapas involucradas en la fabricación del molde. Para el modelado del diseño de proceso son necesarios tres aspectos por separado, una metodología, una técnica y una herramienta, definiéndose así también para el modelado de la manufactura de moldes (Brancroft, 1989).

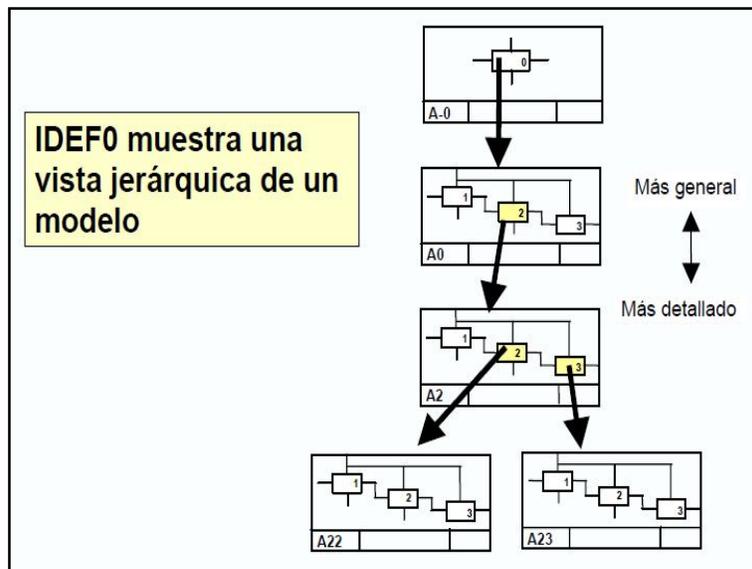


Figura 2.10. Jerarquías del modelado IDEF-0 (Adaptado de FIPS-PUB-183, 1993).

A continuación se describirá el proceso de modelado IDEF0:

Se debe comenzar el modelado con un diagrama inicial de la función más general, en este caso del proceso de diseño para la fabricación de moldes, descomponiéndola sistemáticamente en subfunciones que generaran nuevos diagramas de manera progresiva, internándose en las subfunciones hasta llegar al nivel necesario con las funciones básicas para lograr los objetivos establecidos por el proyecto (ver figura 2.10) (Karim, 1994).

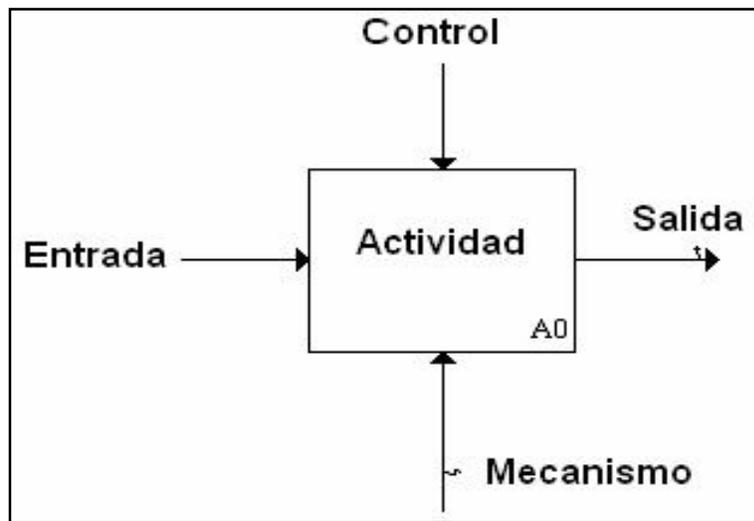


Figura 2.11. Diagrama estructural gráfico de un IDEF0 (Adaptado de FIPS-PUB-183, 1993).

Donde cada elemento representa (ver figura 2.11):

A0.- es el identificador del nodo o actividad que se va a desarrollar.

ACTIVIDAD.- es la acción que se desarrollará para llevar a cabo un paso del método.

ENTRADA.- son los elementos necesarios para desarrollar una actividad, ya que ésta sólo será ejecutada por completo si tiene todos los elementos para realizarse

SALIDA.- serán los resultados obtenidos al término de la actividad.

CONTROL.- regulará o acotará el desarrollo de la actividad, por lo que sólo permitirá usar la información que requiera a partir de una serie de datos que pueden o no ser útiles.

MECANISMO.- proporcionará las herramientas, recursos y conocimientos necesarios para realizar la actividad (FIPS-PUB-183, 1993).

Los diagramas de la metodología IDEF0, pueden ser representados por diversos paquetes informáticos, tal es el caso del software BPwin®, que se utilizó en este reporte. Este es una potente herramienta de modelado que sirve para analizar, documentar y mejorar los procesos. Con un modelo gráfico de BPwin® se puede documentar fácilmente factores como qué actividades se necesitan, cómo llevarlas a cabo y qué recursos emplear (ver figura 2.12).

Used at:	Author:	Date:	WORKING	READER	DATE	Context:
	Project:	Rev:	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			
Node:	Title:	Number:			Page:	

Figura 2.12. Formato gráfico de IDEF0, que generado por el software BPwin® (Adaptado de FIPS-PUB-183, 1993).

2.4 CICLO DE VIDA DEL ASIENTO DE UN AUTOMÓVIL.

El ciclo de vida de un producto es el conjunto de etapas que recorre un producto individual (o conjunto interrelacionado de componentes físicos o intangibles) destinado a satisfacer una necesidad (una lavadora doméstica, un programa de ordenador, una tarjeta de crédito) desde que éste es creado hasta su fin de vida.

Syan y Menon, distinguen las siguientes etapas del ciclo de vida al analizar la evolución de los costos a lo largo del ciclo de vida (Syan, 1994): 1) Diseño conceptual y

preliminar; 2) Diseño de detalle y desarrollo; 3) Producción y/o construcción; 4) Uso del producto; 5) Fin de vida y retiro.

El diseño de los asientos de un auto está siendo objeto de una creciente atención por parte de los fabricantes de automóviles. Se ha demostrado que el estilo de los asientos, su comodidad y seguridad contribuyen al primer efecto estético del automóvil y aportan una mayor satisfacción del cliente, mientras que su duración puede quedar reflejada en el valor residual del vehículo.

La función básica del asiento es aportar comodidad al pasajero tanto en condiciones estáticas como dinámicas. La sensación estática requiere una alta resiliencia con la suavidad de la superficie y una buena firmeza para grandes pesos. Sin embargo, es el confort dinámico el que se puede considerar como clave. Esta habilidad recae en la capacidad de realizar las espumas de PUR a la medida de las exigencias dinámicas específicas, por lo tanto es una ventaja relevante.

La gestión del ciclo de vida útil se basa en el seguimiento de las aplicaciones durante toda la curva del ciclo. Gracias a la gestión de estas aplicaciones durante su ciclo de vida, se genera valor para los clientes a través de las innovaciones que se adaptan a las nuevas tendencias, a las normas de la industria y a los beneficios en la productividad que mejoran los materiales para aumentar el rendimiento del procesamiento.

Para describir cada una de las etapas del ciclo de vida de un asiento, se apoyará en el diagrama de la figura 2.13, para ir describiendo cada una de ellas. Cuando una empresa ensambladora de autos ha tomado la decisión de lanzar un nuevo modelo de auto, entonces ha decidido fabricar toda una gama de nuevos módulos como: el módulo de interiores donde se encuentra el módulo de asientos, que nos interesa por ser el motivo para desarrollar este informe.

Es en este momento cuando se ha generado la primera etapa (1), en la vida del asiento (ver figura 2.13), ya que en esta etapa de concepción del nuevo modelo de auto requerirá un nuevo modelo de asiento. Pues es muy probablemente que no esté considerado utilizar un asiento de algún modelo de auto ya existente, más si se trata de una plataforma de auto totalmente diferente.

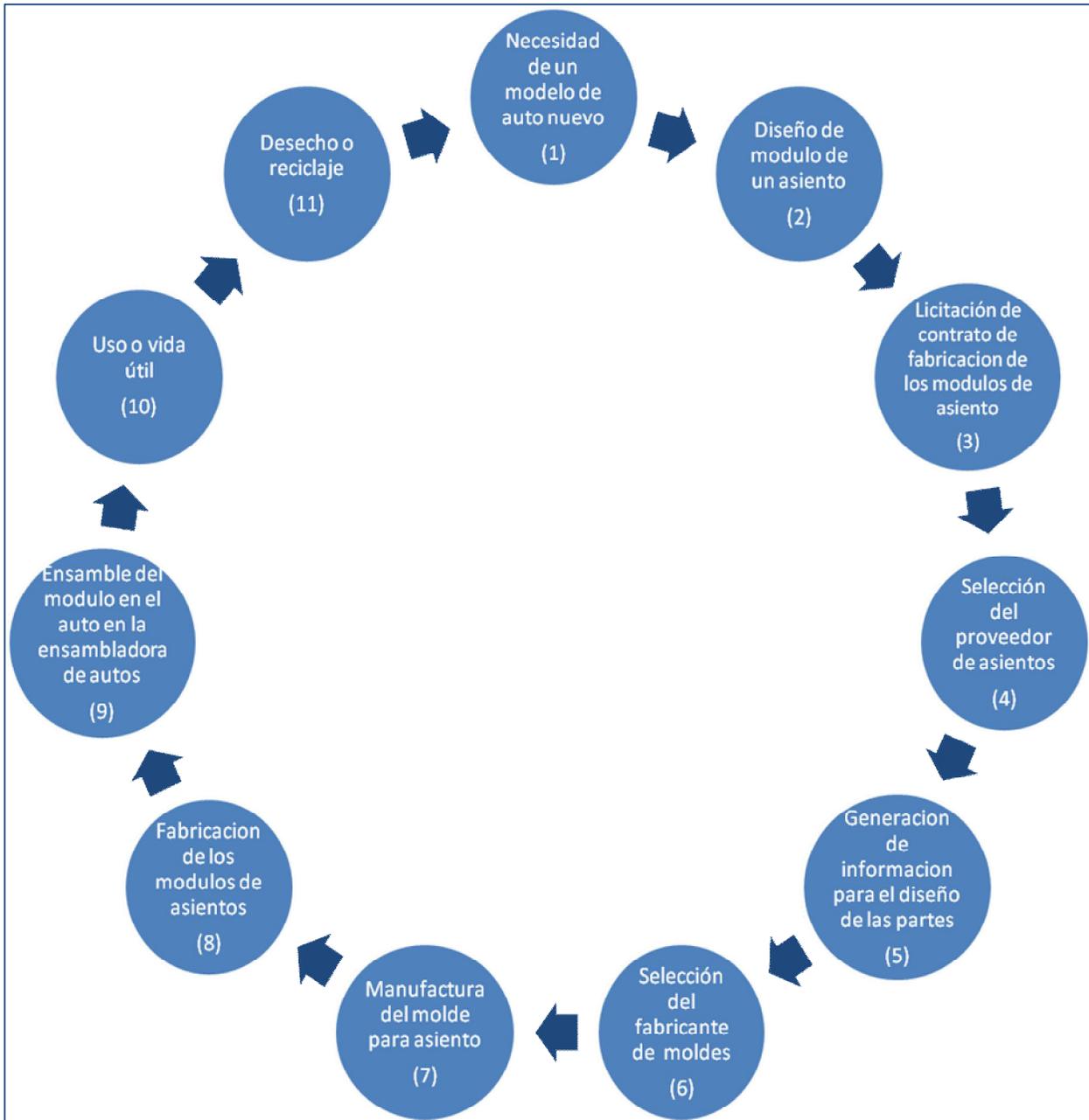


Figura 2.13. Ciclo de vida de un asiento.

En la segunda etapa (2), la empresa fabricante de los módulos de asientos tendrá que diseñar el asiento, considerando el desarrollo de las partes que lo integrarán, constituido por un asiento en espuma de poliuretano, un bastidor metálico embebido en la espuma y un forro de tapicería como mínimo, en la actualidad a los módulos de asientos de autos se les han ido adicionando otros mecanismos o dispositivos (ver figura 2.14).



Figura 2.14. Partes principales de un modulo de asiento para auto (Cortesía Lear, Co.).

En la siguiente etapa que es la tercera (3) del ciclo de vida de un asiento, la empresa ensambladora lanza una licitación entre sus principales proveedores de asientos, cuyo mercado está liderado por compañías como *Lear Corporation*, *Johnson Controls*, e *INSA* (filial de *Tachi-s*, empresa japonesa). Para que concursen con sus mejores cotizaciones para ganar la fabricación de los módulos de asientos de autos de los nuevos modelos. Aunque se debe agregar que estas empresas multinacionales, además concursan por la fabricación de otros módulos que utilizará el auto y abarcan otros segmentos de mercado lo que les permite mantener varias divisiones en sus plantas.

En la cuarta etapa (4) del ciclo que es la selección del proveedor, es la misma empresa ensambladora quien se encarga de evaluar las cotizaciones que son presentadas por

los diferentes proveedores de módulos de asientos. Evaluando como ya se dijo el factor tiempos de entrega contra costos. Una vez que la licitación es ganada por una compañía fabricante de los módulos de asiento, los contratos que la ensambladora establece con sus clientes son relaciones de coordinación y colaboración que duran de cuatro a seis años y depende del ciclo de vida del modelo de auto para el cual se proveen asientos automotrices.

Una vez que se ha hecho la selección de un proveedor de módulos de asientos, las ensambladoras siguen monitoreando y evaluando a sus proveedores calificándolos continuamente mediante algún método de asignación de puntaje, donde son observados el sistema de entregas (parte de logística), calidad y reducción de costos de producción, que originalmente quedan pactadas en el contrato firmado entre las partes.

En la siguiente etapa considerada como la quinta del ciclo de vida (5), el flujo de información que hay entre la ensambladora y la empresa que le suministra los módulos de asientos, está basada en un proceso de comunicación continua y abierta. El proveedor recibe la siguiente información: el pronóstico de producción, que se envía en promedio con veintiséis semanas de anticipación, los números de parte y las características de los autos que se van a producir con dos semanas de anticipación, donde se especifica los materiales necesarios para cada componente. Además que en forma continúa está siendo retroalimentado por sí hubiera alguna contingencia o falla en el proceso de ensamble.

Así que una vez que la empresa fabricante de los módulos de asientos ha sido elegida, empieza a trabajar su departamento de diseño y desarrollo de producto, elaborando bocetos y prototipos del producto deseado en materiales de fácil manejo y fabricación, quizá mediante un método de prototipado rápido (ver figura 2.15).

Hoy en día se han desarrollado técnicas de modelado por ordenador que pueden simular el comportamiento dinámico de un asiento de espuma de un auto. Donde tienen

en cuenta los factores necesarios para poder elegir la espuma de PUR que se ajuste a las exigencias del diseño y características del vehículo.



Figura 2.15. Ejemplo de un boceto del interior de auto (Cortesía de Johnson Controls).

Por lo que son utilizadas poderosas herramientas de diseño por ejemplo: la ingeniería en reversa en la que a partir de un modelo en tres dimensiones que sirve de prototipo pueden pasar a digitalizar la imagen en un software especializado, y poder tener su representación gráfica de un modelo sólido para ser manipulado y realizar una serie de simulaciones en cualquier software de CAD/CAE (ver figura 2.16).

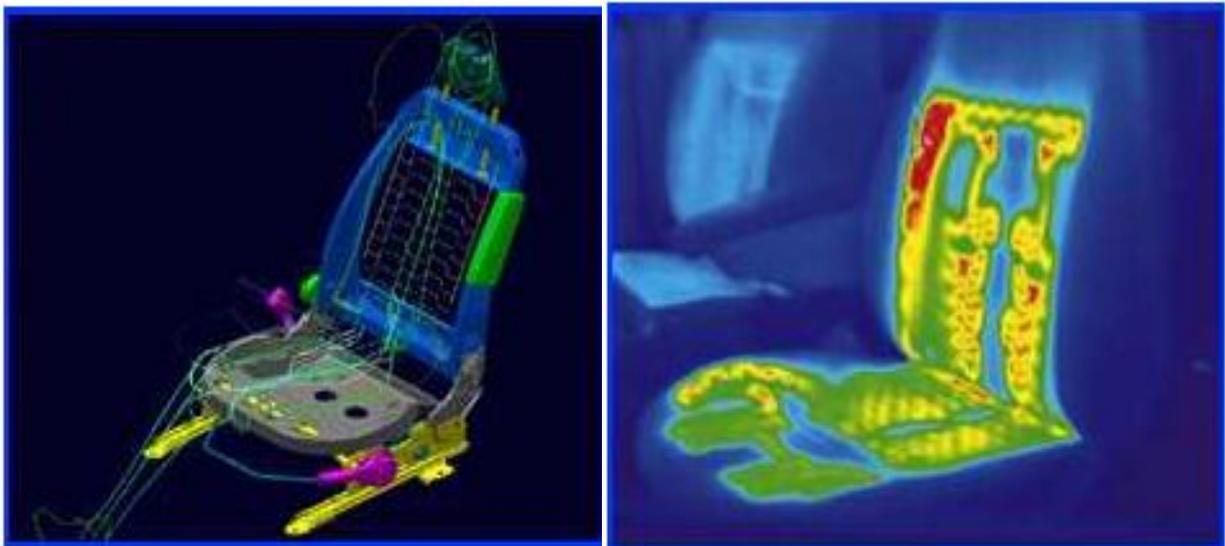


Figura 2.16. Izquierda: Diseño Mecánico de un bastidor CAD. Derecha: Simulación térmica con un análisis CAE (Cortesía Faurecia, Co.).

Una vez que se termina la etapa de generación de información se llega a la etapa seis (6), en la que hay que hacer una nueva selección de proveedor ahora de fabricante de moldes para la espuma de los asientos de autos, pero ahora los que participan son la empresa fabricante de módulos de asientos como seleccionadora y las empresas fabricantes de moldes que participan en una nueva licitación por ganar un contrato, repitiéndose las mismas formas para la selección de proveedores por parte de los fabricantes de módulos de asientos que ahora evalúan a sus proveedores de moldes.

Se utilizan métodos similares a los que ocupó la ensambladora con ellos, llegando en ocasiones a participar esta última en la selección del proveedor de moldes. Además en ocasiones como requisito la empresa proveedora de moldes forma o debe ser parte del *clúster* industrial que encabeza la ensambladora de autos.

A continuación en la séptima etapa del ciclo de vida (7), sigue la manufactura de un molde para asiento de autos, la descripción de esta actividad se cubrirá en este informe con más detalle en el capítulo 3, por ser la parte fundamental para el desarrollo de este reporte.

Así se pasa a una octava etapa (8), donde se fabrican los componentes de los módulos de los asientos, en esta etapa del ciclo de vida donde se fabrican los subensambles que forman un módulo de asiento, el proceso consta de cuatro actividades (ver figura 2.17): a) Fabricación de bastidor metálico, b) Fabricación de subensamble espuma bastidor, c) Fabricación de cubierta (tapicería) y d) Ensamble del módulo de asiento.

a) En la parte de fabricación de bastidor metálico, se trata de una estructura metálica formada por láminas y varillas soldadas con una forma específica que estará embebida en la espuma. Dichos bastidores son fabricados en una producción en serie con la ayuda de robots programados y personal operativo que solamente están habilitando el material en los escantillones. Este bastidor puede ser fabricado en la planta misma del fabricante de módulos de asientos o puede tener otra filial, que le apoye con la fabricación.



Figura 2.17. Ensamble de un módulo de asiento compuesto por: un bastidor, una espuma y cubierta (Cortesía de INSA, S.A. de C.V.).

b) En la segunda parte de la fabricación de un módulo de asiento se fabrica el ensamble de la espuma de poliuretano y el bastidor mediante un proceso RIM para poliuretano que se llevará a cabo dentro de un molde. Poniendo especial cuidado en el sistema de fijación del bastidor para evitar ser movido de su posición cuando es inyectado el PUR, apoyando esta acción con la ayuda de poderosos imanes.

c) En otra parte de la planta de la empresa fabricante de módulos de asientos, se están confeccionando las cubiertas (fundas) de tela, viniles o pieles según marque las especificaciones y requerimientos de los modelos que se van a producir en el departamento de tapicería.

d) Por último, se hace el ensamble de espuma que tiene ya integrado el bastidor con la cubierta y los accesorios para la manipulación de los mecanismos, para pasar al área de almacenaje cuya estancia debe ser breve, ya que estas empresas trabajan con la filosofía del *Just in Time*, con esto se termina esta etapa del ciclo de vida del asiento.

En la siguiente etapa que según el diagrama sería la novena etapa (9) del ciclo de vida, se origina cuando la empresa armadora de autos “jala” la producción y son requeridos

los asientos ya fabricados, por que ha llegado el momento de ser ensamblados en la carrocería del automóvil.

La décima etapa (10) del ciclo de un asiento, arranca cuando se le da uso o empieza su vida útil, e iniciará cuando se ha adquirido un automóvil nuevo por un cliente en la distribuidora de autos. Es a través del uso cotidiano real que se llevarán a cabo las verdaderas pruebas sobre el asiento y sufrirá una gran variedad de exigencias siendo el comprador del auto, el evaluador que le da valor a su existencia y este mismo es quién corrobora su desempeño y observará el deterioro por el uso.

Teniendo las investigaciones de mercado como principal objetivo recopilar toda esta información que emite el cliente en forma de comentarios y que se exhibe como necesidades a considerar. La información que se genera se verá traducida en forma de requerimientos que tendrán que cubrir los futuros diseño de asientos. Previendo como es el estilo de vida de las personas dentro de sus vehículos (ver figura 2.18).



Figura 2.18. Estilo de vida de la familia dentro de un automóvil (Cortesía Woodbridge Group).

Como última etapa (11), se tiene que concebir y considerar el desarrollo de los módulos de asientos de auto como productos sustentables. En la actualidad debido a la gran cantidad de residuos existentes el reciclado resulta necesario y de gran importancia. Se

sabe que el 7 % de los residuos totales son plásticos pero debido a su volumen ocupan un 20 % del total de los mismos. Dentro de los residuos plásticos un 5 % de los mismos pertenece al poliuretano. Por esta razón, las técnicas de reciclado de poliuretano han evolucionado de forma importante.

Dependiendo del tipo de espuma de poliuretano (propiedades y aplicación) y de factores de tipo económico, logístico, ecológico, podemos hablar de tres tipos de técnicas de reciclado a emplear:

- reciclado mecánico.
- reciclado químico y
- recuperación de energía mediante incineración.

Reciclado mecánico.

El reciclado mecánico por sí solo no es suficiente en muchos casos (ver figura 2.19). Los métodos que se pueden englobar en este apartado son: 1) Adhesive pressing. 2) Moldeo por compresión. 3) Espuma flexible enlazada. 4) Pulverización.

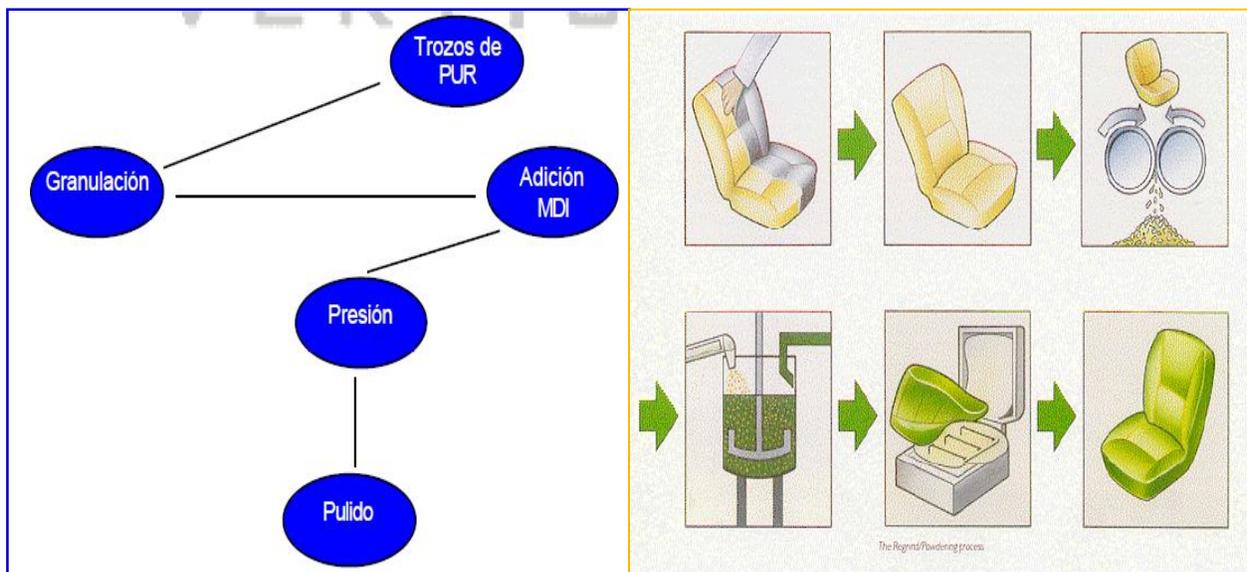


Figura 2.19. Reciclado mecánico: Adhesive pressing y Pulverización (Magdalena, 2000).

Reciclado químico.

Este tipo de reciclado no se utiliza en grandes proporciones hoy en día. Las diferentes técnicas que están incluidas dentro del reciclado químico se basan en la aplicación de diversos procesos químicos y térmicos que rompen los materiales poliméricos en fracciones de bajo peso molecular (figura 2.20). Las técnicas más empleadas son: 1) hidrólisis. 2) aminólisis. 3) glicólisis. 4) pirólisis. 5) hidrogenación. 6) gasificación.



Figura 2.20. Reciclado químico: Esquema de glicólisis y muestra de polioliol obtenido por proceso (Cortesía Rampf).

Incineración.

Esta técnica es ecológica, económica y factible desde el punto de vista técnico. La incineración es la forma más efectiva de reducir los materiales orgánicos que de otra forma irían a parar a un vertedero.

Sin embargo, se tiene el problema de que en la misma combustión se genera CO_2 , perjudicial para el medio ambiente ya que es el responsable del efecto invernadero. Pero, si la energía generada se empleará, se evitaría el consumo de combustibles fósiles ayudando así a la conservación de los recursos naturales sin aumento adicional de las emisiones de CO_2 al medio. Esto es de gran importancia para la consecución del desarrollo sostenible (ver figura 2.21).

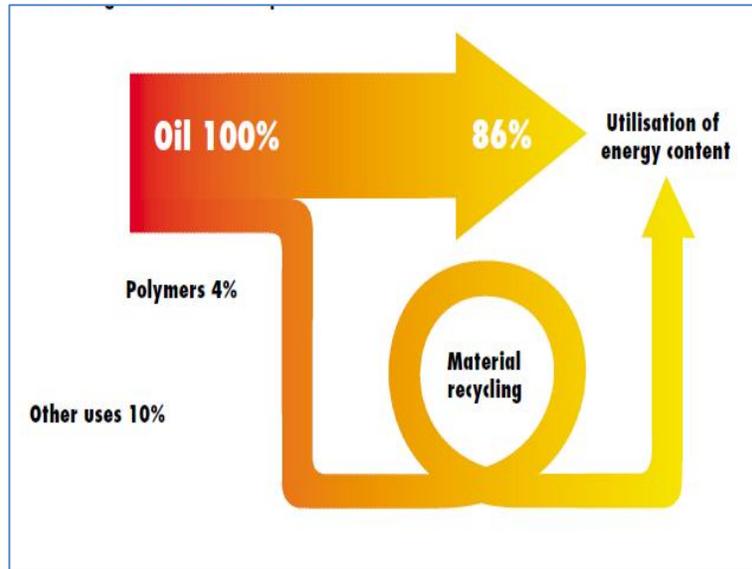


Figura 2.21. Esquema de Incineración (adaptado de Magdalena, 2000).

La viabilidad de cada técnica depende del tipo de poliuretano a reciclar, del uso posterior y de su coste. Si los materiales a reutilizar están contaminados se deben incinerar necesariamente.

CAPÍTULO 3. MODELO GENERAL IDEF0 PARA LA MANUFACTURA DE MOLDES PARA ASIENTOS DE AUTOMÓVIL.

En este capítulo se propone un método para el *Diseño y Manufactura de moldes para asientos de automóvil*. Este método está basado en la necesidad de formalizar el conocimiento que se tenía disperso, ya que ningún diseñador de este tipo de moldes tiene registrada información estructurada para realizar el diseño de un molde. A causa de esta necesidad, surge la idea de proponer un método para el diseño de los moldes para asientos de automóvil.

El método mencionado para formalizar los conocimientos de diseño parte del modelado del proceso de diseño y utiliza como herramienta la metodología IDEF0, como mecanismo adecuado para la definición formal del mismo. Además, se usa en este proceso de modelado propuesto un paquete de software de nombre: Bpwin®.

Se espera que este trabajo sea capaz de ayudar a verificar y estandarizar los procedimientos de los diseñadores y hasta ser útil para desarrollar una certificación en el proceso de diseño de moldes para inyección con reacción de poliuretano.

3.1 PROPÓSITO DEL MODELO IDEF0.

El propósito del modelado IDEF0, es describir a detalle cada una de las funciones involucradas en la manufactura de moldes de tal forma que se genere una directriz como referencia para los equipos de ingeniería dedicados a la manufactura de moldes para poliuretano, buscando reducir al mínimo los tiempos de diseño, manufactura y ensamble así como la disminución de los posibles errores desde la etapa inicial de diseño.

Es importante generar un modelo completamente representativo y descriptivo del proceso de diseño y manufactura de moldes para RIM de poliuretano, comenzando la

representación de forma general y especializándola para describir cada detalle importante en la manufactura de moldes. El enfoque del modelo busca integrar un equipo que tenga conocimientos de ingeniería con los conocimientos necesarios para la manufactura de moldes para RIM, involucrando un equipo de diseño (mecánico y materiales termoestables), de manufactura (procesos) y un equipo de documentación técnica.

La implementación de la técnica IDEF0 para el modelado de sistemas de manufactura, incluyendo la fabricación de moldes para RIM de poliuretano involucra los siguientes procedimientos (Marca, 1998):

- ✓ Determinar el propósito: se determina el propósito de implementar la técnica IDEF0 en el proceso de manufactura de moldes para RIM, el propósito de implementarlo es construir una serie de pasos a seguir en forma de diagramas, donde se contemplen todos los elementos de control (condiciones de procesamiento del molde para poliuretano), las herramientas y maquinaria (paquetería informática para el diseño mecánico, simulación y validación tanto de la pieza como del molde) e información técnica (documentación), de forma ordenada y coherente.
- ✓ Adquisición de conocimiento: documentar todo acerca del sistema para modelar incluyendo información técnica y la experiencia del personal involucrado en el proceso. Considerando toda esta información en un documento electrónico.
- ✓ Validación del modelo: realizar un proceso iterativo para determinar si existen errores en el modelado, apoyado de la información, la experiencia de las personas involucradas e inclusive con la implementación.

Los conceptos en los que se soporta esta metodología son: proceso de diseño, modelado de proceso, procedimientos de trabajo, reglas de diseño y vocabulario.

3.2 GUÍA DE ACTIVIDADES DEL MODELO IDEF0.

Se propone así un método que formaliza el conocimiento teórico para asistir el diseño de manufactura de moldes para asientos de automóvil en poliuretano, que realizan nuevos diseñadores y diseñadores no experimentados. Este método está conformado con información concentrada y organizada, ya que se llevó a cabo una síntesis de los conceptos más útiles y concretos con el objetivo de validar la información.

Sin perder de vista que la metodología está enfocada desde el punto de vista del diseñador, se enlista a continuación de manera jerárquica la estructura de actividades que permiten realizar el *Diseño y manufactura de moldes para asiento de automóvil*:

A0: Diseño y Manufactura de molde para asiento de automóvil.

A1: Diseñar molde

A11: Definir requerimientos y especificaciones

A12: Interpretar plano

A13: Considerar parámetros de diseño

A131: Seleccionar materiales de los procesos

A132: Seleccionar contracciones de los materiales

A133: Considerar la configuración geométrica del molde

A1331: Determinar la posición y/o inclinación del molde

A13311: Ubicar las líneas de partición

A13312: Ubicar las superficies y planos de partición

A13313: Ubicar y dimensionar zona de sellado

A13314: Ubicar zonas de venteo

A1332: Recomendar espesores de pared

A1333: Diseñar corazones e insertos móviles

A1334: Ubicar las líneas de circulación de agua.

A14: Definir técnicas de construcción del molde

A2: Manufacturar y ensamblar molde final.

A21: Manufacturar modelo primario (patrón)

- A211: Generar información
- A212: Construir estructura (esqueleto)
 - A2121: Recortar secciones dibujadas
 - A2122: Pegar secciones
 - A2123: Recortar ensamble de papel y madera de “MDF”
 - A2124: Armar estructura (esqueleto)
- A213: Generar modelo tridimensional
 - A2131: Rellenar esqueleto
 - A2132: Verificar la geometría y dimensiones
 - A2133: Barrer la superficie final
 - A2134: Pulir la geometría para disminuir rugosidad
- A214: Proteger contra la humedad
- A22: Manufacturar modelo secundario de yeso
 - A221: Generar información
 - A2211: Determinar el número de partes en que se copiara
 - A2212: Ubicar las líneas de partición de las partes
 - A2213: Determinar la posición de copiado del modelo primario
 - A222: Colocar posición de modelo primario
 - A223: Ubicar y distribuir las partes a copiar
 - A2231: Formar las superficies de partición entre las partes de yeso
 - A2232: Formar la zona de sellado de las cavidades
 - A2233: Colocar material separador entre superficies de separación
 - A2234: Elaborar cejas o pestañas del molde
 - A224: Obtener modelo de yeso de la primera cavidad
 - A2241: Copiar en forma secuencial las partes de la cavidad
 - A2242: Conformar serpentín de calefacción
 - A2243: Formar paneles con nervios para reforzar cuerpo de molde
 - A2244: Girar primera cavidad de su posición inicial
 - A2245: Dimensionar y ubicar zona de sellado
 - A225: Obtener modelo de yeso de la segunda cavidad
 - A2251: Copiar en forma secuencial las partes de la cavidad

- A2252: Conformar serpentín de calefacción
- A2253: Formar paneles con nervios para reforzar cuerpo de molde
- A2254: Separar las cavidades de yeso copiadas
- A23: Manufacturar moldes de arena para fundición
 - A231: Generar información
 - A2311: Determinar el tipo de arena a utilizar
 - A2312: Determinar los planos de separación del molde de arena
 - A2313: Determinar los elementos de un molde de arena
 - A2314: Ubicar la posición de los elementos de un molde de arena
 - A2315: Calcular dimensiones para caja de moldeo
 - A232: Moldear cavidades en moldes de arena por separado
 - A2321: Preparar arena para moldeo
 - A2322: Colocar en posición el modelo secundario
 - A2323: Moldear las cavidades del modelo secundario
 - A23231: Moldear en arena cada una de las cavidades
 - A23232: Colocar y formar los elementos del molde
 - A23233: Desmoldar de cavidades del modelo secundario
 - A23234: Aplicar pintura aglutinante en la superficie de la cavidad del molde de arena
 - A23235: Quemar los residuos de pintura y unicel del modelo
 - A23236: Cerrar y sellar el molde de cada cavidad
 - A233: Obtener molde metálico
 - A2331: Fundir material para vaciar en molde de arena
 - A2332: Vaciar material fundido en molde de arena
 - A2333: Remover y limpiar la pieza fundida del molde de arena
- A24: Manufacturar molde metálico
 - A241: Generar información de manufactura del molde metálico
 - A2411: Generar lista de procesos y/u operaciones de mecanizado
 - A2412: Calcular parámetros de mecanizado
 - A2413: Determinar dimensiones finales del molde mecanizado
 - A242: Pulir las cavidades del molde

- A2421: Pulir las superficies internas de las cavidades del molde
- A2422: Ajustar las zonas de sellado de las cavidades del molde
- A243: Maquinar molde metálico
- A2431: Montar molde en mesa de trabajo para mecanizado
- A2432: Preparar herramientas a utilizar en el mecanizado
- A2433: Mecanizar áreas de dimensiones críticas
- A244: Sellar molde
- A245: Dar acabado al molde (pintar y colocar herrajes)

Para entender el desarrollo que engloba cada actividad o nodo del proceso de *Diseño y manufactura de moldes para asiento de automóvil*, se explica a detalle cada una de ellas en la sección 3.3.

3.3 DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES SEGÚN EL MODELADO IDEF0.

NIVEL PRINCIPAL

A0: Diseño y Manufactura de moldes para asiento de automóvil.

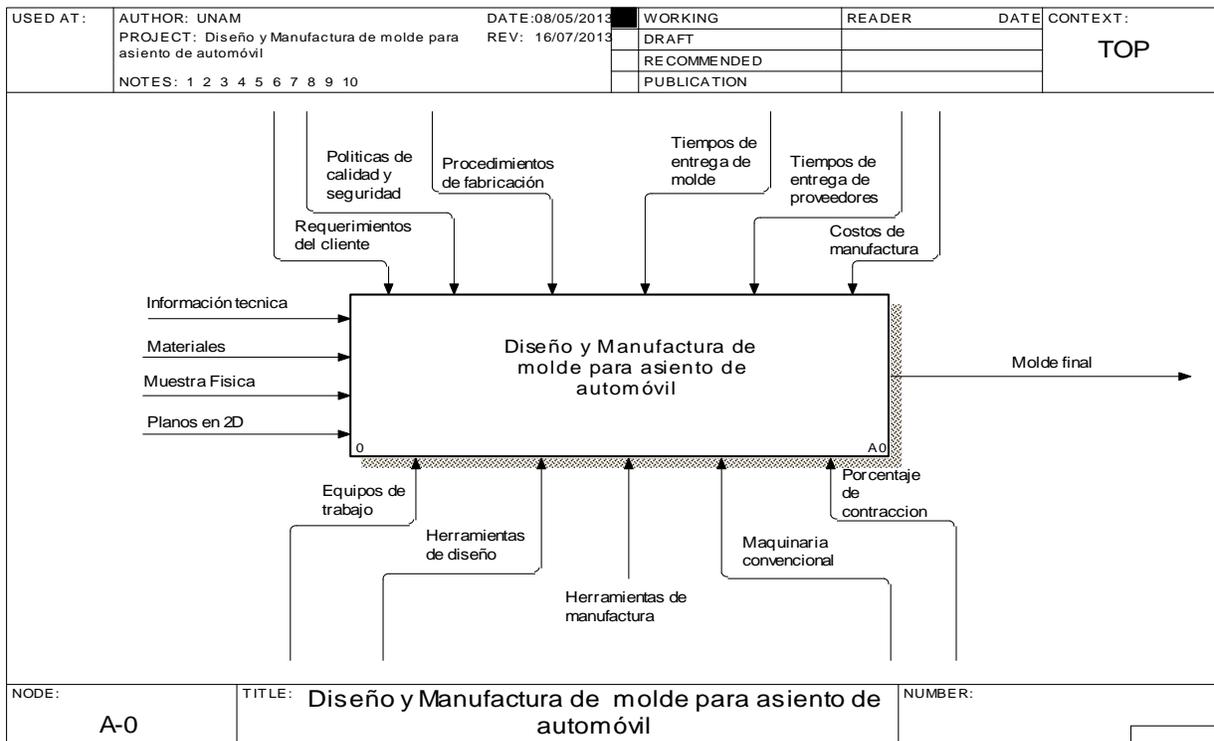


Figura 3.1 Actividad A0: Diseño y Manufactura de molde para asiento de automóvil.

Es la primera actividad llamada también actividad principal del proceso propuesto para el diseño y manufactura de molde para asiento de automóvil (ver figura 3.1). El objetivo de esta actividad es obtener un molde para asiento por inyección RIM de poliuretano, con base a las necesidades del cliente a partir de los materiales utilizados en sus procesos de fabricación y con la información técnica correspondiente, considerando entre otros aspectos la geometría, material, acabados superficiales y funcionalidad.

Para realizar esta actividad se debe contar con algunos recursos como: diversos equipos de trabajo con experiencia según el proceso en el que nos encontremos, herramientas tanto de diseño como de manufactura y maquinaria convencional. Esta actividad es acotada o limitada por las políticas de la empresa, costos de manufactura y el establecimiento de tiempos de entrega. Los elementos anteriores son necesarios para realizar el diseño y la elaboración de un molde final.

El diseño de un nuevo asiento parte de un modelo físico o virtual, con sus dimensiones y características, se realizará el diseño de un nuevo molde de inyección con reacción (RIM) para poliuretano. Se establecen las condiciones bajo las que el cliente requiere su producto final, en ocasiones, la empresa recibe el proyecto en 2D en un plano con lo que debe desarrollarlo en volumen (3D) para poder trabajar con él, ya que la mecanización se realiza siempre en un sólido 3D.

Entonces nosotros debemos desarrollar el molde que dé el mayor rendimiento para la fabricación de la pieza, es decir, el molde que sea más rápido en ciclos de trabajo, el molde que enfríe o caliente más rápidamente y el más adecuado para el volumen de fabricación prevista.

NIVEL DE DISEÑO Y MANUFACTURA DEL MOLDE

El modelo general IDEF0 para Diseño y Manufactura de moldes para asiento de automóvil, se divide en las siguientes funciones (ver figura 3.2):

A1: Diseñar molde

A2: Manufacturar y ensamblar molde final.

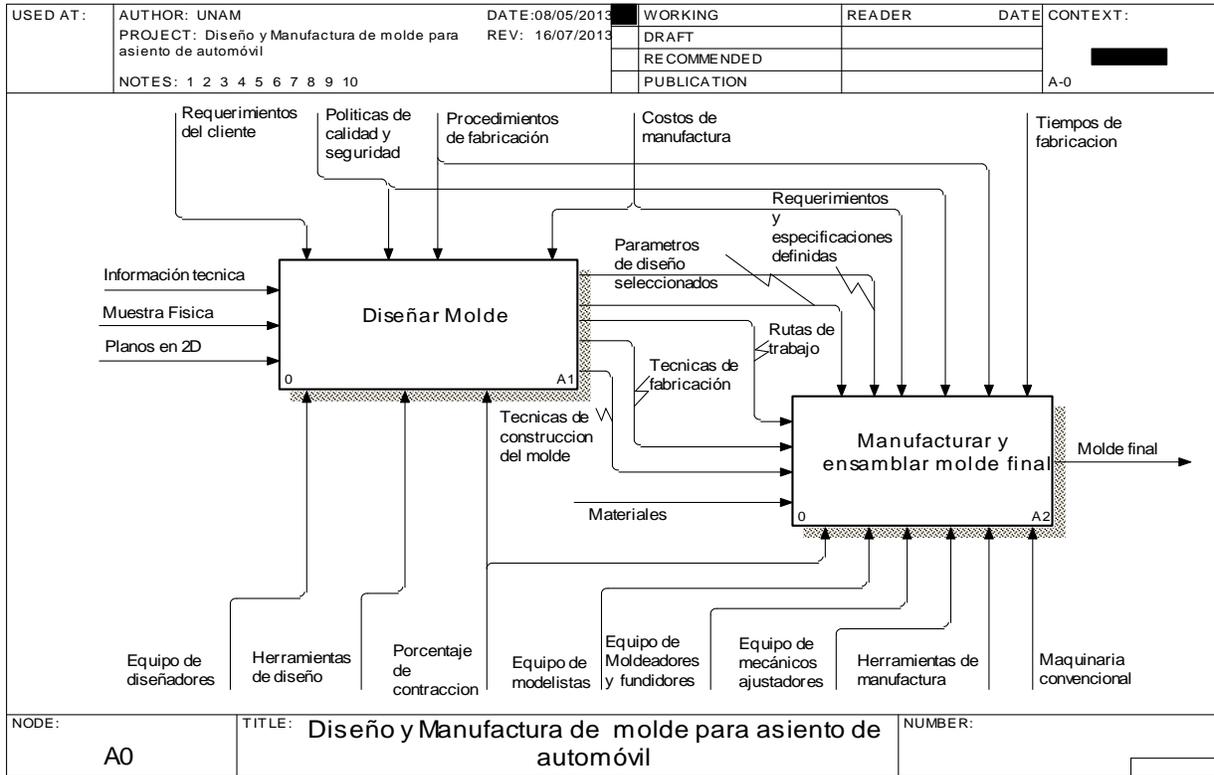


Figura 3.2 Actividades A1 y A2, que completan el desarrollo de la actividad A0

A1: Diseñar molde.

Para llevar a cabo la actividad de diseñar el molde es necesario contar con la recopilación de las necesidades y requerimientos del cliente sobre su pieza de poliuretano (muestra física) y planos en 2D, los procedimientos de fabricación que se llevarán a cabo en la elaboración del molde y además se obtendrá la información de manufactura y los planos de fabricación de cada uno de los procesos, así como la transformación de requerimientos en especificaciones definidas.

La información que se utiliza en esta actividad es proporcionada por los conocimientos y la experiencia del equipo de diseñadores, la organización y control de la actividad es acotada por los siguientes elementos: políticas de la empresa que pueden ser de calidad y de seguridad, y costos de manufactura. Esta actividad engloba lo relacionado al diseño del molde y no considera el desarrollo de la manufactura. Una vez terminada esta actividad se proponen las técnicas de fabricación y de construcción del molde a través de los parámetros de diseño.

A2: Manufacturar y ensamblar molde final.

Para llevar a cabo la actividad es necesario contar con la planificación de la fabricación que contiene toda la información de manufactura necesaria a través de las diferentes etapas de fabricación, con el objetivo de obtener el molde final. La información que se va a utilizar es proporcionada por conocimientos y experiencia ahora del equipo de modelistas, mecánicos ajustadores y de los diseñadores, dicha actividad es controlada ahora por planos de fabricación y de detalle, así como las especificaciones que se definieron y los parámetros de diseño seleccionados.

Esta actividad consiste en realizar el proceso de manufactura de un primer molde prototipo y realizar los ensayos de inyección de poliuretano en la planta del fabricante de asientos, así como realizar los ajustes necesarios con el objetivo de probar el diseño y comprobar el correcto funcionamiento del molde.

NIVEL DE DISEÑAR MOLDE

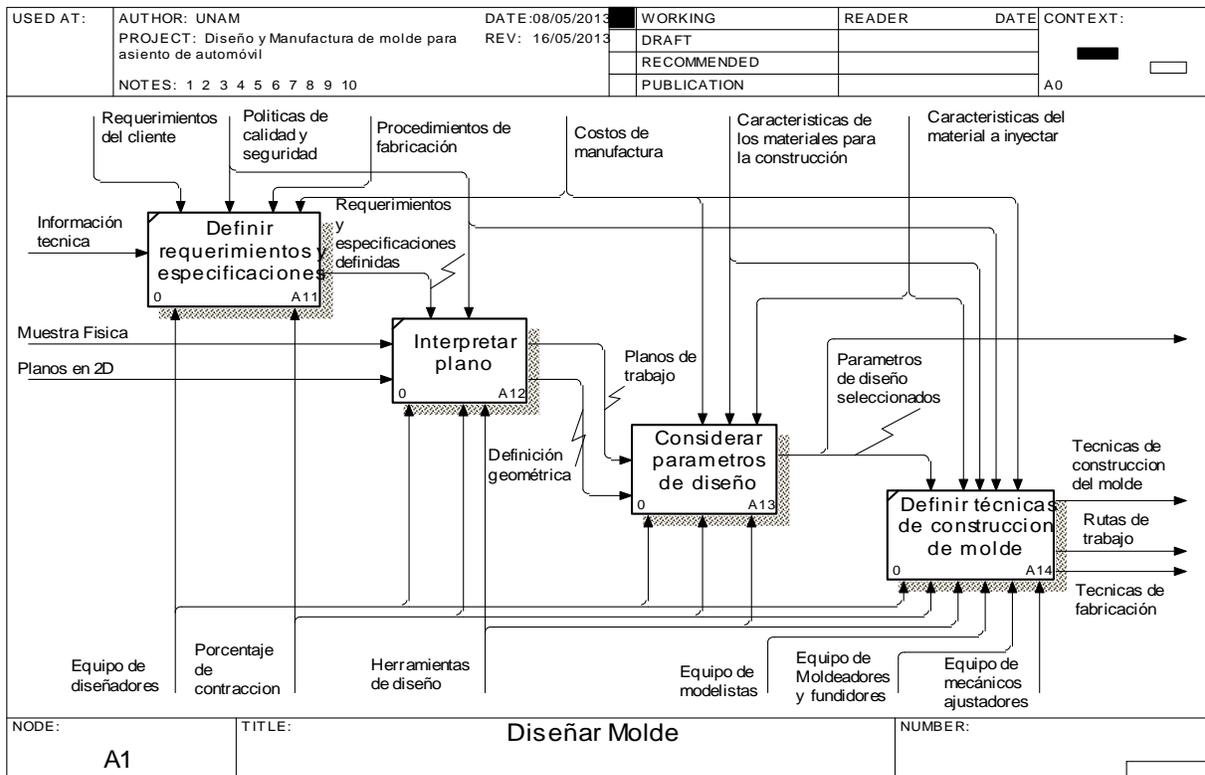


Figura 3.3 Actividades que completan el desarrollo de la actividad A1.

Las actividades que se deben desarrollar para completar el desarrollo de la actividad A1: Diseñar molde, son las tres siguientes: A11, A12, A13 y A14 (ver figura 3.3).

A11: Definir requerimientos y especificaciones.

Esta actividad es el primer paso con que inicia su antecesora de diseñar molde y consiste en hablar con la empresa fabricante de asientos (el cliente) para entender el problema planteado, además se deben conocer las ideas y necesidades del cliente para considerarlas y plantearlas en las necesidades del diseño de procesos, tiempos, costos, calidad del producto, etcétera. Por lo tanto se necesita una lista, de la muestra física de poliuretano para que después se elijan las necesidades más importantes y se genere la lista de prioridades en forma de especificaciones y requerimientos del molde para la pieza:

- Requerimientos del cliente:
 - ✓ Capital a invertir.
 - ✓ Costo de manufactura y diseño.
 - ✓ Número de piezas a obtener.
- Requerimientos de la pieza:
 - ✓ Resistencia mecánica a esfuerzos y deformaciones.
 - ✓ Resistencia térmica.
 - ✓ Durabilidad.
 - ✓ Acabado superficial.
- Especificaciones del molde:
 - ✓ Capacidad o fuerza de cierre de la máquina [ton]
 - ✓ Capacidad de inyección [cm³/disparo]
 - ✓ Presión de inyección [bar]
 - ✓ Capacidad de plastificación [kg/h].
 - ✓ Velocidad de inyección [cm³/s].
 - ✓ Distancia máxima de apertura [cm]
 - ✓ Duración del ciclo de inyección [s]
- Especificaciones de la pieza:
 - ✓ Conductividad térmica.

- ✓ Temperatura de uso permanente sin deterioros.
- ✓ Estabilidad frente a productos químicos.

Además del listado anterior en esta actividad se debe plantear lo siguiente: características y geometría de la pieza física de poliuretano para determinar las limitantes del diseño.

La información que se debe utilizar en esta actividad es proporcionada por: conocimientos y experiencia del equipo de diseñadores. Esta actividad también es controlada por las políticas de la empresa, que son de calidad y de seguridad, así como los costos de manufactura y diseño. En esta actividad se ponderan las opciones para resolver el problema del cliente, con la finalidad de determinar los requerimientos y las especificaciones.

A12: Interpretar plano.

Esta actividad se inicia con la interpretación de un plano de ingeniería en 2D, como entrada que es la principal fuente de información, en su interpretación nos dice cómo va a ser el contorno principal del asiento. Es un plano que tiene como característica general una representación del asiento en tres dimensiones en modo alámbrico, también tiene dos vistas ortogonales una de planta y una lateral, acompañada cada una de vistas por secciones transversales y longitudinales que son trazadas en el mismo plano.

Existen dos tipos de material en el que se presenta los planos: uno de ellos es el trazado con las vistas y secciones a una escala 1:1, el material en el que se imprime este formato es película de poliéster Mylar ® o papel bond y el otro formato se traza considerando en las dimensiones la suma de los valores de los porcentajes de contracción del material del molde metálico y del poliuretano como pieza final, este plano se imprime en papel bond.

Se realiza un estudio previo del molde donde se verifica la geometría de la pieza, su viabilidad del molde necesario para fabricarlo y se genera una propuesta para su diseño

y construcción. Se analiza la posible configuración del molde pero desde un punto de vista conceptual sin entrar en detalle. El objetivo es iniciar esta actividad una vez que la definición de la pieza sea suficiente, para lo cual se define un estatus de nivel de definición geométrica, considerada como una salida de esta actividad de forma que automáticamente se lanza dicha información cuando se alcanza el estado de *Diseño Previo*.

Otra salida son los planos de trabajo que son dibujos que vienen adjuntos a la orden de trabajo y sirven para entender el diseño de la pieza que se va a fabricar. Los planos de trabajo deben tener información completa y detallada de la pieza, es decir, no debe contener errores de acotamiento y debe existir coherencia en sus medidas.

A13: Considerar parámetros de diseño.

A partir del diseño de los sistemas que integran un molde (como son: el mecánico, de distribución y térmico), se obtienen los parámetros seleccionados finales. Una vez que en las actividades pasadas se han observado consistencias y que los parámetros determinados por cada una esas actividades no entren en conflicto, se definirán los parámetros finales seleccionados de cada actividad con los que se trabajara en los procesos, en una sola lista que se generó a partir de las entradas recibidas como la definición geométrica realizada y de los planos de trabajo elaborado.

La información que sirve para desarrollar esta actividad la proporcionan: conocimientos, experiencia del equipo de diseñadores y las herramientas de diseño. Los elementos que controlan el desarrollo de la actividad son: lista de las características de los materiales de construcción del molde y de la pieza, así como los costos de manufactura. Es recomendable utilizar la información que proporcionan los diseñadores y sus herramientas de diseño auxiliares como algún programa de CAD para diseñar el molde con los parámetros determinados.

A14: Definir técnicas de construcción del molde.

Es aquí donde se contemplan las actividades de fabricación que se llevarán a cabo, determinados en su fase de planificación y en la misma operación. Como resultado de la actividad A1: Diseñar molde, se obtiene el plan de trabajo de cada uno de los procesos y las técnicas a emplear para la construcción del molde.

A partir de planos de trabajo, de detalle y de la existencia de un proceso de manufactura propuesto, se realiza la lista de procesos de manufactura más apropiados que se llevarán a cabo y el orden en el cual deben realizarse dichos procesos. De manera simultánea podemos obtener en ésta misma actividad la lista de operaciones, haciendo una generalización de los componentes de los moldes, se pueden establecer: procesos básicos, secundarios, operaciones de mejoramiento de propiedades físicas y operaciones de acabado.

También cuando se han definido los procesos de manufactura y sus operaciones correspondientes, se realiza ahora en ésta actividad la generación de la ruta de trabajo óptima para minimizar el tiempo de manufactura y tener una correcta selección y cambio de herramientas. La ruta de trabajo es el plan a seguir en nuestros procesos de manufactura, describe secuencialmente el proceso y las operaciones de manufactura, abarcando las operaciones de cada proceso y las operaciones de ensamble de la pieza.

Las herramientas que proporcionan la información útil para desarrollar la actividad son: los conocimientos y experiencia de los diferentes equipos de trabajo que participan como diseñadores, modelistas, moldeadores, fundidores y mecánicos ajustadores, todos auxiliados por sus herramientas de cada especialidad como los programas de computo en CAD, para el diseñador o de corte de material para el mecánico.

Los elementos que regulan el desarrollo de la actividad son: las características del material de construcción para el molde y la del material que se va a inyectar, también hay que considerar que las políticas de la empresa en torno a la calidad y seguridad juegan un rol importante en el control de esta función. El objetivo de esta actividad es

generar la información de manufactura que contempla las técnicas de fabricación y construcción del molde así como las rutas de trabajo que seguirá el proceso de manufactura.

NIVEL PARA CONSIDERAR PARÁMETROS DE DISEÑO

Las actividades que se deben desarrollar para completar el desarrollo de la actividad A13: Considerar parámetros de diseño, son las tres siguientes: A131, A132 y A133 (ver figura 3.4).

A131: Seleccionar materiales de los procesos.

En esta actividad a partir de la entrada de los parámetros de diseño seleccionados se pueden seleccionar los materiales, realizando dicha tarea mediante tres parámetros, el primero es la función que desempeñan las cavidades y si se requieren corazones en el molde, el segundo son los objetivos que buscan cumplir y por último, las restricciones que se ven reflejadas por las características de la parte a inyectar. Una vez que se determinan los parámetros anteriores, tenemos elementos de control como las características del material de construcción del molde y la del material que se va a inyectar, también hay que considerar las políticas de calidad y seguridad.

El empleo de gráficas y tablas para la selección de los materiales puede facilitar la elección del material apropiado, pero también se llega omitir el uso de estas por el uso de la ponderación de acuerdo a la importancia relativa de las características, empleando una matriz de decisión para la selección del material o sencillamente se pueden guiar en la elección por la experiencia de los diseñadores.

Como salida de esta actividad tendremos los materiales que se utilizarán desde la fabricación de un modelo primario hasta el molde metálico. Entonces tendremos, un listado de los materiales necesarios durante los diferentes procesos que se llevarán a cabo y punto muy importante que debe estar en constante vigilancia es el plazo de entrega de los proveedores de dichos materiales.

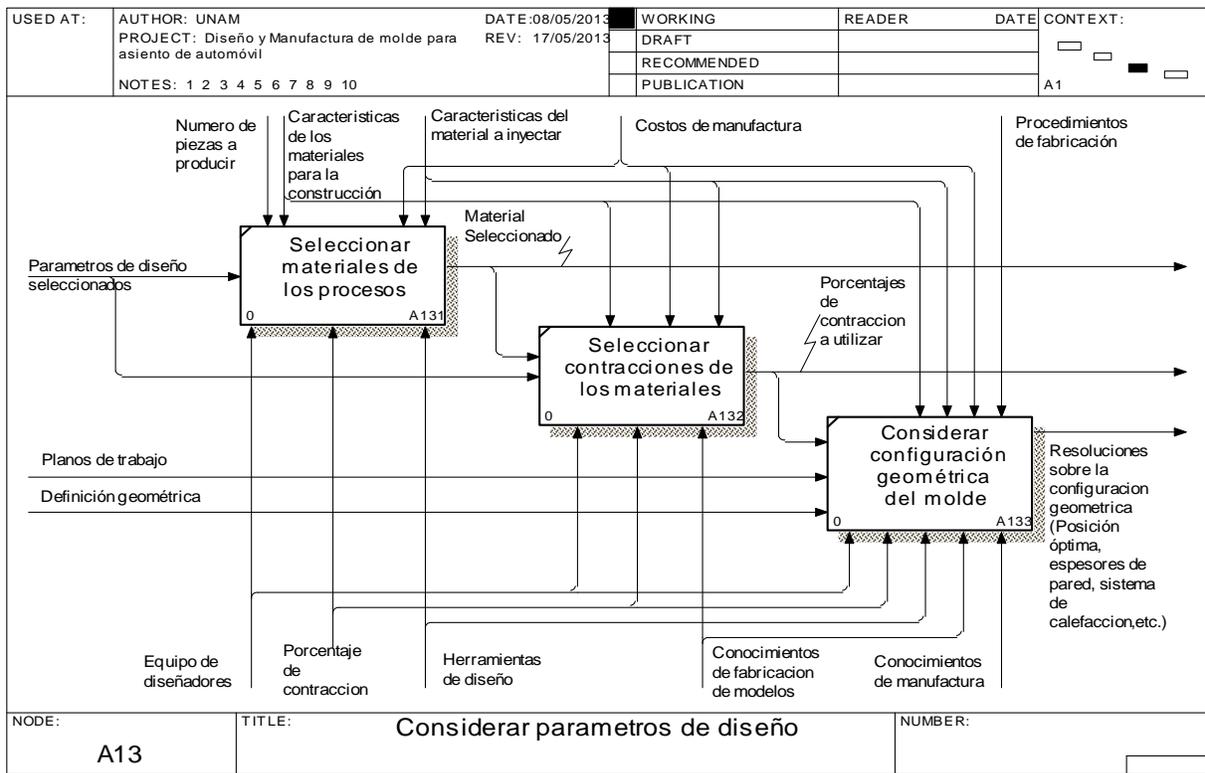


Figura 3.4. Actividades que completan el desarrollo de la actividad A13.

A132: Seleccionar contracciones de los materiales.

Esta actividad comienza con la entrada de los parámetros de diseño que fueron seleccionados, recordemos que todos los plásticos se contraen al solidificar, esto significa que la pieza moldeada presenta un efecto de contracción en la dirección del centro que forma parte de la pieza. La contracción puede provocar que se dificulte la extracción de la pieza moldeada desde la cavidad que la retiene.

Esta actividad nos muestra el diagrama que está regulada por los elementos como son las características del material de construcción del molde y la del material que se va a inyectar. Otro factor a considerar en esta parte de control es que al incrementar el tiempo de enfriamiento, disminuye el valor de la temperatura de desmoldeo y esto crea la necesidad de una mayor fuerza para el desmoldeo, debido a que la pieza tiene más contracción (menor volumen).

En la parte de la salida de esta actividad de acuerdo a los parámetros involucrados tendremos un valor del porcentaje de contracción del material plástico a inyectar, que sumaremos a los otros porcentajes de contracción de los materiales utilizados en el proceso de fundición.

La contracción se debe principalmente al tipo de estructura del polímero. Se sabe que los polímeros de estructura amorfa contraen más que los polímeros de estructura cristalina. Además los polímeros con cierta carga se contraen menos que los polímeros cristalinos (Dym, 1987).

La contracción también es provocada por otros factores, entre los cuales se mencionan los siguientes criterios:

- ❖ Entre mayor sea la longitud del recorrido, mayor será la contracción de la pieza.
- ❖ A mayor presión de inyección, se reduce la contracción.
- ❖ Entre mayor sea la temperatura del molde, la contracción se estabiliza.
- ❖ Entre mayor sea el espesor de las piezas, la contracción aumenta ligeramente.

Sin embargo, en la práctica es difícil calcular este porcentaje de contracción, sin tener que perder tiempo y dinero mientras se reajusta el molde. En algunos casos es posible ya que antes de realizar el molde definitivo, se elabora un molde prototipo en el que se pueden prever defectos de diseño, manufactura y fabricación. En este caso se puede medir la contracción del material a usar.

Por lo regular el fabricante del asiento proporciona el porcentaje de contracción al que está expuesto su material, así como otras especificaciones del plástico. En caso de no tener referencias de porcentajes de contracción para el material a inyectar, en la literatura se encuentran valores aproximados de contracción para diferentes plásticos.

A133: Considerar la configuración geométrica del molde.

Esta actividad para su desarrollo según el diagrama IDEF0, se conforma con las subactividades: A1331: Determinar la posición y/o inclinación del molde, A1332:

Recomendar espesores de pared, A1333: Diseñar corazones e insertos móviles y la A1334: Ubicar las líneas de circulación de agua.

En esta actividad se parte de las entradas: definición geométrica del molde, planos de trabajo, los porcentajes de contracción y el material seleccionado para la construcción del mismo. En esta actividad es donde se define qué configuración va a tener el molde, el tipo de molde, el número de cavidades que se fabricaran, la posición de la línea de partición, el tipo de sistema de inyección, su forma de extracción y refrigeración, etcétera. Comprende un análisis previo de la posible configuración del molde, teniendo en cuenta aspectos como la geometría completa de la pieza.

Tenemos elementos que acotan esta actividad que nos darán la dirección correcta a seguir, estos elementos son las características del material de construcción del molde, la del material que se va a inyectar, los costos de manufactura y los procedimientos de fabricación. Entre los recursos que proporcionan la información a utilizar son nuevamente: los conocimientos y experiencia de los diferentes equipos de trabajo que participan: diseñadores, modelistas, moldeadores, fundidores y mecánicos ajustadores, todos auxiliados por sus herramientas de trabajo.

Aquí es donde se debe determinar la dirección de apertura del molde debido a las dimensiones y geometría del producto diseñado, considerando los siguientes factores (Kazmer, 2007):

- ◆ Las cavidades deben ubicarse de tal forma que no se ejerzan esfuerzos extras, debido a la extracción del producto, por lo tanto, si el diseño lo permite son ubicadas con el área más larga paralela al plano de partición. Este arreglo permite que los cuerpos de los moldes operen en compresión y soporten la presión de cierre.
- ◆ Las cavidades del molde deben ubicarse de tal forma que los productos fabricados puedan expulsarse con la mayor libertad y facilidad posible.

Se determina la ubicación de la línea de partición que depende de la geometría de la pieza de poliuretano de tal forma que no se generen espacios vacíos en el molde que dificulten el llenado de las cavidades. Por lo tanto es recomendable colocar la línea de partición en la parte inferior de la pieza a producir si es posible en el borde final, todo esto con la intención de evitar que sea visible para que no se afecte el aspecto estético o afecte la funcionalidad.

Se debe tomar en cuenta la experiencia del fabricante de moldes. Siendo el plano de partición una extensión de las líneas de partición para separar las cavidades del molde y de los corazones cuando existen. Se verifica la ubicación de las líneas y planos para determinar si la apertura del molde es la adecuada para la expulsión del producto.

Un factor importante que se debe obtener en forma específica es la franja de sellado, fabricado con material más blando que el molde formado por resinas plásticas epóxicas, que permite un cierre hermético entre las cavidades por ser la parte del molde que se encarga de evitar el escape o salida de material de las cavidades conocido como "flash".

Dentro de la franja de sellado hay una zona de ventilación (venteo), que es un mecanismo que permite extraer el aire que queda atrapado dentro de la cavidad del molde. La ventilación (venteo) es una muesca o canales que puede ser maquinada o removida por otros medios cerca de la cavidad, en la misma franja de sellado. Donde también hay escape muy mínimo de material. La ubicación de los canales o muescas para expulsión de aire deben ser en las líneas de partición o en su extensión que son las superficies de partición del molde, es decir, en la franja de sellado entre las cavidades. Si este aire no fuera expulsado, generaría defectos en la pieza de poliuretano inyectada o provocaría problemas durante el ciclo de inyección.

El diseño de la ventilación depende del material plástico inyectado, sin embargo para poliuretano es diferente comparado con los plásticos más comunes y dependerá en el volumen de aire que encierre el molde, dejando dicho dimensionamiento a la

experiencia del fabricante del molde, que como guía determina la profundidad mínima dependiendo del polímero seleccionado pues debe compensarlo con la tarea de evitar la formación de flash.

También se define la manera de extraer o proporcionar calor al material plástico y a la cavidad del molde. El molde para RIM actúa como un intercambiador de calor entre la pieza y el refrigerante, así pues, el diseño del sistema de refrigeración se ha basado en el balance térmico del sistema pieza-molde-refrigerante. El material de fabricación del molde debe tener una conductividad térmica elevada. Para cumplir las siguientes funciones:

- Incrementar los índices de transferencia de calor para el adecuado enfriamiento.
- Mantener de manera uniforme la temperatura de las superficies de contacto.
- Reducir el costo mediante la selección de materiales y el diseño.
- Reducir las dimensiones y la complejidad del sistema de enfriamiento.
- Reducir los esfuerzos y la corrosión generada por el refrigerante.

Debe seleccionarse el sistema de enfriamiento para las cavidades, dichos sistemas diseñados en este tipo de moldes depende de la geometría de las cavidades, por lo que la forma del serpentín está en función de la forma que tenga la cavidad y los diferentes planos o superficies que la forman. Con lo que se tiene una combinación de tipos de líneas de refrigeración, resultado de la forma de las cavidades y corazones. En general, el sistema de enfriamiento debe cumplir las siguientes directrices:

- ✓ Considerar la geometría y dimensiones de las cavidades, corazones y placas del molde para determinar el espacio real disponible para las líneas de enfriamiento.
- ✓ Considerar la factibilidad de su conformación en función de las dimensiones y recorridos tomando en cuenta la pérdida de temperatura en el recorrido del refrigerante por el sistema.
- ✓ Determinar la forma de las líneas de enfriamiento (lineal, radial o híbrida), y reducir las entradas y salidas de las líneas de enfriamiento.

NIVEL PARA MANUFACTURAR Y ENSAMBLAR MOLDE FINAL

Las subactividades que se deben realizar para completar el desarrollo de la actividad A2: Manufacturar y ensamblar molde final, son las tres siguientes: A21, A22, A23 y A24 (ver figura 3.5).

En esta etapa se definen los procesos que pueden emplearse para la manufactura de los diferentes modelos y componentes que se requerirán para obtener el molde final, en este caso son varios, debe realizarse una selección ponderada en función del costo, la calidad y el tiempo. Se caracteriza y selecciona la maquinaria para las diferentes actividades en la manufactura del molde final, determinando la secuencia de fabricación de cada componente. Con base en el diseño previo realizado en los niveles de las actividades anteriores, se seleccionan las herramientas necesarias para las etapas de manufactura que se realizarán, así como los aditamentos para el montaje y operación en el momento del mecanizado. En esta parte se documenta a detalle cada herramental y proceso seleccionado.

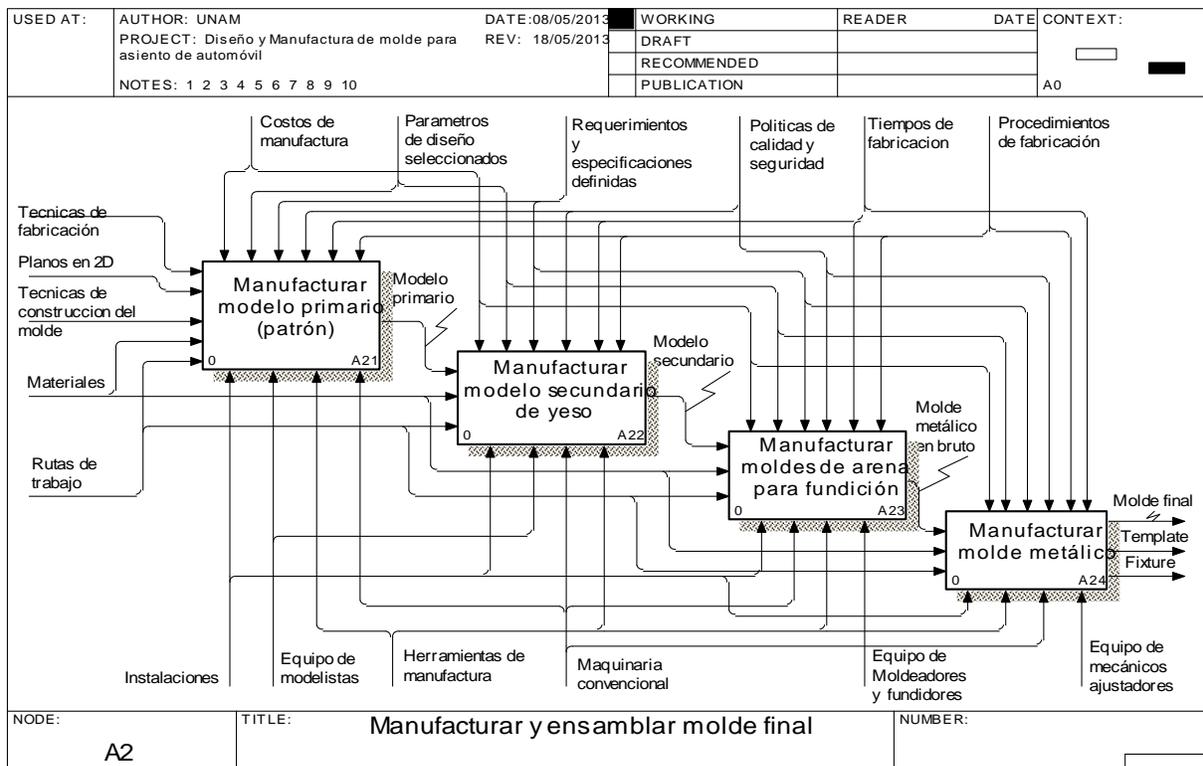


Figura 3.5. Actividades que completan el desarrollo de la actividad A2.

NIVEL PARA MANUFACTURAR MODELO PRIMARIO

Las subactividades a realizar para completar el desarrollo de la actividad A21: Manufacturar modelo primario (patrón), son las cuatro siguientes: A211, A212, A213 y A214 (ver figura 3.6).

A211: Generar información.

Se inicia con la interpretación del plano de ingeniería que es la principal fuente de información, nos dice cómo va a ser el contorno principal del asiento, que se revisó con detalle en la actividad, A12: Interpretar plano.

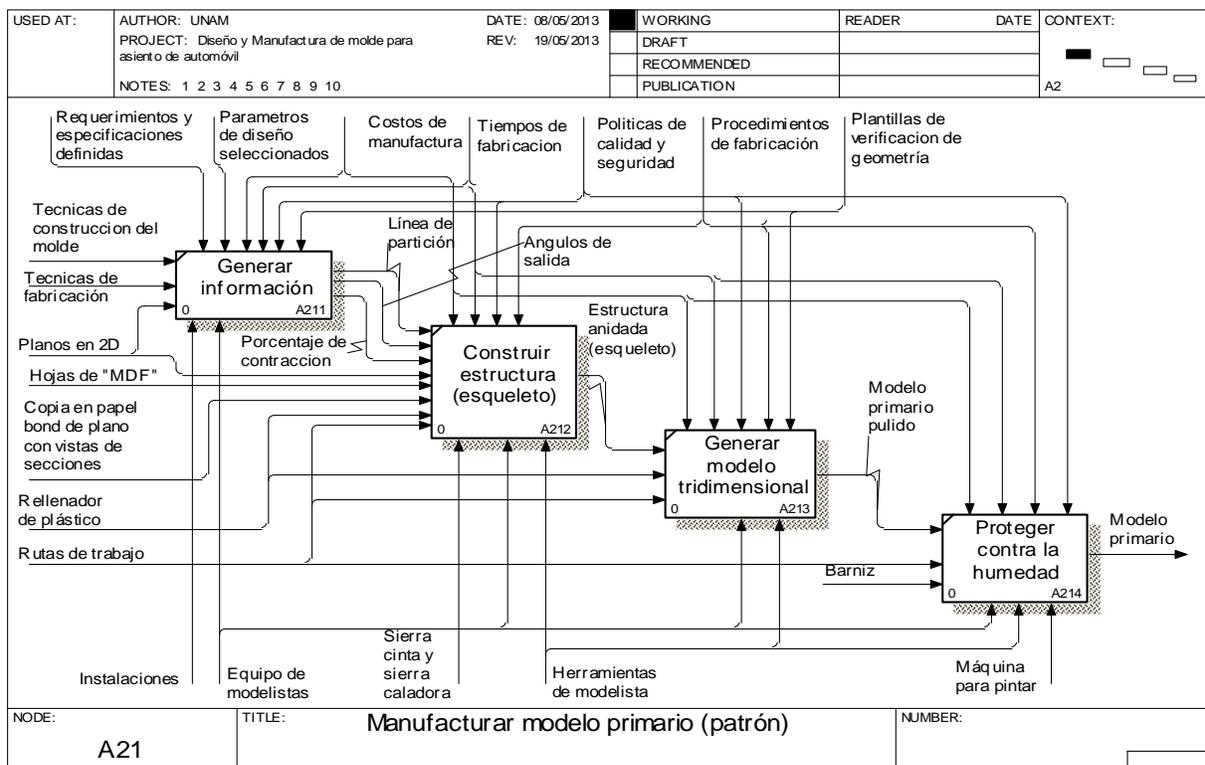


Figura 3.6. Actividades que completan el desarrollo de la actividad A21.

Como entrada tenemos, la utilización de las técnicas de fabricación para realizar el modelo patrón. Se obtienen y preparan los recursos necesarios como: los humanos integrado por el equipo de modelistas, instalaciones, equipos, materiales y herramientas de modelistas, para realizar la fabricación del modelo primario. Entre los elementos de control más importantes tenemos las políticas de calidad y seguridad de la empresa, los tiempos de fabricación, los costos de manufactura, los parámetros seleccionados para

esta etapa de manufactura y las plantillas de verificación de la geometría, que además es la directriz para generar la figura tridimensional.

A212: Construir estructura (esqueleto).

Se emplea como entrada una copia del plano en 2D, con las secciones cuyo formato tiene considerada la contracción de los materiales, razón por la cual es trazado en papel bond. También se toma la información de las técnicas de fabricación definidas a utilizar.

Esta actividad se ve regulada, por factores como: los costos de manufactura, los tiempos de fabricación y las políticas de calidad y seguridad. Los recursos y herramientas necesarios son el equipo de modelistas, instalaciones, equipos, materiales y herramientas de modelistas.

En el copiado de las secciones se va a crear un subensamble formado por el recorte del plano en papel sobre la línea del contorno de las secciones trazadas y una superficie lisa de hoja de madera de “MDF” de 3mm de espesor y que son pegadas con ayuda de adhesivo. Posteriormente se recorta el ensamble, con ayuda de una sierra cinta o caladora al borde de la línea que está trazada en el plano de papel. Por último, después de ser recortado el ensamble de la sección se perfila hasta aproximarla a su contorno real según marque la línea trazada, mediante el uso de un taco de madera con lija.

La operación de armado de la estructura se realiza cuando se tienen todas las secciones que marca el plano. Una vez que se tienen todos los ensambles de las secciones recortadas y perfiladas se realiza una serie de cortes parciales en forma de ranuras ubicadas sobre las líneas de posición donde pasan las otras secciones ortogonales para que pueda armarse un entramado entre las secciones anidadas y se obtenga como salida de esta actividad una estructura formada que sirve como esqueleto o núcleo del modelo primario que se está elaborando. Esta estructura una vez que ha sido ensamblada se monta sobre un bastidor para que se conserve la

cuadratura de la estructura y su ortogonalidad para que se trabaje sobre el mismo nivel durante todo el proceso siguiente.

A213: Generar modelo tridimensional.

Inicia esta operación con la entrada de la estructura armada y anidada de la actividad anterior a raíz del entramado con las secciones, como esqueleto principal, las otras entradas son el uso de rellenedor plástico, poliestireno espumado (llamado comercialmente, unicel) y la ruta de trabajo. Los elementos de control son los mismos que utilizamos en la actividad anterior, agregándole los procedimientos de fabricación. Entre las herramientas o recursos a utilizar estarán el equipo de modelistas, instalaciones, maquinaria como la esmeriladora de mano, materiales, y herramientas manuales de modelista como lo son formones y escofinas.

En esta operación se trata de rellenar los huecos que quedan como paneles, utilizando como producto de relleno un material que sea ligero, en la empresa en estudio se utilizó unicel en presentación de placas o planchas de diferentes espesores: $\frac{1}{2}$ ", 1" y 1 $\frac{1}{2}$ ". Estas placas son cortadas primero en bloques prismáticos que deben embonar en los huecos y son recortados a mano con navaja, aproximando un bloque por cada hueco que exista.

Se debe ajustar de manera especial cada corte que coinciden con la superficie de la pieza que marca el contorno exterior de la sección, dejando de uno a dos milímetros por debajo del contorno final marcado por la sección del entramado. Una vez que se tiene un bloque ajustado a un hueco se pega con rellenedor de plástico que es un adhesivo a base de resina poliéster.

La operación anterior se repite para todos los huecos de la estructura hasta que se hayan llenado todos estos. A los bloques que se han colocado por debajo del nivel marcado por la sección, en el siguiente paso de la actividad se les depositará una capa uniforme de rellenedor de plástico para formar la superficie final.

Para que se tenga mayor dureza, menos rugosidad y se facilite la tarea de acabado que se inicia al realizar el pulido fino de la última capa de rellenedor terminando cuando toda la superficie este más lisa, de esta forma tenemos la salida esperada de esta actividad que es un modelo primario pulido.

A214: Proteger contra la humedad.

Esta actividad admite como entrada el modelo primario terminado de pulir y es el último proceso antes de obtener un modelo primario. Para realizar esta actividad tenemos que contar con algunas entradas nuevas como es el uso de barniz o laca transparente. Un elemento más que debe regular esta actividad es la política de seguridad con mucha precaución por utilizar sustancias tóxicas, así como seguir los procedimientos de fabricación, sin olvidar los costos de manufactura. Además entre los mecanismos que utilizaremos esta la experiencia del modelista que barniza y el uso de un equipo de pintar.

Esta actividad se inicia con la aplicación de barniz a el modelo primario para protegerlo de la humedad, después de varias capas de barniz en forma líquida a base de resinas de poliéster, se tiene que dejar un tiempo de secado entre capa y capa aplicada dicho recubrimiento crea una película selladora de los poros que quedan en la superficie del rellenedor; lo que permite tener un modelo con mayor impermeabilización y así poder resistir la penetración de la humedad cuando sea copiado en el material de yeso.



Figura 3.7. Modelo primario.

Cuando se ha logrado obtener una capa con un espesor calibrado por simple inspección visual dicha operación se ha concluido y también la actividad, para resultar como producto de salida final un modelo primario (ver figura 3.7).

NIVEL PARA MANUFACTURAR MODELO SECUNDARIO DE YESO

Las subactividades a realizar para completar el desarrollo de la actividad A22: Manufacturar modelo secundario de yeso, son las siguientes: A221, A222, A223, A224 y A225 (ver figura 3.8).

En la segunda parte de la fabricación de un molde para asiento de auto, describiremos como se fabrica un modelo secundario con yeso como material base a partir de un modelo primario. Siguiendo los pasos que se muestran el diagrama.

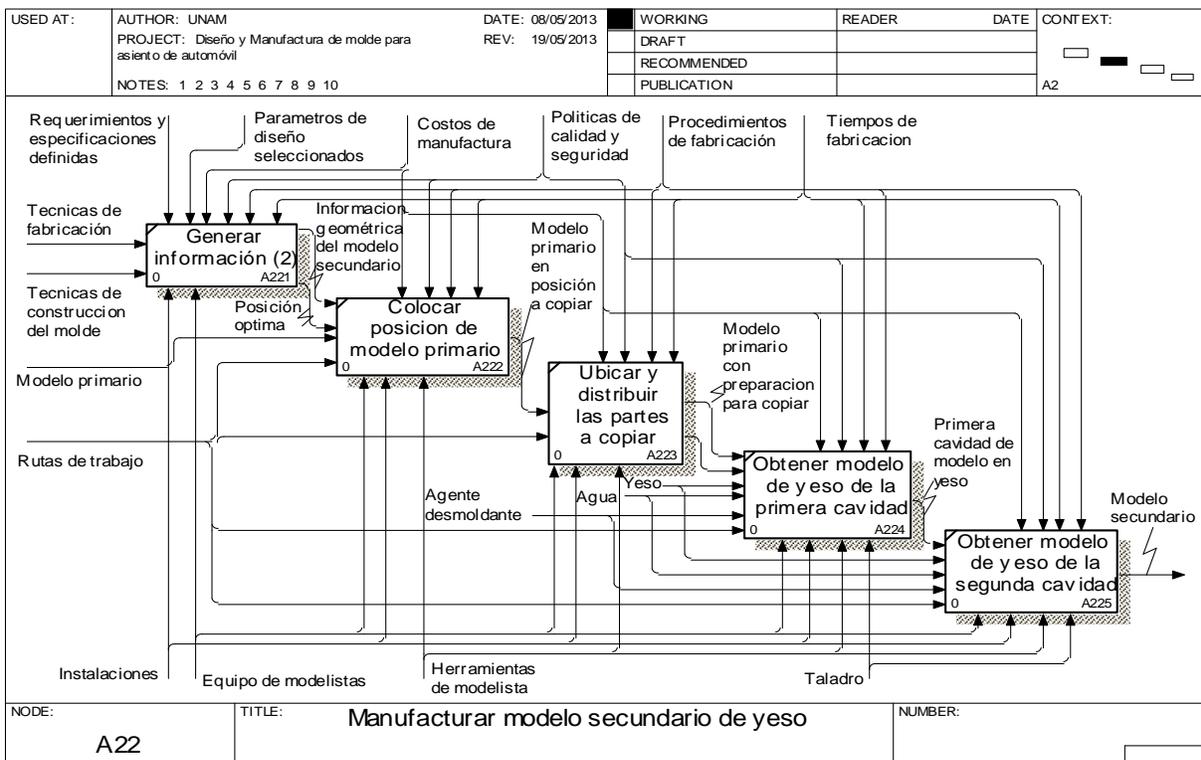


Figura 3.8. Actividades que completan el desarrollo de la actividad A21.

A221: Generar información.

De entrada se trabaja con base en las técnicas de fabricación y las técnicas de construcción elegidas que se seguirán. Se preparan los mecanismos o recursos

necesarios para ejecutar esta actividad: tenemos el equipo de modelistas, instalaciones, herramientas de modelistas, para llevar a cabo la fabricación del modelo secundario de yeso. Entre los elementos de control más importantes tenemos las políticas de calidad y seguridad de la empresa, tiempos de fabricación, costos de manufactura y los parámetros seleccionados para esta etapa de manufactura.

En esta actividad se espera obtener la posición óptima para copiar el modelo primario y tener información geométrica de cómo será el modelo secundario, por ejemplo la definición de las dimensiones generales que debe tener cada una de las cavidades que forman el molde a partir de la altura total del mismo, esto es tenemos que determinar las medidas como su largo, alto y ancho del molde.

Que estarán regidas por el espacio que tengan los portamoldes (carriers) donde son colocados cuando están en producción. Una vez que se ha definido, la altura total del molde se habrá obtenido la de cada una las cavidades. También se debe determinar en cuantas partes se copiará el modelo de yeso, pues no se podrá obtener en una sola pieza del molde de arena. Esto hace necesario ubicar en el modelo primario las líneas de partición de cada una de las partes en que se dividirá cada cavidad.

A222: Colocar posición de modelo primario.

Esta actividad se empieza con la entrada del modelo primario y la posición óptima elegida para favorecer el desmoldeo de la pieza de poliuretano cuando se esté fabricando, teniendo precaución de evitar el mayor número de zonas con contrasalidas. Las herramientas o recursos que permiten realizar esta actividad son la experiencia del equipo de modelista en la fabricación de moldes y las herramientas de su oficio. Entre los elementos de control más importantes tenemos las políticas de calidad y seguridad de la empresa, tiempos de fabricación, costos de manufactura y los procedimientos de fabricación para esta etapa de manufactura.

En esta función se procede a colocar el modelo primario sobre una superficie horizontal que se tomará como plano de referencia para referir a él tanto las líneas y superficies

de partición de la altura total del modelo secundario, dicha altura contempla calzar el modelo primario para tener como se mencionó la mayor cantidad de caras con salida natural en el desmoldeo (evitar contrasalidas) de la parte de poliuretano inyectada en el molde, esta línea no siempre coincide con la mitad del molde, cuando se ha colocado en la posición definida se habrá culminado dicha actividad.

A223: Ubicar y distribuir las partes a copiar.

Una vez que se coloque el modelo primario en su posición óptima, se tendrá la entrada para iniciar esta actividad, junto con las rutas de trabajo establecidas. Como recursos a utilizar en esta actividad y en todas las actividades anteriores tenemos las mismas instalaciones desde que se inicio el proceso de fabricación y agregamos la experiencia del equipo de modelista en la fabricación de moldes y sus herramientas. También están los elementos que regulan la actividad que son las políticas de calidad y seguridad de la empresa, tiempos de fabricación, costos de manufactura y los procedimientos de fabricación que gobiernan las etapas de manufactura.

Hay que observar la simetría del modelo una vez que se ha definido el eje horizontal, para proceder a trazar con apoyo de un marcador permanente en forma manual sobre el modelo primario la línea de partición que tendrá la pieza para generar las dos cavidades y que originará la determinación de la zona del sello entre las cavidades.

De existir un candado o retención (contrasalida) no previsto, es decir, donde pudiera atorarse el molde al momento de desmoldar. La experiencia del modelista le guiará para resolver dicha retención, sin embargo es relativamente fácil determinar esas zonas, principalmente en los espacios donde hay partes sobresalientes del modelo y en algunos casos donde hay una cavidad muy pronunciada.

Una vez que se ha determinado en cuantas partes o táceles se hará el molde, el siguiente paso es cerciorarse de marcar bien las partes en que has dividido tu modelo secundario. A continuación se tienen que ubicar y trazar las líneas de partición de las partes (táceles) en que se ha decidido separar el modelo una vez copiado para cada

cavidad, para que al desmoldarlo del molde de arena se eviten las contrasalidas que dificulten la extracción de la pieza de yeso.

Después de terminar estas tareas se realiza una ceja (base o cama), con algún material plástico moldeable en nuestro caso se usa plastilina siguiendo el contorno del primer tácel que se trazó. Generalmente se hace la “cama” dejando una ceja que va de 2 a 3 cm., hay diversas formas de hacer la ceja, una es agregando trozos del material que se usará, como por ejemplo plastilina, y después alisar completamente la ceja, en la figura 3.9 se ilustra un ejemplo similar para la creación de una ceja en un molde de yeso.

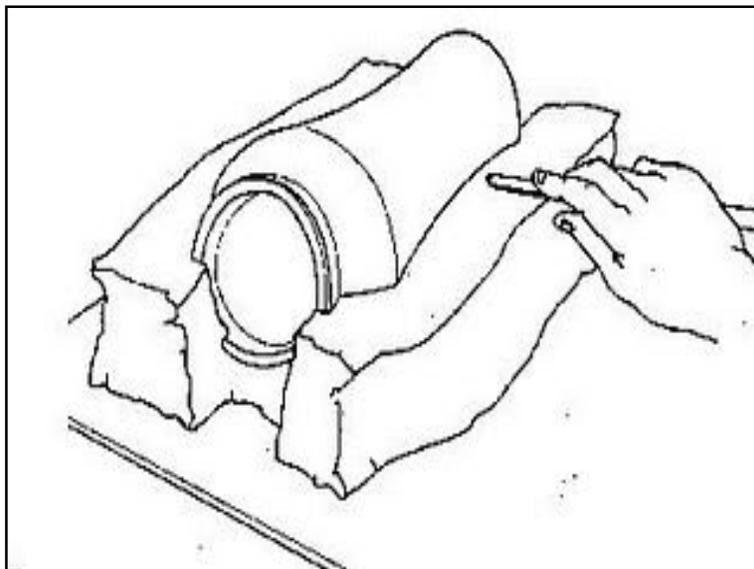


Figura 3.9. Ejemplo de Formación de ceja o cama.

En el siguiente paso una vez que se ha alisado perfectamente la ceja del molde, se aplicará un desmoldante que puede ser goma laca disuelta en alcohol, en una capa muy delgada. En algunos casos es necesario hacer las guías o llaves para centrar los táceles. La función del desmoldante es facilitar la separación de los táceles en que se dividió el modelo, así como de impedir que se pegue al molde. Entre el sellador y el molde debe formarse una especie de capa intermedia que dificulta que las partículas del material del molde penetren en los poros del modelo evitando de esa manera que se adhieran permanentemente.

En la siguiente parte dentro de nuestra actividad es preparar la zona de sellado, que como se describió en capítulo dos, es una superficie conformada físicamente sobre cera que se agrega al cuerpo del modelo primario y es donde ambas cavidades se tocan para sellar el molde, cuya función es mantener el molde cerrado herméticamente y evitar las fugas de material. En ocasiones se debe tener cuidado de que la misma superficie de sellado no forme contrasalidas y sea una restricción geométrica que se tenga que superar en la construcción del molde.

Cuando se ubican todas las líneas de partición, la principal, las de las partes en que se divide el modelo de yeso y se ha generado la zona de sellado, entonces esta actividad habrá terminado y se tendrá como salida el modelo primario preparado para copiar en yeso.

En esta parte también se le deben agregar las cejas del molde que son extensiones en forma de placas de las cavidades sobre el mismo plano del eje de referencia horizontal, que son las partes que soportan el molde dentro de la estructura del portamolde, (ver figura 3.10).



Figura 3.10. Preparación de la zona de sellado.

A224: Obtener modelo de yeso de la primera cavidad.

Esta actividad consiste en copiar las cavidades en yeso que constituirán el modelo para la fundición del molde para asiento de automóvil de acuerdo con los planos que proporcionó el cliente. Las entrada para esta actividad son un modelo primario preparado para copiar, además de el uso de materia prima como yeso (sulfato de calcio con la adición de talco y harina de sílice para mejorar la resistencia y controlar el tiempo requerido para el curado del mismo), agua y la información técnica de este material especial para moldes que nos permitirá establecer cómo se va a conformar el modelo secundario.

Las herramientas que proporcionan la información necesaria son las instalaciones y los recursos humanos integrados por el equipo de modelista y herramientas como taladro para realizar la mezcla de yeso y agua. Los elementos que acotan el desarrollo de la actividad son las políticas de calidad y seguridad de la empresa, tiempos de fabricación, costos de manufactura y los procedimientos de fabricación que en conjunto regulan esta etapa de manufactura.

Una breve descripción de la actividad sería la siguiente se procede a copiar la superficie expuesta del modelo primario amasando una mezcla de yeso y agua, diseñado especialmente para realizar modelos. En esta parte operativa se pueden observar las zonas que tienen contrasalidas y realizar las modificaciones necesarias para copiar en varias partes o táceles de cada cavidad.

A continuación se inicia la copia del primero de los táceles, se debe procurar que el modelo quede sumergido, ahogado o atrapado hasta la marca que se hace siguiendo el contorno del primer tácel que se trazo y retirando entonces la plastilina. Para copiar después las partes adyacentes con las mismas características que se realizó la primera parte y que embonen dichas partes teniendo así las partes (táceles) sueltas que permiten el fácil desmoldeo cuando se forme el molde de arena (adobe) en fundición.

Durante la aplicación de la masa de yeso la superficie expuesta del modelo primario en el copiado se debe checar el espesor de pared, cuyo valor debe ser aproximado a 12 mm o ½”, que será el espesor que tendrá el molde final. Así se van copiando las partes o táceles en las que se haya proyectado dividir cada cavidad, recordando que está en función de tener zonas de fácil desmoldeo (ver figura 3.11).



Figura 3.11. Parte de la cavidad en yeso.

De forma paralela a esta operación, se puede ir construyendo el serpentín tubular para la calefacción del molde, que se construye con un material anticorrosivo como es un tubo de acero inoxidable con la ayuda de una herramienta-matriz de doblado. En él circulará el agua caliente que mantendrá la temperatura del molde en los rangos establecidos para evitar posibles choques térmicos.

Esta tubería debe tener el menor número de uniones soldadas, para evitar fugas durante su operación pues quedará embebida en el molde metálico cuando sea fundido. Por eso cuando se ha terminado de doblar se le realizan pruebas de fuga exhaustivas para prevenir fallas en el tiempo de operación.

La siguiente etapa después de tener todas las partes en que se dividió la cavidad, es el pegado de la tubería junto con los nervios para formar las paredes, la cual consiste en

colocar la tubería pegada a la superficie exterior de la pared de la cavidad para que se tenga mayor transmisión de calor al material de trabajo y en seguida el tubo es forrado con una camisa de forma semitubular de unigel para que también tenga una pared que lo proteja.

Los nervios son paredes formadas de unigel con un espesor de 12 mm pegados también por una de sus aristas al cuerpo principal de la cavidad, con un adhesivo especial para unigel. La adición de nervios permite darle una mayor rigidez y resistencia a la cavidad para soportar las fuerzas de cierre de los moldes en operación, ya que con esto se sustituye de alguna manera a un cuerpo sólido y queda un arreglo formado por paneles (ver figura 3.12).



Figura 3.12. Serpentin y nervios que acompañan al modelo de yeso.

Con esto se tiene como una salida de esta actividad, la primera cavidad terminada y luego girar la placa base que se utilizó como eje de referencia horizontal y que ahora las cejas o camas de la primera cavidad ya lo tienen registrado en su geometría. Para quedar expuesta la parte del modelo primario que no se copió en esta actividad.

Como última operación hay que preparar la franja de sellado en la que se debe dejar una altura de separación entre las cavidades para que cuando se realice el sellado del molde metálico sea absorbida dicha altura por el ajuste de las cavidades de molde y el material utilizado para formar el sello. Esta altura es conformada físicamente con una cera (preparada a partir de cera de Campeche, brea y parafina). Ahora si tendremos una cavidad en yeso como salida de la actividad.

A225: Obtener modelo de yeso de la segunda cavidad.

Esta actividad es idéntica en muchos aspectos a la actividad A224: Obtener modelo de yeso de la primera cavidad. Por lo tanto me parece correcto no replicar información, simplemente enunciar las diferencias con dicha actividad.

La primera diferencia es que como entrada ahora se tiene la primera cavidad de yeso copiada. En los elementos de control y los recursos a utilizar maneja los mismos que la actividad anterior. En cuanto a las subfunciones de esta parte según el diagrama IDEF0 en que se apoya, se tienen las siguientes: A2251: Copiar en forma secuencial las partes de la cavidad, A2252: Conformar serpentín de calefacción, A2253: Formar paneles con nervios para reforzar cuerpo de molde y A2254: Separar las cavidades de yeso copiadas. Al comparar se ve que las tres primeras actividades si son realizadas en la actividad A224 (anterior), y se agrega una mas que es la separación de las cavidades con lo que tenemos dos modelos como salida o resultado de la actividad, para que sean moldeadas en arena para fundición que es nuestra siguiente etapa.

Una vez que ya tenemos la segunda cavidad formada también como la primera con su cavidad copiada en yeso con sus cejas, tubería y paredes de paneles, podemos decir que ya tenemos fabricado el modelo secundario.

NIVEL PARA MANUFACTURAR MOLDES DE ARENA PARA FUNDICIÓN

Las actividades que se deben realizar para completar el desarrollo de la actividad A23: Manufacturar moldes de arena para fundición, son las siguientes: A231, A232, A233 (ver figura 3.13).

A231: Generar información.

Como entrada trabajaran con las técnicas de fabricación definidas para nuestros procesos y el conocimiento de las técnicas de construcción del molde. Los elementos que gobiernan esta actividad son: las políticas de calidad y seguridad de la empresa, tiempos de fabricación, costos de manufactura, los procedimientos de fabricación así como los parámetros de diseño seleccionados. Los mecanismos que proporcionan la información necesaria en esta actividad siguen siendo las instalaciones y los recursos humanos ahora integrados por el equipo de moldeadores y fundidores.

Una vez que se tiene el modelo secundario copiado del modelo primario para formar dos cavidades en que se partió el molde, hay que proceder a obtener los moldes de arena para fundición.

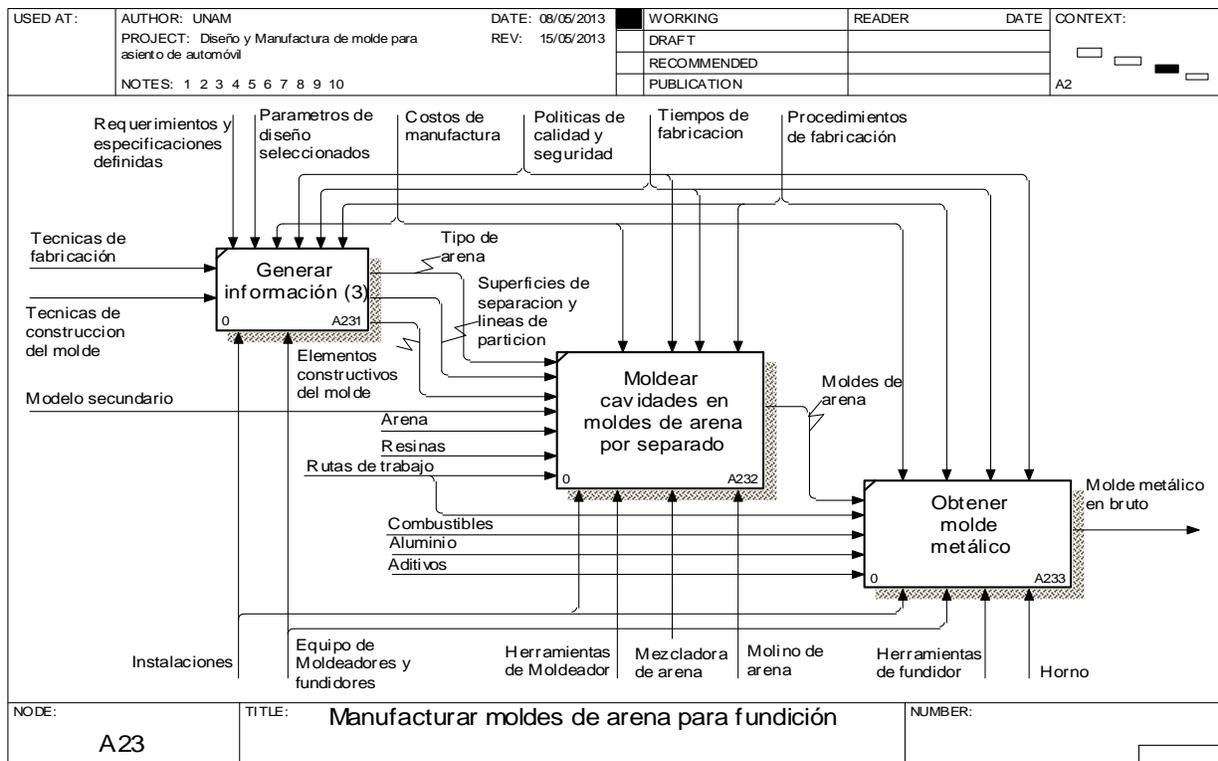


Figura 3.13. Actividades que completan el desarrollo de la actividad A23.

Para lograr la producción de una pieza fundida es necesario generar la información referente a las siguientes tareas:

- Diseñar el molde de arena (líneas y superficies de separación).

- Definir y preparar los materiales de los moldes (tipo, de arena, etc).
- Definir los elementos de construcción de los moldes de arena.
- Definir el material a fundir y sus aditivos para mejorarlo.
- Determinar la forma de extraer las piezas fundidas.
- Limpiar las piezas fundidas (tipo de limpieza).
- Terminar las piezas fundidas.
- Recuperar y/o eliminar los materiales de los moldes.

Toda esta información se define como salida de esta actividad, para guiar los procesos durante este nivel.

A232: Moldear cavidades en moldes de arena por separado.

En esta actividad que es también operativa, iniciamos con la entrada de la información que se definió en la función anterior, así como agregar el modelo secundario sobre del cual se va a trabajar, además de los materiales a utilizar como son arena y tipos de resinas furánicas autofraguantes con sus componentes.

Los elementos que regulan que se lleve bajo lineamientos esta actividad serían: las políticas de calidad y seguridad de la empresa, las medidas de seguridad deben ser más vigiladas pues se manejan materiales tóxicos como las resinas furánicas, además de los tiempos de fabricación y costos de manufactura. Los recursos que se utilizarán proporcionan las herramientas necesarias para realizar esta actividad por lo se tiene las instalaciones, el equipo de moldeadores y sus herramientas como las “cucharas” especiales, entre la maquinaria que utilizada esta una mezcladora de arena y un molino para triturar la arena.

El procedimiento en esta actividad es el siguiente, el primer paso es utilizar una de las dos cavidades como modelo para que sea moldeado en arena seca por medios autofraguantes, la empresa colaboradora en este momento está utilizando para fabricar los moldes con arena de arcilla seca de grano agudo mezclado con resinas sintéticas

autofraguantes de reacción entre alcohol furfurílico o fenol y urea-formaldehído, para acelerar el endurecimiento se usan catalizadores ácidos (ej. fosfórico) o ésteres.

Con esta mezcla de arcilla, resina furánica y catalizadores en dos horas el molde se endurece lo suficiente para recibir el metal fundido y evitar la humedad de la arena, para que no se refleje en la calidad de la fundición, debe construirse un molde de arena (adobe) por cada cavidad.

Antes de vaciar la arena para formar el molde es necesario colocar cilindros huecos (tubos) para formar todos los elementos constructivos del molde (como bebederos o coladas, canales de alimentación o compuertas, trampas y mazarotas o cargadores), que sean necesarios para tener el mejor flujo de material. En esta parte al llenar el molde de arena estos cilindros (tubos) también se moldean y luego se liberan con la arena contenida adentro para que se deje el hueco de la colada o rebosadero.

Es importante, poner atención al tiempo de fraguado de la arena, que transcurre desde el mezclado de la arena con la resina, el vaciado de la arena en la caja del molde y el apisonado. Pues en veinte minutos empieza la reacción del material endureciéndose y corre el riesgo de formar piedras por lo que se pueden desperdiciar en cada molde 500 Kg de arena, que es lo que consume cada uno de los moldes de arena (ver figura 3.14).



Figura 3.14. Izquierda: Molde de arena de una cavidad. Derecha: Colocación del serpentín en el molde de arena.

En el siguiente paso se desmolda el modelo de yeso del molde de arena valorando en este momento la buena proyección de la línea de partición de las cavidades, pues el éxito estará en función de realizarse una labor fácil o difícil por parte del maestro moldeador.

En seguida se aplica una pintura selladora aglutinante del grano de arena en la superficie moldeada de la cavidad, para que al momento de estar vaciando el material fundido no se desgrane esa zona que será la cara principal en el molde metálico, con el fin de mejorar la rugosidad de la arena en esa zona. Es necesario quemar posteriormente los residuos de la pintura selladora y los de la resina de la arena, pues se debe evitar la formación de gases con el calor del material fundido en el momento del vaciado del material (ver figura 3.15).



Figura 3.15. Izquierda: Pintura selladora del grano de arena. Derecha: Quemado de residuos de pintura.

En la otra parte del molde de arena en el que queda moldeada la figura posterior de la cavidad formada por la tubería y las paredes de unicel, a esta paredes se les da un trato igual que al de un molde desechable debido a que son difíciles de desmoldar por ser planchas planas de unicel y entonces se opta por quemarlas, como en la técnica de fundición del molde desechable a la espuma perdida (utilizando unicel) que se quema,

quedando los huecos de la camisa de la tubería y la misma ya moldeada para que quede embebida en el material metálico, al igual que las paredes.

Cuando se obtienen las dos mitades de un molde de arena (una base y una tapa) que corresponde a una de las cavidad del molde metálico, se procede a cerrar la base y la tapa del molde de arena sujetándolo bien con ayuda de algún medio mecánico (prensas, clamps, etc.), que le permita soportar la presión ejercida por el material fundido cuando fluye dentro del hueco del molde de arena, que intenta separar las dos mitades del molde (ver figura 3.16).

Este mismo procedimiento se debe de realizar con la segunda cavidad, hasta obtener su molde de arena. Fabricando entonces dos moldes de arena uno para cada cavidad. Teniendo entonces la salida de esta actividad, según el diagrama de la actividad A23.



Figura 3.16. Izquierda: Molde de arena listo para vaciar. Derecha: Molde con dispositivos de sujeción.

A233: Obtener molde metálico.

En esta actividad operacional, la última de este nivel de manufactura de moldes de arena para fundición se inicia con la entrada de los moldes de arena listos para vaciar el material, así como los otros materiales a utilizar que son aluminio en lingotes, insumos para la fundición y combustible para el horno.

Los elementos que controlan la actividad serían: las políticas de calidad y seguridad de la empresa, pues siguen siendo las medidas de seguridad las más supervisadas, ya que ahora se manejarán materiales inflamables como el gas LP, además de los tiempos de fabricación y costos de manufactura. Los recursos que ahora se utilizarán incluyen las instalaciones, la experiencia del equipo de fundidores, sus utensilios como ollas especiales para el transporte del material, dentro de la maquinaria que se utiliza esta un horno de crisol calentado por gas.

Las operaciones en esta parte del proceso se inician con la fusión del material del cual va a ser el molde metálico que en este caso se trata de aluminio, cuya temperatura de fusión es de 650 °C. Por esto es probablemente la operación con mayor riesgo en todo el proceso, ya que se manejan combustibles y materiales en estado líquidos a altas temperaturas. Una vez que se alcanza la temperatura óptima, se le adicionan aditivos como separadores de escoria y fundentes para mejorar la calidad del material, luego se procede a vaciar el material que extrae del horno y lo transportan en crisoles portátiles al lugar donde está el molde para vaciarlo en la cavidad del molde de arena (ver figura 3.17).



Figura 3.17. Collage de las etapas de fusión y vaciado del material.

Una vez que se solidifica el material fundido y es vaciado en el molde de arena se procede a la remoción o desmoldeo de la pieza metálica obtenida, la forma en que se realiza es destruir el molde de arena seca, pues esta arena ya no es reutilizable en la empresa, ya que implica establecer un nuevo proceso para reciclarla, entonces se desecha como cascajo. A las cavidades del molde que se tienen ahora metálicas se le deben cortar las coladas, rebosaderos rebabas y canales de alimentación con la ayuda de esmeriladoras de mano y discos abrasivos de corte, haciéndolo en el mismo sitio donde quedo fijado el molde de arena (ver figura 3.18).



Figura 3.18. Superior: Solidificación de material. Inferior: Limpieza y remoción del molde metálico.

NIVEL PARA MANUFACTURAR MOLDE METÁLICO

Las actividades que se deben realizar para completar el desarrollo de la actividad A24: Manufacturar molde metálico, son las siguientes: A241, A242, A243, A244 y A245 (ver figura 3.19).

A241: Generar información de manufactura del molde metálico.

Al igual que en otros niveles de manufactura donde se tiene que generar información como entrada se trabaja con base en las técnicas de fabricación y las técnicas de construcción elegidas que se seguirán. Se preparan los mecanismos o recursos que se ejecutarán en esta actividad que son necesarios como el equipo de mecánicos ajustadores, instalaciones. Entre los elementos de control más importantes tenemos las políticas de calidad y seguridad de la empresa, tiempos de fabricación, costos de manufactura y los parámetros seleccionados para esta etapa de manufactura, así como los procedimientos de fabricación.

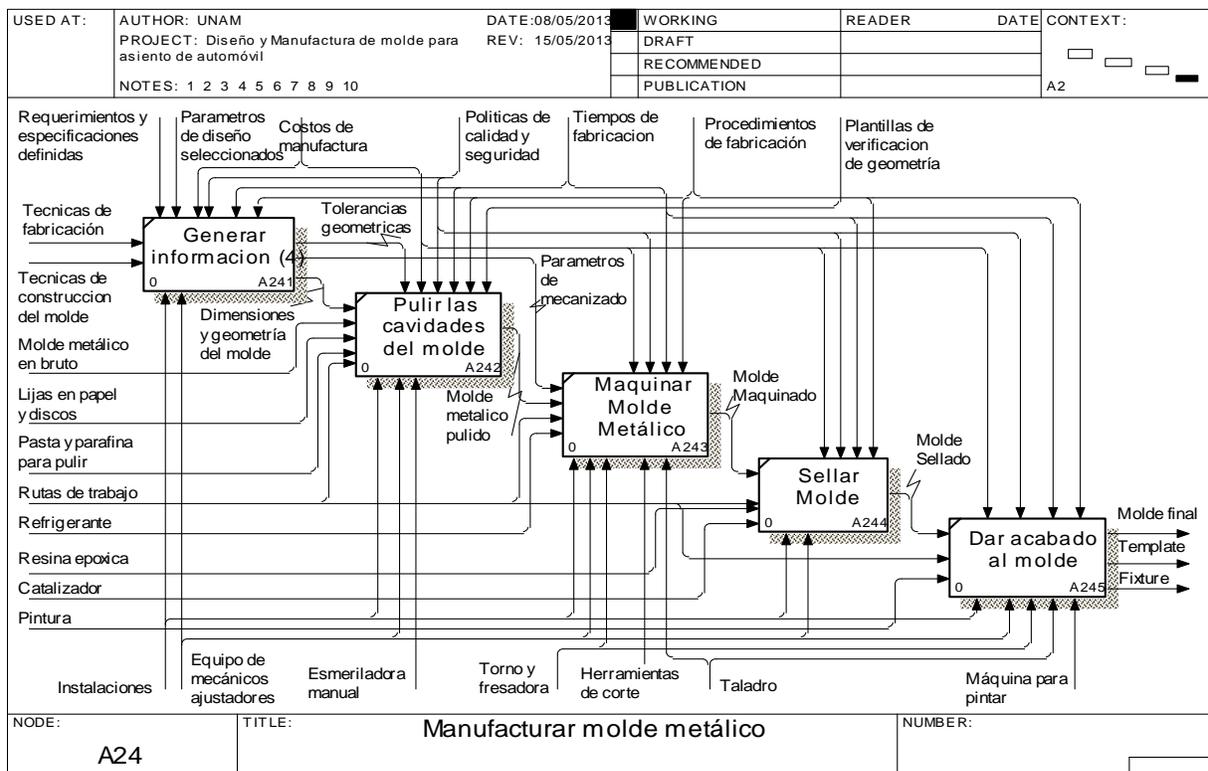


Figura 3.19. Actividades que completan el desarrollo de la actividad A24.

Entonces como salida tendremos que definir los procesos que pueden emplearse para la manufactura de los componentes del molde, en caso de que sean varios debe realizarse una selección ponderando como en los casos anteriores en función del costo, la calidad y el tiempo. Se caracteriza y selecciona la maquinaria para la manufactura del molde, determinando la secuencia de fabricación de cada componente. Dentro de las operaciones más frecuentes para realizar los acabados superficiales en los moldes

están: pulidos, diferentes texturizados como baños de arena, moleteado, o diferentes recubrimientos que en la inyección del poliuretano pueden servir de piel en la pieza. Lo que verifica lo dicho en el capítulo dos, que la textura de la pieza es el reflejo de la textura de la cavidad del molde, por ejemplo; para obtener una textura rugosa en una pieza, será necesario un baño de arena en la superficie de la cavidad, por otro lado, para obtener una textura en la pieza brillante y transparente, sería necesario un pulido con polvo de diamante para obtener un acabado espejo.

Se mencionó en actividades anteriores con base en el diseño, que se seleccionan las herramientas necesarias para la manufactura, determinando el tiempo de vida útil y los costos de cada una, así como los aditamentos para el montaje y operación. En esta parte se documenta a detalle cada herramental y proceso seleccionado.

Para determinar la secuencia de maquinado se consideran los tiempos de manufactura, los procesos de maquinado y los acabados superficiales, generando un plan de manufactura detallado. Puede optimizarse la secuencia empleando herramientas para la planificación de los procesos y tener una reducción de los tiempos de espera y las colas entre procesos, para impactar la reducción de los costos y tiempos de manufactura.

Se debe realizar también la tarea de calcular los parámetros de mecanizado. Dichos parámetros para el mecanizado a considerar son: profundidad de corte, velocidad de avance, velocidad de corte y el fluido (refrigerante y lubricante) que se usará para realizar el corte (en caso de ocupar alguno).

Se debe documentar cada detalle mediante diagramas como IDEF0, de las secuencias diseñadas y se describen las características para la fabricación mediante el plan de manufactura, por lo que se sigue con detalle, la fabricación de cada componente del molde incluyendo los acabados superficiales.

A242: Pulir las cavidades del molde.

Para iniciar esta actividad tendremos como entrada, el molde metálico en bruto y las definiciones geométricas y dimensionales, así como otros materiales que se usarán como: las lijas en papel y en disco, pasta para pulir o parafina.

Podemos ver como algunos de los elementos que regulan la actividad son los mismos que las actividades anteriores tal como: las políticas de calidad y seguridad de la empresa, los tiempos de fabricación y costos de manufactura, además de las tolerancias geométricas necesarias, ajustarse a las plantillas de verificación de geometría. Los recursos que se utilizan proporcionan las herramientas necesarias en esta actividad son las instalaciones, el equipo de mecánicos ajustadores, sus herramientas de medición, de ajuste entre la maquinaria que se utilizará será una esmeriladora de mano y herramientas rotativas (conocidos como mototool).

El proceso se inicia con un pulido fino de la cavidad del molde metálico, realizándose esta tarea en forma manual, con la ayuda de motores neumáticos y esmeriladoras eléctricas, que utilizan como herramienta de desbaste para el pulido, disco de piedra de lija, ruedas multifilos de hoja de lija (llamadas, flat), o rollos de lija con una flecha metálica, fabricados por la experiencia de los operarios del pulido (ver figura 3.20).



Figura 3.20. Izquierda: Cavidad del molde pulida. Derecha: Operario realizando pulido del molde.

Esta operación se repite realizando varias pasadas con lijas de diferente grano y/o grado, con el fin de disminuir la rugosidad del acabado superficial, se van realizando cambios de lija en la que se va reduciendo el grado de la lija, en cada pasada hasta llegar al acabado establecido por inspección visual que en general se define por el brillo que se refleja.

Es importante recordar que se debe tener cuidado especial en evitar porosidades en la cavidad metálica que puedan afectar el acabado superficial de las piezas de espumas de poliuretano. Estos orificios cuando son relativamente muy grandes no se pueden soldar, ya que es parte de uno de los requerimientos del cliente, porque es evidente el cambio de la tonalidad que adquiere el punto de soldadura de aluminio con el de la fundición, aunque sea realizado con proceso MIG, se realiza una técnica de remachado de aluminio para cubrir esas zonas.

Otro punto a cuidar con detalle son las zonas donde se ubican las bigoterías, ya que estas si son inspeccionadas dimensionalmente mediante plantillas y por inspección visual ya que estas sirven para apoyar el bastidor metálico cuando es embebido (ver figura 3.21).



Figura 3.21. Operaciones de ajuste de plantillas como medio verificador de las dimensiones de las cavidades.

En esta misma actividad de pulido se realiza la operación que en el ámbito de los moldes se conoce como ajuste del sello, para este tipo de moldes esta tarea se divide

en dos partes: el preajuste y el ajuste final, el primero se realiza en esta actividad trabajando en una franja de superficie entre las dos cavidades (base y tapa) al mismo tiempo, pero dicha superficie que se va rebajando alrededor de la cavidad es la que corresponde a la tapa del molde pues desde la creación del molde secundario la altura de la cavidad se proyecta con mas altura para que en este operación se aproxime a la altura especificada en el plano, dejando para la actividad A244: Sellar molde, la operación final de ajuste, hasta después de que se haya realizado la actividad A243: Maquinar molde metálico.

Revisados y atendidos todos estos detalles tendremos como salida un molde metálico pulido listo para ser maquinado.

A243: Maquinar molde metálico.

Como entrada, tenemos el molde metálico pulido y parámetros de mecanizado que resultaron de las dos actividades anteriores, además que utilizaremos refrigerante para corte y las rutas de trabajo que hemos utilizado durante los procesos.

Podemos ver como los elementos que regulan las actividades siguen siendo: las políticas de calidad y seguridad de la empresa, los tiempos de fabricación y costos de manufactura y los procedimientos de fabricación. Los recursos que se utilizarán nos proporcionan las herramientas necesarias en esta actividad son las instalaciones, el equipo de mecánicos ajustadores, las maquinas-herramientas como el torno y la fresadora con sus herramientas de corte, y taladro de mano.

Siguiendo nuestro diagrama, llegamos a la operación de maquinado de todo el conjunto del molde cerrado, que es la parte donde se le dan las dimensiones de caja como largo, ancho y alto que debe tener para colocarse en la caja del portamoldes, maquinando por esta razón las caras laterales, superior e inferior.

El procedimiento empieza con la sujeción de la pieza que es la operación de mayor importancia en cuanto a seguridad se refiere en el proceso de maquinado, ya que tiene como finalidad posicionar el material o pieza en la mesa de la fresadora de la mejor

manera posible. En esta misma etapa se seleccionan los elementos de sujeción para las operaciones de corte, tomando en cuenta el tamaño y la geometría de la pieza; las capacidades de los elementos de sujeción para seleccionar la mejor forma de sujetar la pieza, considerando que los dispositivos de sujeción no intervengan en el recorrido de maquinado. A continuación se debe colocar el material o la pieza de trabajo, transportándola a la mesa de trabajo y mantener una posición previa al colocar los dispositivos de sujeción, inmediatamente se fija la pieza, para mantener la posición del material o la pieza durante el proceso de maquinado, en seguida podemos apretar la pieza para asegurar el material o la pieza a una posición fija, con la ayuda de los dispositivos de sujeción colocados en la mesa de trabajo.

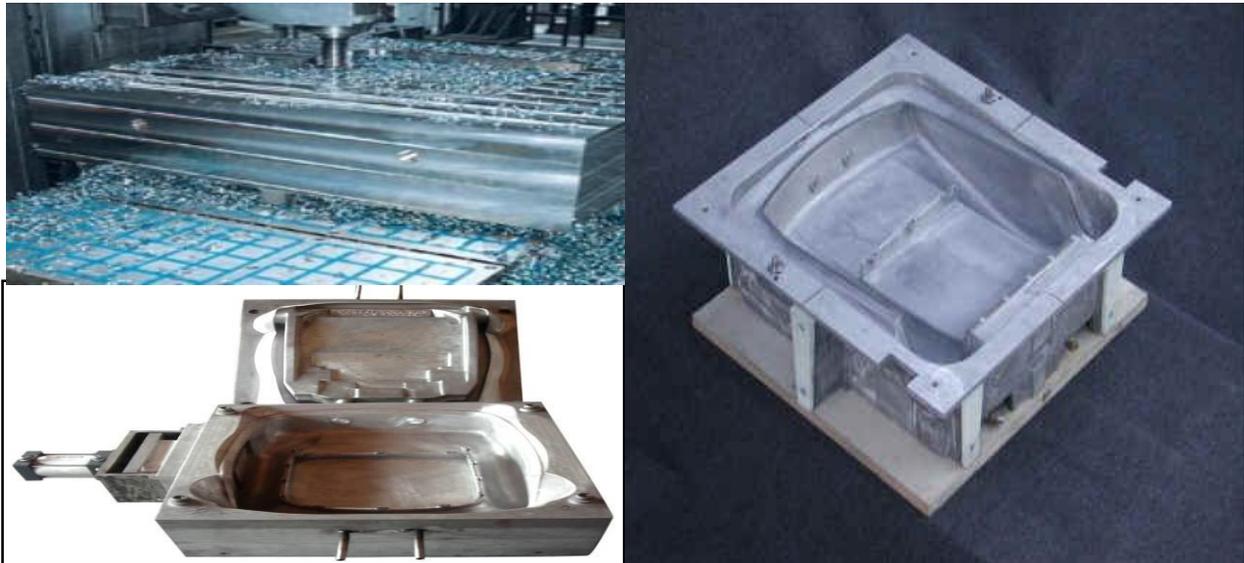


Figura 3.22. Superior: Mecanizado del molde. Inferior y Derecha: Muestra de un molde ya mecanizado “en caja”.

Y posteriormente, pasamos a maquinar el molde, que es la acción por la que la fresadora realiza las operaciones que junto con las herramientas de corte entran en contacto con el material ó pieza semiacabada para comenzar con el trabajo de manufactura y poder conseguir las geometrías deseadas para la pieza final. El personal debe estar capacitado sobre el uso de la máquina-herramienta para poder hacer uso de ella, asegurando la integridad y buen funcionamiento del equipo, es necesario que el personal técnico que opera durante toda esta actividad y utilice el equipo de seguridad adecuado para evitar accidentes de trabajo, así como respetar las normas de seguridad y las políticas de uso del equipo (ver figura 3.22).

Con esto llegamos al final de esta actividad, en la que tendremos como salida un molde maquinado que coincide con lo registrado en el diagrama IDEF0. Dispuesto a pasar a las dos últimas etapas, que son más breves.

A244: Sellar molde.

En el inicio de esta actividad tendremos como entrada, el molde metálico maquinado, y ahora se utilizarán materiales como: resinas epóxicas y cinta adhesiva para generar las zonas de venteo. Además de los elementos que controlan el desarrollo de las actividades son: las políticas de calidad y seguridad de la empresa, los tiempos de fabricación y costos de manufactura.

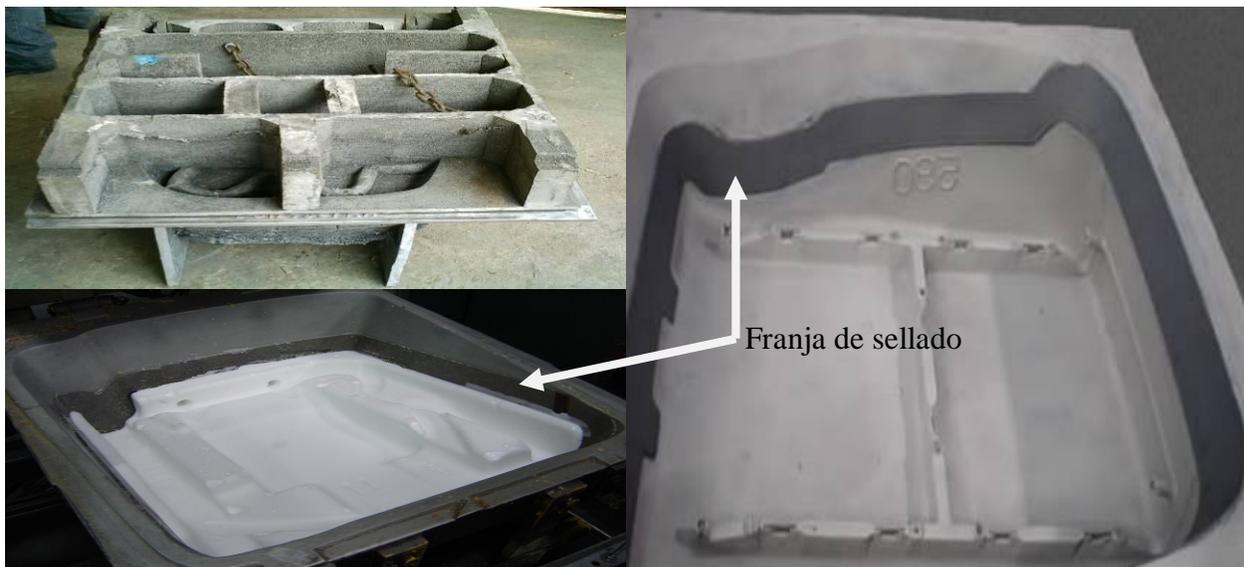


Figura 3.23. Superior: Molde sellado fraguando la resina epóxica. Inferior y Derecha: Zona de sellado (más oscura).

Los mecanismos que ahora se utilizarán y que es proporcionado por las herramientas necesarias son: las instalaciones, el equipo de mecánicos ajustadores y sus herramientas de preparación de resinas como paletas y/o taladro, además que de ser necesario una esmeriladora para afinar el ajuste del sellado del molde.

Una vez que se termina de maquinar, se puede pasar a realizar el ajuste final; dándole un acabado superficial mediante pulido muy fino a la región del sello, en la cavidad donde no se alojara la resina (generalmente la tapa), cuidando por inspección visual la

planicidad, considerando cierta holgura en la altura para que sea ocupada por el material que se utiliza en el sellado mecánico entre ambas cavidades, que es una resina epóxica con carga de aluminio del fabricante Devcon, que tiene la propiedad de conformarse a la forma deseada y con gran exactitud de réplica. Recalcando la importancia del sellado ya que debe evitarse el llamado “flash” o luz del material, que como se mencionó es una tela muy fina en las piezas de espuma de poliuretano, originado por una operación de sellado fallida. Para evitar esta falla se requiere aplicar bastante presión a las cavidades de los moldes para cerrarlos y mantener la presión a la hora de sellado, dicha presión como se comenta debe ser sostenida hasta que haya fraguado la resina, para la cual necesita pasar un tiempo aproximado de 12 horas, tiempo en el cual el molde debe permanecer en su sitio sin mover (ver figura 3.23).

Si el sello entre las cavidades está limpio, es decir tiene una forma constante durante toda la franja, y no hubo formación de defectos como burbujas o falta de llenado con resina, se tendrá la salida esperada para esta actividad, de no cumplir con las especificaciones se debe reintentar el sellado hasta que cumpla con las mismas y no tenga los defectos mencionados.

A245: Dar acabado al molde (pintar y colocar herrajes).

Ahora si en este momento hemos llegado a la última de nuestras actividades, en la que tendremos como entrada, el molde metálico ya sellado, donde además le acompañan todos los herrajes que acompañan a un molde como válvulas y/o conexiones para el flujo de agua, bisagras, pernos guía, mecanismos y pintura o laca.

Conservamos los mismos elementos de control que las actividades de este nivel y que son: las políticas de calidad y seguridad de la empresa, los tiempos de fabricación, los procedimientos de fabricación y costos de manufactura. Los mecanismos que ahora se utilizarán y que son acompañados por las herramientas necesarias son: las instalaciones, el equipo de mecánicos ajustadores y sus herramientas de ensamble como juego de llaves, además de un equipo para pintar.

En la última etapa que es el de acabado final, se arman todos los herrajes antes mencionados como: pernos guía, bisagras de apertura y mecanismos adicionales, por ejemplo, si el molde lleva un mecanismo de apertura para expulsar la pieza de poliuretano, y es necesario liberar una parte de la pieza de espuma que quedo con contrasalida del molde metálico. En esta operación de acabado también se le aplica una capa de pintura líquida alquidámica para darle un recubrimiento final al exterior que no fue mecanizado teniendo un acabado más presentable del molde (ver figura 3.24).



Figura 3.24. Muestra del molde terminado pintado con herrajes y su portamolde.

También se realizan los últimos retoques y el ajuste general de las piezas para la entrega al cliente. Se verifican exhaustivamente todos los movimientos de los mecanismos del molde su posición dentro del portamolde si se tiene en la planta, y aspectos como la refrigeración y/o calefacción. En este departamento, se cuenta con todos los equipos necesarios para que el producto final se ajuste a la perfección a las exigencias de nuestros clientes.

CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS, ACTUAL Y PROPUESTOS.

4.1 EVALUACIÓN DEL PROCESO ACTUAL.

La empresa colaboradora tiene actualmente, un proceso de producción para fabricar moldes para asientos de auto, como ya se mencionó con varias actividades manuales (tocando a trabajo artesanal). Dicho proceso no está documentado, y se requiere generar información del proceso de fabricación de un molde. Pues, cada vez que se inicia un nuevo molde para asiento se tiene que empezar de cero, desperdiciando el tiempo en volver a generar información que se pudo rescatar o registrar.

Además del empleo de mucha mano de obra, se genera mucho tiempo en la fabricación de los diferentes modelos empleados para obtener el molde metálico. Estimando por ejemplo la fabricación de un molde actualmente en un período mínimo de cuatro semanas, considerando el empleo de tiempo extra de los operarios, utilizando doce operarios en todas las etapas de producción. Es en esta parte de la ocupación de mano de obra donde se proponen las mejoras, por ejemplo; la utilización de un centro de maquinado o de una máquina para prototipos rápidos, que nos permita reducir los tiempos empleados en la fabricación de los modelos primarios y secundarios principalmente, inclusive eliminar una actividad para generar uno de los modelos.

4.1.1 Análisis Económico.

Los factores económicos están presentes en toda decisión técnica. No es suficiente saber que la tecnología actual nos ofrece una mayor calidad, ya que está puede ser excesiva para el propósito a cumplir. En el caso de que varias tecnologías ofrezcan prestaciones superiores a las necesitadas, el factor económico toma una elevada importancia.

La importancia de determinar la estructura de costos de producción que refleje la importancia de cada centro de costos al producto terminado, es de vital importancia pues permitirá tomar decisiones sobre los recursos utilizados en la producción sin ir en contra de las bondades de estos productos terminados; mejorando y optimizando nuestros procesos productivos. Asimismo permitirá medir nuestro grado de competitividad considerando que estamos en una economía de mercado orientado principalmente en estrategias de bajos precios.

A continuación presentaremos un resumen de la incidencia de algunos costos asociados al proceso actual en la fabricación de moldes para asientos de auto para tener capacidad de decisión sobre el caso. En la tabla 4.1, se muestra un análisis económico de dicho proceso, considerando los factores de tiempo de fabricación y costo de mano de obra.

PROCESO ACTUAL						
ETAPAS GENERALES	OPERARIOS	CANTIDAD	TIEMPO DE FABRICACION POR OPERARIO (HORAS)	TIEMPO DE FABRICACION (HORAS) / ETAPA	COSTO MANO DE OBRA DIRECTA / HORA (VMN)	TOTAL / ETAPA (VMN)
Modelo primario	Modelista	1	72	72	\$34	\$ 2,088.00
	Ayudante Gral.	1	72		\$13	\$ 936.00
Modelo secundario	Modelista	2	36	36	\$34	\$ 2,448.00
	Ayudante Gral.	1	36		\$13	\$ 468.00
Modelo metálico	Maestros de fundición	2	36	36	\$34	\$ 2,448.00
	Ayudante de fundición	1	36		\$19	\$ 684.00
	Maestro ajustador	2	36	36	\$34	\$ 2,448.00
	Mecánico aparatista	1	24	24	\$38	\$ 912.00
	Ayudante Gral.	1	24		\$13	\$ 312.00
	No. OPERARIOS	12	TIEMPO TOTAL DE FABRICACION (HORAS)	204	COSTO TOTAL MO	\$ 12,744.00

Tabla 4.1. Análisis económico del proceso actual.

Enseguida, se presentan las tablas para cada uno de los procesos propuestos, considerando los mismos factores. En la tabla 4.2, se muestra el análisis económico del proceso propuesto número uno, en el cual tiene como principal característica el uso de un centro de maquinado vertical con CNC.

PROCESO PROPUESTO No 1 (Diseño y manufactura de moldes mediante control de máquina CNC)						
ETAPAS GENERALES	OPERARIOS	CANTIDAD	TIEMPO DE FABRICACION POR OPERARIO (HORAS)	TIEMPO DE FABRICACION (HORAS) / ETAPA	COSTO MANO DE OBRA DIRECTA / HORA (MN)	TOTAL / ETAPA (MN)
Modelo primario	Operador CNC	1	36	36	\$38	\$ 2736.00
Modelo metálico	Maestro de fundición	2	36	36	\$34	\$ 2448.00
	Ayudante de fundición	1	36		\$19	\$ 684.00
	Maestro ajustador	1	36	36	\$34	\$ 1,224.00
	Mecánico operarista	1	24	24	\$38	\$ 912.00
	Ayudante Gd.	1	24		\$13	\$ 312.00
	Nº OPERARIOS	7	TIEMPO TOTAL DE FABRICACION	132	COSTO TOTAL MO	\$ 8316.00

Tabla 4.2. Análisis económico del proceso propuesto No. 1.

De la misma manera se presenta la tabla 4.3, que muestra el análisis económico del proceso propuesto número dos, en el cual tiene como principal característica el uso de una máquina de impresión en 3D.

PROCESO PROPUESTO No 2 (Diseño y manufactura de moldes mediante Impresora 3D en resina)						
ETAPAS GENERALES	OPERARIOS	CANTIDAD	TIEMPO DE FABRICACION POR OPERARIO	TIEMPO DE FABRICACION (hora) / ETAPA	COSTO MANO DE OBRA DIRECTA / HORA (MN)	TOTAL / ETAPA (MN)
Modelo primario	Programador de Impresora 3D	1	60	60	\$50	\$ 6000.00
Modelo metálico	Maestro de fundición	2	36	36	\$34	\$ 2448.00
	Ayudante de fundición	1	36		\$19	\$ 684.00
	Maestro ajustador	1	36	36	\$34	\$ 1,224.00
	Mecánico operarista	1	24	24	\$38	\$ 912.00
	Ayudante Gd.	1	24		\$13	\$ 312.00
	Nº OPERARIOS	7	TIEMPO TOTAL DE FABRICACION	156	COSTO TOTAL MO	\$ 11,580.00

Tabla 4.3. Análisis económico del proceso propuesto No .2.

En ambos procesos que se proponen, existe la posibilidad de realizar una inversión en maquinaria para adoptar la tecnología que le acompaña, con lo cual se analizaron los precios de la maquinaria. En la siguiente tabla 4.4, se muestra el precio, sin IVA, en moneda nacional de cada una de las máquinas utilizadas para la fabricación de los modelos primarios.

MAQUINARIA, Y MATERIA PRIMA PROPUESTA		
	PRECIO DE VENTA, PROMEDIO (VMN)	COSTO TOTAL DE MATERIA PRIMA PARA UN MODELO (VMN)
CENTRO DE MAQUINADO CNC (PROCESO PROPUESTO No. 1)	\$ 1,550,000.00	\$ 178,010.00
IMPRESORA 3D CON RESINA (PROCESO PROPUESTO No. 2)	\$ 3,150,000.00	\$ 243,365.00

Tabla 4.4. Precio de maquinaria y materia prima, procesos propuestos.

Estos datos de la maquinaria corresponden a costes indirectos, que se imputarán en forma de amortización a cada uno de los modelos. La forma en que se tendrán en cuenta, requiere de un apartado dedicado a la amortización.

Otra opción para la obtención de los modelos primarios a partir de las tecnologías propuestas, sería la subcontratación de los servicios a un fabricante externo. En este campo se realizó una búsqueda de empresas con la posibilidad de realizar este tipo de trabajo y las opciones que teníamos en el país son aún pocas.

Debe de especificarse que estas empresas tienen actividad centrada en la generación de prototipos por lo que el supuesto que a continuación se detalla en la tabla 4.5, tiene una validez más que aceptable.

PROCESOS SUBCONTRATADOS					
TIEMPO Y COSTOS	TIEMPO DE FABRICACION (HORAS) / ETAPA	COSTO DE SUBCONTRATACION / HORA (VMN)	COSTO DE TOTAL DE SERVICIOS POR SUBCONTRATACION (VMN)	COSTO TOTAL DE MATERIA PRIMA (VMN)	COSTO TOTAL DE FABRICACION DE UN MODELO PRIMARIO POR SUBCONTRATACION
FABRICACION DE MODELO PRIMARIO MECANIZADO CNC (PROCESO PROPUESTO No. 1)	50	\$52000	\$ 26,000.00	\$ 178,010.00	\$ 204,010.00
IMPRESION 3D (PROCESO PROPUESTO No. 2)	80	\$60300	\$ 48,240.00	\$ 243,365.00	\$ 291,605.00

Tabla 4.5. Costos de servicios subcontratados.

Otro factor de evaluación de los procesos donde se ha trabajado para mejorar es la calidad obtenida de los moldes de en función de cada uno de los proceso y se ha podido determinar un comparativo de acuerdo al proceso actual presentado en la tabla 4.6. Calificando su desempeño bajo los siguientes valores: Muy malo, Malo, Bueno, Muy bueno.

COMPARATIVO DE CALIDAD DE LOS PROCESOS				
INDICADORES DE CALIDAD	TOLERANCIAS DIMENSIONALES (PRECISION)	TOLERANCIAS GEOMETRICAS (FORMAS DE SUPERFICIE, PERPENDICULARIDAD)	ACABADO	SELLADO
PROCESOS				
PROCESO ACTUAL	MUY MALA	MUY MALA	BUENA	BUENA
PROCESO PROPUESTO No. 1 (Diseño y manufactura de moldes mediante centro de maquinado CNC)	MUY BUENA	MUY BUENA	BUENA	BUENA
PROCESO PROPUESTO No. 2 (Diseño y manufactura de moldes mediante Impresora 3D en resina)	MUY BUENA	MUY BUENA	BUENA	BUENA

Tabla 4.6. Calidad de los procesos.

4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS DE FABRICACIÓN PROPUESTOS.

Se propone un cambio en la actividad **A1: Diseñar molde** (ver figura 4.1). Que se llevaría a cabo en ambos procesos propuestos. Este cambio es en la parte de generación y definición de la información se propone un trabajo más colaborativo entre el proveedor de molde y el fabricante de los módulos de asientos. Apoyando dichas actividades, con las herramientas de un software de CAD, y se definan con mayor precisión los parámetros de diseño y las técnicas de construcción.

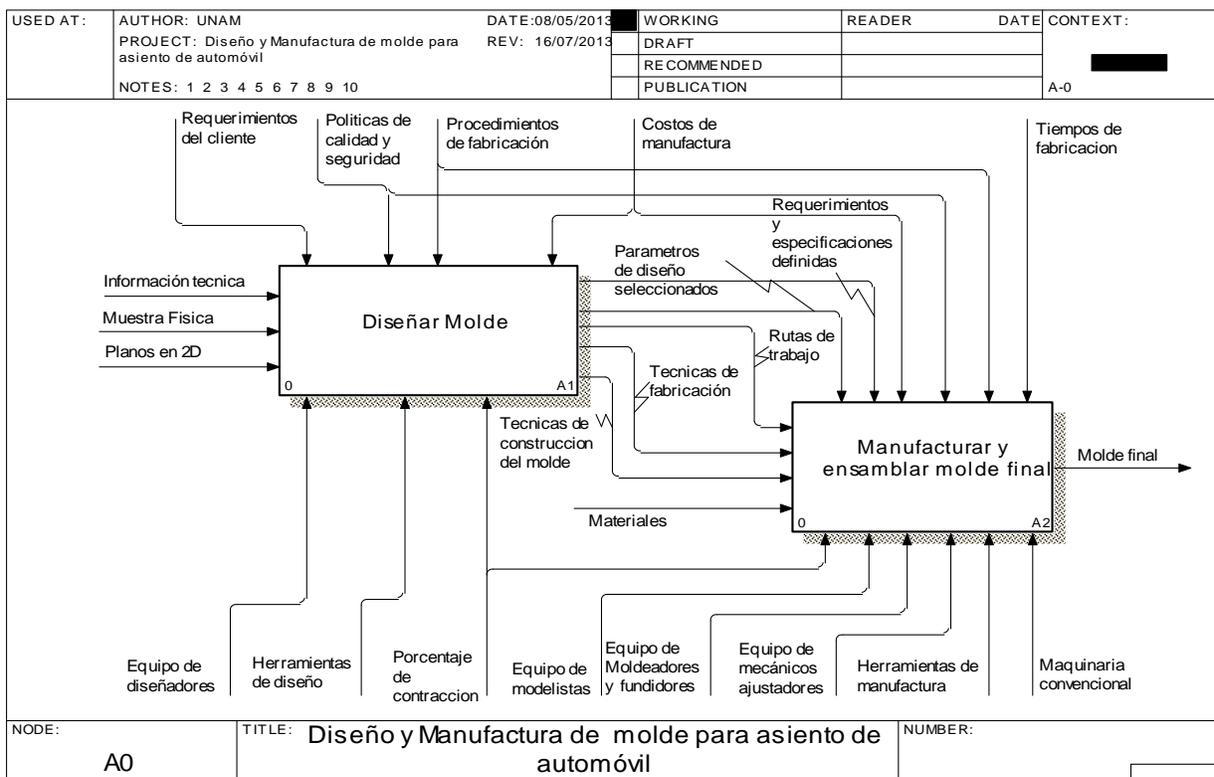


Figura 4.1 Actividades A1 y A2, que completan el desarrollo de la actividad A0, que se llevarán a cabo en los procesos propuestos.

Esto se puede lograr llevando a cabo las siguientes actividades, que brevemente se mencionarán e ilustrarán:

1) Cualquiera que sea el software, que se tenga los datos de origen para el asiento. Se puede trabajar la Geometría de la superficie, pudiéndose importar entre diferentes software mediante la interfaz correcta (ver figura 4.2).

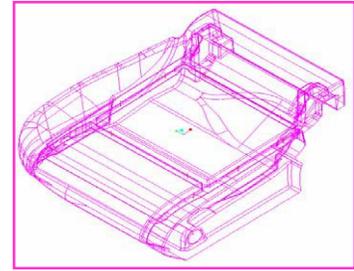
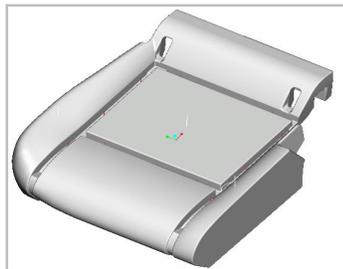


Figura 4.2
Modelo alámbrico (wireframe).



2) A continuación se genera la Geometría de Volumen, teniendo que reparar los errores en la superficie para que, la geometría se haya unido como un sólido (ver figura 4.3).

Figura 4.3
Modelo de sólido (volumen).

3) En el mismo software se proponen las partes de referencia y sus superficies de separación y otros elementos necesarios para el diseño de dos bloques con forma del molde (ver figura 4.4).

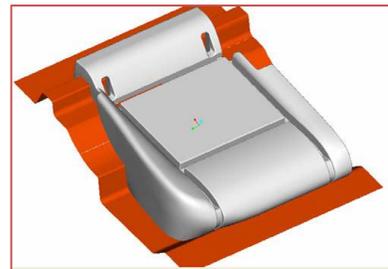
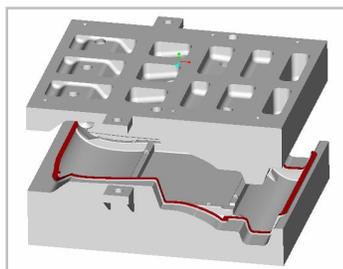


Figura 4.4
Planos de partición generados por el software.



4) Piezas del molde en forma asociativa dependiente del modelo de referencia (ver figura 4.5).

Figura 4.5
Cavidades generadas con el comando moldes en CAD

5) Diseño detallado del conjunto de molde, lista de materiales, elaboración de documentación digital (ver figura 4.6).

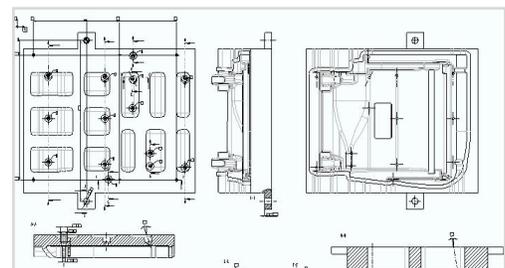


Figura 4.6
Plano de conjunto del molde.

En ambos procesos propuestos que se realizan, se debe aclarar que sólo se toma para análisis del comparativo de la evaluación de las propuestas la parte del proceso en que se pretenden establecer la mejora más sustancial y que es la actividad que en el proceso actual lleva el número y nombre: **A2: Manufacturar y ensamblar molde final.** Pues como mencionó, es donde las propuestas realizadas impactarán más con sus mejoras, para la obtención de los componentes de un molde (ver figura 4.7).

Los procesos propuestos, en su parte de manufactura de moldes, tienen una marcada diferencia, esta es que el método propuesto número uno emplea equipo CNC y el segundo método propuesto utiliza un equipo de prototipado rápido, mediante impresión 3D en resina.

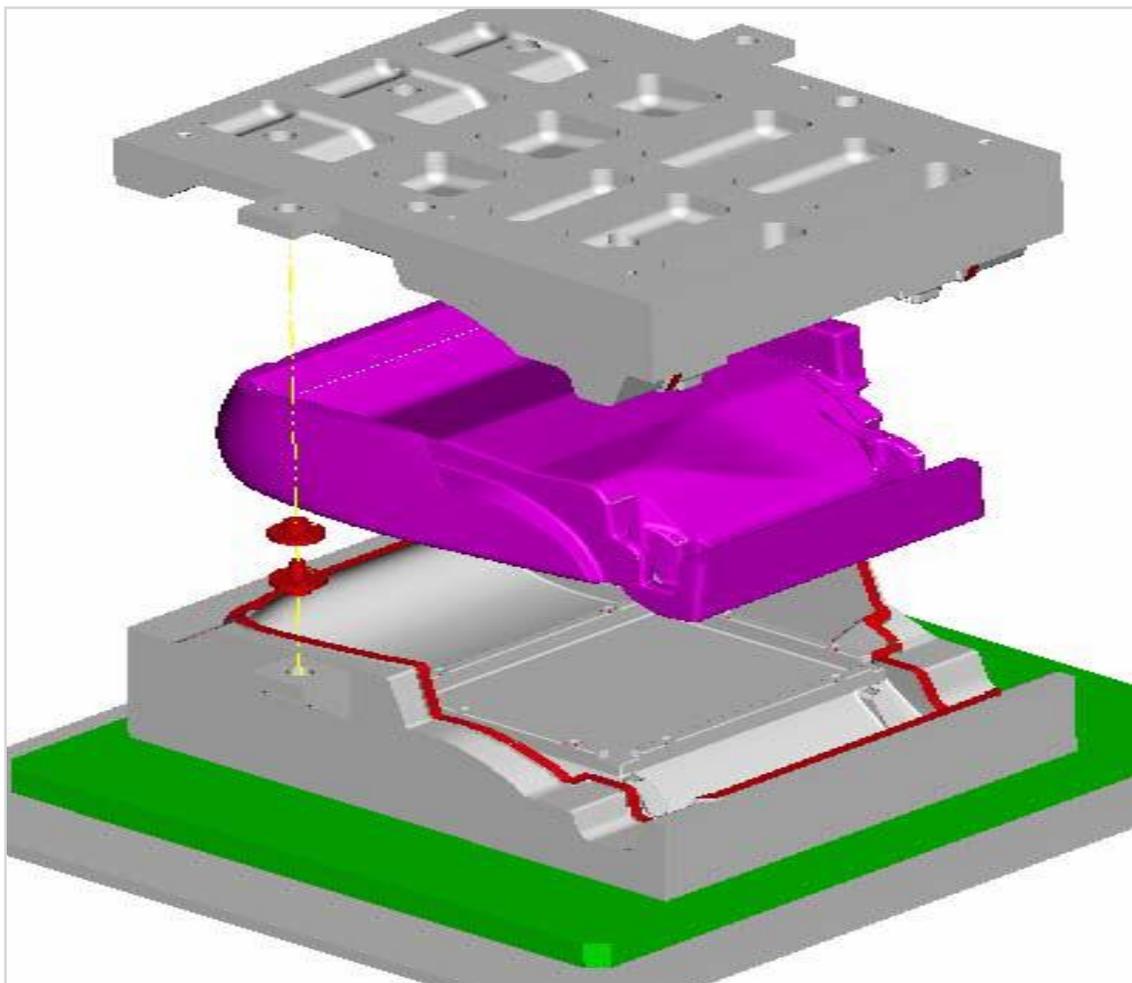


Figura 4.7. Vista en explosión del conjunto de molde (base y tapa).

4.2.1 Diseño y manufactura de moldes mediante centro de maquinado CNC.

NIVEL PARA MANUFACTURAR Y ENSAMBLAR MOLDE FINAL

GUÍA DE ACTIVIDADES DEL MODELO IDEF0 para la propuesta No. 1.

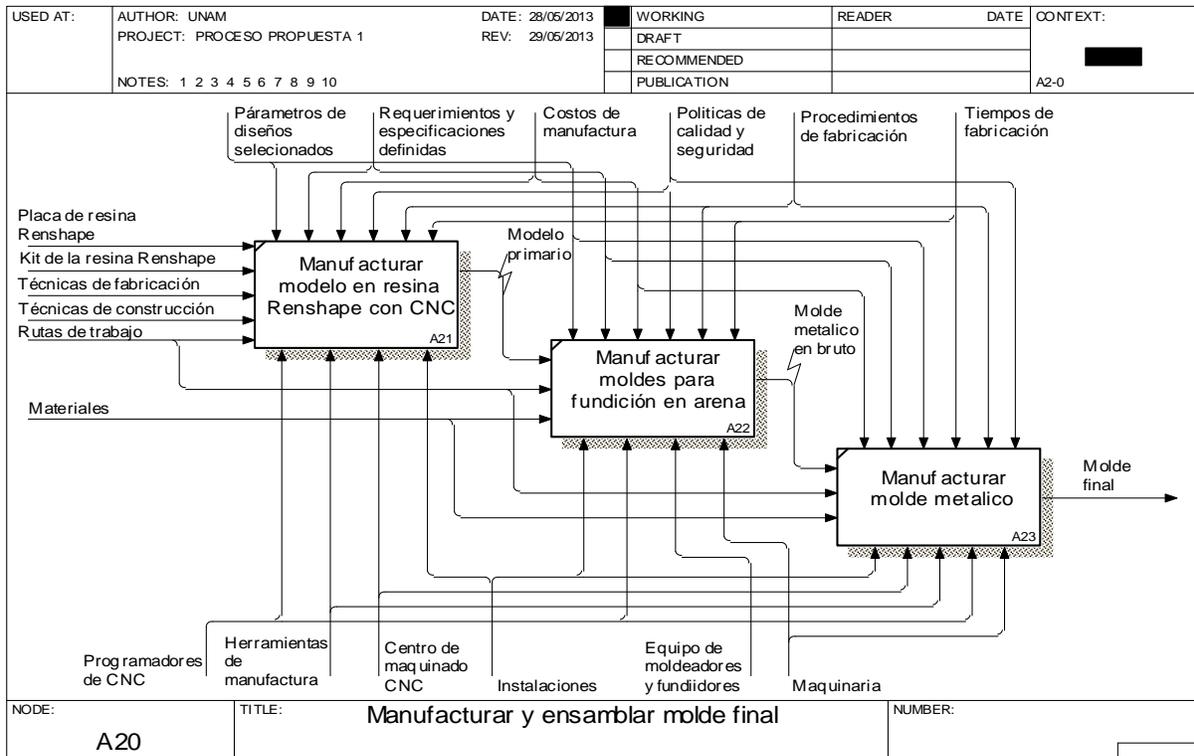


Figura 4.8. Actividades que completan el desarrollo de la actividad A2, del proceso propuesto No. 1.

Las actividades que se deben desarrollar para completar el desarrollo de la actividad A2: Manufacturar y ensamblar molde final, en este proceso propuesto son las tres siguientes (ver figura 4.8):

A21: Manufacturar modelo en resina Ren con CNC

A22: Manufacturar moldes para fundición en arena

A23: Manufacturar molde metálico

La actividad A21: Manufactura modelo en resina Ren con CNC, es la actividad que contempla el cambio en la mejora propuesta en el proceso.

A21: Manufacturar modelo en resina Ren con CNC.

Descripción del proceso propuesto no.1

El primer paso para la fabricación de moldes para procesos PUR consiste en la mecanización de un modelo en resina REN con los caminos de herramienta definidos numéricamente mediante un centro de maquinado CNC (ver figura 4.9).

En esta actividad se tiene que realizar una operación de maquinado, sobre un bloque formado por placas gruesas de material de resina REN; y es la acción por la que el Centro de Maquinado Vertical (por sus siglas, CMV) realiza las operaciones e instrucciones determinadas en el código CNC y es mediante ésta actividad que las herramientas de corte entran en contacto con el material ó pieza semiacabada para comenzar con el trabajo de manufactura y poder conseguir las geometrías deseadas para la pieza final.



Figura 4.9. Preparación y montaje de modelo de Resina en centro de maquinado.

Dicha actividad conlleva mucha responsabilidad por parte del operario del CMV. Debido a lo anterior se han identificado varias subactividades necesarias para conseguir que la máquina herramienta trabaje y genere los resultados buscados por el operario. A continuación mencionamos las subactividades brevemente en la secuencia que deben realizarse:

- Controlar y operar el centro de maquinado vertical (CMV).
- Visualizar y correr programa en la pantalla del panel de control del CMV.
- Colocar herramientas en carrusel del CMV.
- Obtener el cero de la pieza para identificar el origen de la geometría de la pieza.
- Mecanizar, es llevar a cabo el arranque de material (ver figura 4.10).
- Verificar la pieza, esta actividad consta de tres subactividades: 1) Revisar dimensiones. 2) Comprobar tolerancias. 3) Revisar acabado superficial.

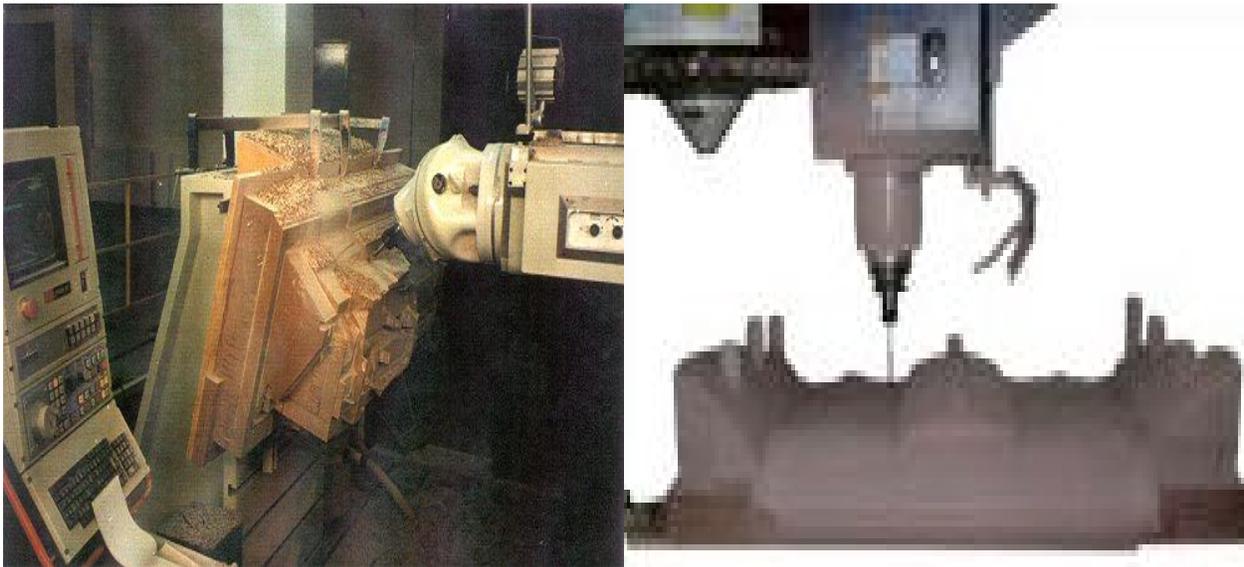


Figura 4.10. Izquierda: Mecanizado de modelo de Resina en CMV. Derecha: Modelo casi terminado de mecanizar.

Es necesario que el personal técnico que opera la máquina CMV utilice el equipo de seguridad adecuado para evitar accidentes de trabajo, así como respetar las normas de seguridad y las políticas de uso del equipo.

4.2.2 Diseño y manufactura de moldes mediante impresora 3D en resina.

NIVEL PARA MANUFACTURAR Y ENSAMBLAR MOLDE FINAL

GUÍA DE ACTIVIDADES DEL MODELO IDEF0 para la propuesta No. 2.

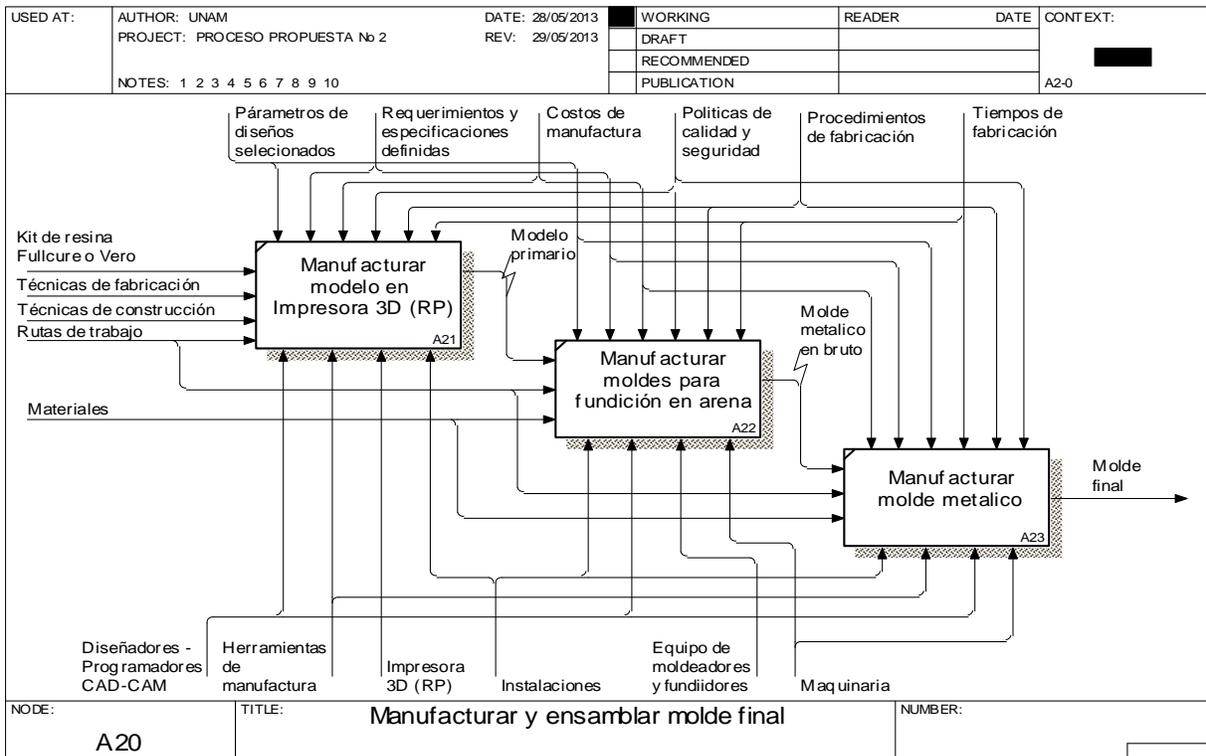


Figura 4.11. Actividades que completan el desarrollo de la actividad A2, del proceso propuesto No. 2.

Las actividades que se deben desarrollar para completar el desarrollo de la actividad A2: Manufacturar y ensamblar molde final, en este proceso son las tres siguientes (ver figura 4.11):

A21: Manufacturar modelo en Impresora 3D (prototipado rápido)

A22: Manufacturar moldes para fundición en arena

A23: Manufacturar molde metálico

A21: Manufacturar modelo en Impresora 3D (RP).

descripción del proceso propuesto numero 2.

El prototipado rápido (Rapid Prototyping, por sus siglas en inglés RP), es un término que se utiliza para representar una gama de tecnologías con las que se pueden fabricar objetos en 3 dimensiones en un sola etapa, directamente a partir de sus descripciones CAD. Hay un número de otros términos que están asociados con RP que se puede utilizar para describir aún más la tecnología:

- ★ Fabricación de forma libre.
- ★ Fabricación automatizada.
- ★ Fabricación base adicionando capas.

La definición final de fabricación basado en capas es la clave de cómo funciona realmente el RP. Los modelos se crean mediante la unión de las capas adjuntas de material. Si las capas son suficientemente delgado entonces los modelos se aproximará el original diseño previsto. La mayoría de los procesos de capa de uso RP espesores en el orden de 0.1 mm y esto parece ser suficiente para satisfacer muchas aplicaciones. El término de manufactura «aditiva» también distingue al RP del mecanizado CNC, en que este último utiliza una materia prima y elimina materiales para revelar la forma final.

Los modelos patrón para todos los moldes se obtendrían desde un archivo CAD a una resina epoxi fotopolimerizable mediante impresión 3D (técnica de Prototipado Rápido). Los modelos patrón así obtenidos deben considerar definir ciertas geometrías en los moldes. Tras la fabricación de cada uno de los modelos maestros se procederá a la verificación de los mismos.

En el análisis de cada operación, es posible definir los desafíos técnicos y las cuestiones necesarias para desarrollo de piezas, mediante la ruta de trabajo se describen a continuación brevemente los procesos que se llevarán a cabo en esta actividad (ver figura 4.12).



Figura 4.12. Pasos a seguir en la obtención de un modelo a través de la impresión 3D.

Paso 1: CAD. Todas las partes RP deben partir de un modelo de software en CAD.

Paso 2: Conversión a STL. La impresora 3D acepta el formato de archivo STL.

Paso 3: Traslado a la impresora 3D y manipulación de archivos STL.

Paso 4: Configuración del equipo. Realizando los ajustes de acuerdo a los parámetros.

Paso 5: Construir. La construcción de la parte es sobre todo un proceso automatizado.

Paso 6: Eliminación. Una vez que se ha completado la compilación, se eliminan.

Paso 7: Postprocesamiento. Las piezas pueden requerir una adicional limpieza.

Paso 8: Aplicación. Las piezas pueden estar ahora listas para ser utilizadas.

En esta propuesta del proceso, se eligió una impresora marca Objet500 que utiliza la tecnología Polyjet, con base en los datos de la tabla comparativa (anexo 1) agregada en la sección de anexos, que básicamente se adapta más a nuestras necesidades del tamaño requerido por nuestros modelos; que a continuación describiremos brevemente:

Objet500. Polyjet

La tecnología Polyjet consiste en la impresión de un material fotopolímero mediante múltiples boquillas ubicadas en el cabezal. Las boquillas depositan el material en estado líquido sobre la bandeja de construcción con un movimiento similar al de una

impresora, en capas de tan sólo 16 micras de grosor. Una vez depositado, una luz ultravioleta solidifica el material. La bandeja de construcción desciende y el proceso se repite.

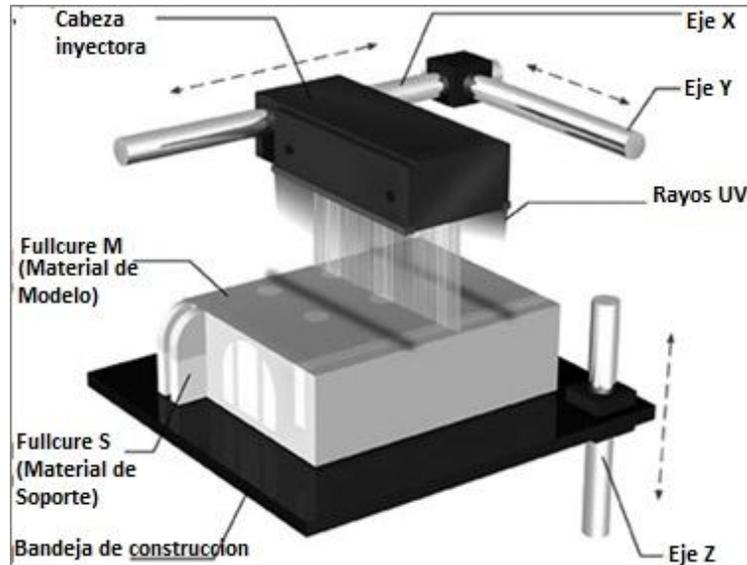


Figura 4.13. Técnica Polyjet para impresión en 3D.

Las piezas se construyen con dos materiales fotorpolímeros diferentes: material de modelo y material de soporte. El material de soporte es una gelatina que, una vez finalizado el proceso de fabricación se elimina con un simple chorro de agua. En la generación rápida de prototipos existen diferentes técnicas, y es posible la utilización de diferentes materiales. En esta técnica propuesta como se mencionó se utiliza una base líquida que son resinas poliméricas y para obtener el prototipo, son sometidos a un proceso de curado.

En la objet500 (ver figura 4.13), se tienen que imprimir varias partes del modelo patrón por ser un trabajo de gran tamaño, con una franja guía, y luego pegarlo en conjunto. Este aspecto es totalmente controlable por esta tecnología, por lo que si en algún caso se considerará necesario obtener modelos patrón con unas dimensiones distintas a las dimensiones nominales de las geometrías a reproducir en la máquina, la técnica de Prototipado Rápido empleada sería totalmente válida. Existe una gran variedad de impresoras 3D en la familia Objet (ver figura 4.14).



Figura 4.14. Familia de impresoras 3D de la marca Objet. Izquierda: Objet500. Derecha y arriba: Objet30. Derecha y abajo: Objet1000.

4.3 EVALUACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE LOS OBJETIVOS PONDERADOS.

4.3.1 Metodología.

A continuación se procede a evaluar las alternativas propuestas de los procesos con el fin de reducir el grupo y generan un concepto completo del sistema, que saldrá de la evaluación.

Se presenta una metodología de selección de dos etapas (Ulrich, 2004), la primera etapa se denomina proyección del concepto, aunque en nuestra evaluación no utilizamos la matriz de proyección como la define su autor, sino que utilizamos una matriz para auxiliarnos en la determinación de la importancia de cada criterio pues los criterios fueron elegidos por el equipo de diseño y la segunda etapa puntuación del concepto, cada una de ellas está respaldada por una matriz de decisión.

La proyección es una evaluación aproximada y rápida, dirigida a producir algunas alternativas viables. La puntuación es un análisis más cuidadoso de estos conceptos para elegir el que conducirá con mayor probabilidad al éxito del producto.

4.3.2 Matriz de proyección.

Visualización del concepto.

Los propósitos de esta etapa son reducir el número de conceptos de manera rápida y mejorarlos. En este caso de estudio para esta etapa, solamente se utilizó para ordenar los objetivos una lista ordenada por su importancia. En general, se siguieron como guía las consideraciones para la matriz de proyección y se realizó una modificación en él. En el proceso de ordenamiento donde se auxilió mediante la comparación sistemática de pares de objetivos uno contra otro, los pasos a seguir fueron:

1. Los criterios (ver tabla 4.7) se eligen con base en las especificaciones.
2. En la matriz de proyección se le otorga igual peso a cada criterio.
3. Cada objetivo se considera a su vez contra cada uno de los demás. En la celda correspondiente de la matriz se anota una cifra de 1 ó 0, lo que dependerá de si el primer objetivo tiene más o menos importancia que el segundo, y así sucesivamente. Si se considera más importante, en la celda de la matriz se anota un 1; si se considera menos importante, entonces se anota un cero.
4. La puntuación para la matriz de proyección se muestra en la tabla 4.8, esta puntuación se refiere a como cada concepto califica contra cada uno de los demás.
5. Después de calificar todos los conceptos, se suma el número de puntuaciones “mejor que” (uno), y “peor que” (cero), obteniendo un total de cada fila.
6. A continuación, se toma en cuenta los totales de fila que nos darán el orden de clasificación de los objetivos. El total de fila más grande indica el objetivo de máxima prioridad.
7. Una vez terminado los pasos anteriores se pueden ordenar los conceptos por rango.

Criterios de evaluación.

- Criterios para la matriz de proyección:

Criterios
Tiempos de fabricación
Calidad
Costo de herramienta
Costo de proceso
Numero de operarios (mano de obra)
Costo de inversión

Tabla 4.7. Criterios para la matriz de proyección.

- Calificaciones otorgadas para la matriz de proyección:

Mejor que	1
Peor que	0

Tabla 4.8. Puntuación relativa para la matriz de proyección.

A continuación se presenta la matriz de proyección, ya elaborada para determinar la importancia de los criterios u objetivos que se están calificando para cada proceso (ver tabla 4.9)

	TIEMPOS DE FABRICACION	CALIDAD - ACABADO - PRECISION - SELLADO	COSTO DE MATERIA PRIMA	COSTO DE PROCESO	NUMERO DE OPERARIOS	COSTOS DE INVERSION	TOTALES
TIEMPOS DE FABRICACION	-	0	1	1	1	1	4
CALIDAD - ACABADO - PRECISION - SELLADO	1	-	1	1	1	1	5
COSTO DE MATERIA PRIMA	0	0	-	1	1	0	2
COSTO DE PROCESO	0	0	0	-	1	0	1
NUMERO DE OPERARIOS	0	0	0	0	-	0	0
COSTOS DE INVERSION	0	0	1	1	1	-	3

Tabla 4.9. Matriz para determinar la importancia de los criterios.

Como resultado de la matriz de proyección, se obtiene el orden de los criterios que se abordarán, y se les proporciona el peso relativo de acuerdo a la importancia que el equipo de diseño determine (ver tabla 4.10).

CRITERIOS DE EVALUACION	Peso (importancia relativa) (%)
CALIDAD - ACABADO - PRECISION - SELLADO	30
TIEMPOS DE FABRICACION	20
COSTOS DE INVERSION	18
COSTO DE MATERIA PRIMA	15
COSTO DE PROCESO	10
NUMERO DE OPERARIOS	7
	$\sum W= 100$

Tabla 4.10. Criterios ordenados por importancia con sus pesos relativos.

Puntuación del concepto.

En esta etapa se pondera la importancia relativa de los criterios de selección y se centra en comparaciones más refinadas con respecto a cada criterio.

Puntos para la matriz de puntuación:

- Las puntuaciones de concepto son determinadas por la suma ponderada de las calificaciones.
- Se considera agregar más detalle a los criterios de selección (tabla 4.11).
- Se emplea una escala de calificación de 1 a 5 (El equipo de diseño selecciona esta escala de calificación entre varias recomendadas por la bibliografía, por su familiaridad).
- Para evitar la compresión de la escala, se utilizarán diferentes puntos de referencia para los diversos criterios de selección.
- Una vez que se han ingresado las calificaciones para cada concepto, las puntuaciones ponderadas se calculan multiplicando las puntuaciones de concepto por la importancia de los criterios y dividiéndola por 100. La puntuación final para cada concepto es la suma de las puntuaciones ponderadas.

Desempeño relativo	Calificación
Mucho peor que la referencia	1
Peor que la referencia	2
Igual que la referencia	3
Mejor que la referencia	4
Mucho mejor que la referencia	5

Tabla 4.11. Calificaciones según el desempeño relativo.

En el siguiente paso, se presenta la matriz de puntuación que se obtuvo al realizar la iteración, con la que se apoyo para determinar cuál de los procesos debe de seleccionar en primer lugar, para elevar la productividad y aumentar los segmentos de mercado a los que se puede atender (ver tabla 4.12).

Matriz de proyección.

CRITERIOS DE EVALUACION	Peso (importancia relativa) (%)	PROCESO ACTUAL	PROCESOS PROPUESTOS			
			No. 1		No. 2	
			CALIFICACION (DESEMPEÑO)	PUNTUACION PONDERADA	CALIFICACION (DESEMPEÑO)	PUNTUACION PONDERADA
CALIDAD	30					
- ACABADO	10	0	3	0.3	3	0.3
- PRECISION	10		4	0.4	5	0.5
- SELLADO	10		3	0.3	3	0.3
TIEMPOS DE FABRICACION	20	0	5	1.0	4	0.8
COSTOS DE INVERSION	18	0	1	0.18	1	0.18
COSTO DE MATERIA PRIMA	15	0	2	0.3	1	0.15
COSTO DE PROCESO	10	0	3	0.3	2	0.2
NUMERO DE OPERARIOS	7	0	5	0.35	4	0.28
PUNTUACION TOTAL				3.13	2.71	
POSICION				1	2	

Tabla 4.12. Puntuación relativa según el desempeño para la matriz de puntuación.

4.4 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN.

Con base en este análisis económico realizado y a las matrices de decisión, podemos constatar y justificar que El Proceso Propuesto No.1, que requiere un centro de maquinado, es el seleccionado para proponer en su implementación en una etapa de investigación siguiente que requeriría un estudio adicional.

Como se observó en el análisis económico, este proceso permite tener un ahorro de tiempo en la fabricación del molde y en los costos asociados a la mano de obra, de acuerdo con la reducción del número de operarios que también disminuye con respecto al proceso actual que emplea la empresa.

JUSTIFICACIÓN DE LA SELECCIÓN DEL PROCESO PROPUESTO No.1.

La empresa en estudio debería optar por adquirir un centro de mecanizado que le permitiera tener una mayor flexibilidad en el diseño y fabricación de moldes, eliminando así la necesidad de procesos adicionales, como tener dos modelo uno primario y otro secundario. Además que se conseguirían los siguientes beneficios para sus clientes:

- ✓ Tiempos reducidos de entrega.
- ✓ Cero defectos en las herramientas fabricadas.
- ✓ Competitividad en los costes de nuestros servicios.
- ✓ Excelente servicio al cliente.
- ✓ Diferentes capacidades de mecanizado de alta velocidad.
- ✓ Programadores de CNC altamente cualificados en el software actual.
- ✓ Posibilidad de fabricar una gama de herramientas de pequeñas a grandes.
- ✓ Centro de mecanizado de 3 o 5 ejes.

En resumen se tendrían más oportunidades de negocio, pues podría diseñar y fabricar moldes de baja presión y moldes permanentes de fundición de aluminio para la fundición a presión, además de la industria de espuma para asientos de automóviles. Tendría la capacidad de ofrecer productos de alta calidad con gran rapidez en un precio competitivo.

La compañía sería un proveedor global de servicio completo de soluciones innovadoras, incluyendo el diseño y la fabricación del molde de aluminio para grandes y pequeños volúmenes de las espumas del asiento del automóvil, moldes de fundiciones a baja presión permanentes y semipermanentes. Además, como el segmento del mercado que también maneja la empresa es de la fabricación de modelos patrón o “master”, se podría apoyar dicha línea plenamente con estos procesos como herramientas de desarrollo de prototipos. A partir de los modelos en resinas Ren u otros tipos de resina que puedan ser utilizados para el desarrollo de prototipos.

A pesar de que no se promovería la producción de grandes lotes de mecanizado de piezas, se tomarían proyectos pudiendo ampliar el abanico de posibilidades en la captación de nuevos mercados como la fabricación de herramientas como los moldes para inyección y troqueles para producción de piezas metálicas.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES.

En este capítulo se presentan las conclusiones acerca del problema de investigación que se abordó, sobre la metodología utilizada para resolverlo, el diseño y análisis del proceso y así como los objetivos y alcances que se fijaron en el proyecto, los cuales fueron cubiertos en su totalidad.

El problema de diseñar un proceso de manufactura de moldes para asiento de automóvil, específicamente modelando las actividades de manufactura y su secuencia, con la metodología IDEF0, así como el tiempo de fabricación fue resuelto, tomando en cuenta factores de maquinaria utilizada, mano de obra implicada en cada uno de los procesos.

El modelado de las actividades mediante IDEF0 permitió identificar las actividades principales del proceso así como las variables involucradas para cada actividad lo cual mejoró nuestra comprensión del sistema y nos ayudó para establecer el manual de procedimientos. La solución se inicia en el capítulo 3, en donde se encuentra de manera clara la documentación sobre el proceso de manufactura actual, cumpliendo con los objetivos y acorde a los alcances.

Se logró establecer una propuesta de diseño y manufactura de los moldes para asiento de automóvil, utilizando la tecnología actual en el desarrollo de productos rápidamente, estableciendo nuevas secuencias, lo cual es de gran ayuda para el proyecto de la fabricación de moldes.

En el presente trabajo, se puede encontrar información que no existía acerca de estos procesos de manufactura para este tipo de moldes y se realizó una recopilación para documentarlo de forma exhaustiva siendo algo nuevo en la industria del plástico, pues como se explicó en la problemática que vive la empresa no existía información sobre su manufactura.

Este mismo informe es de gran ayuda para comprender un sistema productivo utilizando herramientas de análisis de procesos como IDEF0 y permite generar una alternativa de solución a las problemáticas de la empresa, sin embargo, durante nuestra estancia en la empresa se han identificado otras áreas de oportunidad, es decir, áreas donde se presentan deficiencias operativas y por ende, es susceptible de realizar mejoras en sus sistema.

Con el apoyo de las representaciones gráficas de la metodología IDEF0, se demuestra que el proceso puede ser más eficiente identificando la etapas donde se pueden implementar mejoras substanciosas, se logran disminuir los tiempos de fabricación y aunado a esto la reducción de mano de obra también es aceptable en gran medida. Este reporte ayuda a presentar la integración de la estimación de costes de fabricación a través del concepto de actividad y el modelado de procesos de fabricación mediante la técnica IDEF, mediante el método de costes basados en actividades.

Los diferentes diagramas IDEF0 que se presentan, servirán para que los operadores o gente externa al proceso conozcan cada una de las actividades que se deben de realizar para construir cada molde, así como las herramientas auxiliares que se necesitarán la cual se complementarán en las hojas de trabajo.

Para apoyo de la planeación de la capacidad productiva de la empresa, se presenta el número de operadores necesarios para la fabricación del molde en cada operación, lo cual será de gran utilidad para estimar el número de personas que se deberán contratar para laborar en la planta, para satisfacer la demanda de fabricación de moldes y que serán suficientes para cumplir dicha producción.

La metodología empleada es útil, porque gracias a ésta se siguió una secuencia lógica, para lograr una descripción más precisa de los procesos, específicamente las operaciones, su secuencia y sus tiempos de fabricación. Se aplicaron técnicas de registro y análisis, como que él se aplicó en la configuración geométrica de un molde y las técnicas de fabricación posibles para obtener las diferentes formas; que este trabajo

muestra como solución, eligiendo la adecuada; a través de un proceso de selección en el que se tomaron en cuenta diversas alternativas.

Por otra parte, el tiempo estimado en los procesos propuestos fue observado a través de un benchmarking realizado con algunas empresas del mismo ramo, y una vez terminado se llegó a la propuesta mostrada en el trabajo.

La información que contiene este documento sirve de base para comenzar a manufacturar moldes para asientos de automóvil con las adecuaciones a que obliga el proceso propuesto, así como para una nueva distribución de planta, si se optará por realizar la compra de una maquinaria nueva, desde luego que no sería el único documento a revisar ya que es un proyecto inicial, que debería incluir otro tipo de documentación, tales como diseño real del producto, factibilidad económica entre otros.

Cabe mencionar que este documento contiene las actividades principales y las operaciones derivadas, que están plasmadas en los gráficos de IDEF0 propuestos, las cuales serán de gran ayuda cuando el proceso llegará a ponerse en marcha, para hacer las mejoras en el proceso actual, se tendrá una base de la cuál partir con la cual se tomará como referencia para comparar las nuevas mejoras.

Con la implementación de estas mejoras tenemos la capacidad de ofrecer productos de alta calidad con gran rapidez en un precio competitivo, es decir menores costos. La creación del mismo prototipo bajo la ayuda una máquina con innovación tecnológica en manufactura puede generar ahorros económicos sustanciales, dejando abierta la opción de una muy fuerte inversión en la adquisición de un centro de maquinado, y dejando como tarea inmediata el tiempo de retorno de dicha inversión, según las proyecciones de mercado que se generarían con esta nueva maquinaria.

Por otro lado, se podría validar a corto plazo la fabricación del modelo primario por servicios subcontratados que pueden costar entre miles de pesos y cientos de miles de pesos para un diseño sencillo y se incrementa si es para un modelo más complejo,

recordando como parámetro de comparación que costaría entre tres y cinco veces más que una pieza producida internamente.

Entonces en el aspecto monetario, si se realiza un análisis económico más profundo, se puede mostrar con base en las perspectivas de mercado en la industria de moldes, que existe un punto de equilibrio, en el cual bajo cierto número de moldes manufacturados mensualmente, un centro de maquinado vertical (CMV), dentro de la empresa puede generar ahorros significativos en comparación con el costo de enviar los diseños a una oficina de subcontratación.

Además de la reducción en los costos directos, también se producen otros ahorros como el originado por que los diseñadores y los desarrolladores no tienen que esperar que los prototipos regresen a la planta para validar sus propios diseños, y otros ahorros que pueden justificar la compra de un centro de maquinado, a mediano plazo.

En el entendido de que se dio cumplimiento al objetivo y los alcances de esta investigación presentando la metodología IDEF0 para el diseño de moldes por inyección de reacción (RIM), en resumen final se concluye lo siguiente:

- a) Se presentó la interacción de la empresa colaboradora en la cadena productiva para la fabricación de un molde para asiento de auto en poliuretano.
- b) Se presentaron los modelos de información con base en IDEF0 a lo largo del proceso productivo y de la acción de diseñar un molde.
- c) Se desarrolló la información necesaria para llevar a cabo el diseño de un molde con la metodología de IDEF0.
- d) La aplicación de esta investigación puede ser aplicada en cualquier empresa dedicada a la fabricación de moldes para espumados por RIM, sin importar el tamaño y nivel de producción.

e) La presente investigación presenta la metodología IDEF0 que permite a la industria de la fabricación de moldes para la industria del plástico sean termoestables o termoplásticos inclusive los moldes para fundición adecuarse a un mercado más competitivo y globalizado.

f) La utilización de herramientas informáticas como el software especializado, que permiten como Unigraphics NX® o SolidWorks® realizar un mejor diseño en CAD, que permiten comprobar y simular los cálculos, así como software para crear los gráficos IDEF0 en este caso se utilizó BPwin® de *Computer Associates*. Y el uso de las herramientas de Office para una mejor planeación y previsión de la tarea de diseño de moldes, además de que son necesarias como herramientas básicas en la ingeniería.

Recomendaciones finales.

Se recomienda proseguir con la investigación en las áreas de metodologías de diseño para apoyo de la manufactura de moldes para asientos de automóvil, en el ámbito de la ingeniería, con el fin de contar con una herramienta más completa que ofrezca a la industria más ventajas competitivas, así como la realización de una base de datos que contenga las experiencias del diseño de moldes de este tipo o de cualquier otro tipos de moldes.

Resaltando además, que los alcances del proyecto se han cumplido por completo e inclusive superado cada uno de los objetivos propuestos, abriendo camino a trabajos futuros para incrementar el rendimiento del modelado en la manufactura de moldes; implementando en el modelo diseñado, metodologías de sistemas de calidad y financieros para el retorno de la inversión, involucrando el manejo adecuado de componentes y costos; así como ampliar la aplicación del modelo en inyección con reacción para otros materiales como pueden ser termofijos o inclusive compuestos.

Así mismo se recomienda como medida inmediata utilizar más software especializado en la tareas de diseño de un molde, aplicando más análisis con simulaciones que permitan al diseñador contar con más estimaciones acerca del diseño.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Bakerjian, Ramon (1998). Tool and Manufacturing Engineers Handbook: Design for manufacturability, Vol.6. Society of Manufacturing Engineers. Michigan, USA.

Bancroft, C. (1989). Understandable Requirements: The First Step for Efficient Software Development. IEEE Southeastcon Proceeding, 68-72.

Brown M. W. R., Coates P.D. Coates; Johnson A. F (1994) .Reactive processing of polymers. Ed. Shrewsbury Rapra Technology.

Colquhoun, G., & Baines, R. (1991). A generic IDEF0 model of process planning. International Journal of Production Research, 2239-2257.

Crawford, R.J (1998). Plastics Engineering. 3a. Ed. Butterworth-Heinemann.Great Britain.

Cross, Nigel (2010). Métodos de Diseño. 1a. Ed. Limusa Wiley. Mexico, D.F.

Dym, Joseph B (1987). Injection molds and molding, a practical manual. 2ª edición. Editorial Van Nostrand Reinhold. New York.

Fjodor A. Shutov, G. Henrici-Olivé, S. Olivé. Reaction Injection Molding Process. Ed. Springer, Berlin Heidelberg, 1986.

FIPS- PUBS. (21 de December de 1993). Announcing the Standard for Integration Definition for Function Modeling (IDEF0). United States of America: Draft Federal Information.

Groover, Mikell (1997). Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas. Ed. Prentice Hall hispanoamericana.

Hilyard N. C., Cunningham A. (1994). Low Density Cellular Plastics: Physical Basis of Behaviour Ed. Routledge, Chapman & Hall, Incorporated, Great Britain.
Mihail Ionescu (2005). Chemistry and technology of polyols for polyurethane. Ed. Shawbury Rapra Technology

Kalpakjian, Steven, Schmid, Ulises (2002) . Manufactura, ingeniería y tecnología.4ª Ed. Pearson educación. México.

Karim, M. (June de 1994). An IDEF0 representation of Garmet Manufacturing System Design Process. Thesis Presented to Ohio University. Athens, Ohio, United States of America.

Kazmer, D. (2007). Injection Mold Design Engineering. Germany: Hanser Verlag.

Marci, D., & McGowan, C. (1988). Structured Analysis and Design Technique. New York: McGraw-Hill.

Nigel Mills (2007). Polymer Foams Handbook: Engineering and Biomechanics Applications and Design Guide. Ed. Butterworth-Heinemann, Great Britain.

Pahl, G., Beitz, W., (1998). Engineering Design: A Systematic Approach. Ed. Springer, London.

Rees, Herbert (1995). Mold engineering. 1ª Ed. Carl Hanser Verlag. Munich, Germany.

Reyes M, Humberto (1978). Espumas Plasticas estructurales. 1a. Ed. Diana. Mexico

Rubio Paramio, Miguel A. (2000) *Aplicación de los sistemas de diseño asistido por ordenador al diseño automático de moldes de inyección*. Tesis(Doctoral), [E.T.S.I. Industriales \(UPM\)](#).

Savgorodny V. K (1978). Transformación de plásticos. Ed. Gustavo Gili, S. A. Barcelona.

Syan, C. S. & Menon, U (1994). Concurrent engineering: concepts, implementation and practice. Ed. Chapman & Hall, London.

Ulrich, Karl T (2004). Diseño y Desarrollo de Productos. 3ª Ed. McGraw Hill, México.

ARTÍCULOS.

American Chemistry Council, Inc. (2012). How Polyurethane is Made. Recuperado en: <http://polyurethane.americanchemistry.com/Introduction-to-Polyurethanes>

A.T. Kearney (2007, enero). Estudio de prospectiva tecnológica de la industria automotriz en México. Recuperado en: http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/Estudios/Estudio_Prospectiva_tecnologica_industria_automotriz_Mexico.pdf

Bayer Material Science (2012). BAYER HISPANIA, S.L. Unipersonal. Avda. Baix Llobregat, 3 y 5 08970 Sant Joan Despí (Barcelona) España. Recuperado en: http://www.prensabayer.com/ebbsc/cms/es/Noticias/bms/2012_07_26_75_aniversario_poliuretano.html

Bayer MaterialScience (2012). How RIM works. Recuperado en: http://www.pu-systems.bayermaterialscience.com/bms/baysystems.nsf/id/12_NorthAmerica_EN_How_RIM_works?open&l=13_Pittsburgh_EN

Bayer MaterialScience LLC (2008). Engineering Polyurethanes. RIM Part and Mold Design Guide. Bayer Print & Design Services Group. Pittsburgh, PA. Recuperaod en: http://www.exothermic.com/downloads/RIM%20Part%20&%20Mold%20Design%20Book-US_2009_SE.pdf

Craig D. Snyder (2001). Materials for Reaction Injection Molding (RIM), Processing. Bayer Corporation Polyurethanes Division. Pittsburgh, PA. Recuperado en: <http://www.bayermaterialsciencenafta.com/resources/index.cfm?mode=View&f=7197D39E-B0B4-0C9F-FB845A3B22519612&d=71B1E226-B524-90B4-BD3CE0DED21B49DA>

Magdalena, R. C. (2000). Reciclaje: Espuma De Poliuretano. Verticalia. Recuperado en: http://www.autoindustria.com/informacion/estudios/reciclaje_asientos.pdf

Instituto de fundición Tabira (2012). "Conclusiones del 70º Congreso Mundial de Fundición. México 2012". Recuperado el 28 de Junio de 2012 en: http://www.iftabira.org/pdfs/news/Jornada%20Tecnica%20Conclusiones%2070WFC_1350488160.pdf

La Industria Automotriz en México. Producción, Ventas, Balanza Comercial, Empleo y PIB. Recuperado en: http://claut.com.mx/claut/archivos/observatorio/Sector_Automotriz_Mexico_04_2010.pdf

Maier U., Wirtz H. G., Fietz J., Frahm A., Rü T. (2004). Polyurethane Processing Systems. BayerMaterialScience AG Leverkusen, Germany. Recuperado: [http://www.pu-systems.bayermaterialscience.com/BMS/BMS_Resource_Center.nsf/id/WebsiteIndependent_Polyurethan-Schaeumanlage/\\$file/en_PU20001_sq_en.pdf](http://www.pu-systems.bayermaterialscience.com/BMS/BMS_Resource_Center.nsf/id/WebsiteIndependent_Polyurethan-Schaeumanlage/$file/en_PU20001_sq_en.pdf)

Mark, Frank E. Kamprath, Axel (2000). Recycling & Recovery Options for PU Seating Material: A Joint Study of ISOPA /Euro-Moulders. Union Europea.

Metalmecánica (2012). Panorama de la industria metalmecánica en México. Recuperado en Septiembre de 2012 en: http://www.metalmecanica.com/mm/secciones/MM/ES/MAIN/IN/INFORMES_ESPECIAL_ES/doc_89116_HTML.html?idDocumento=89116

Metalmecánica (2011). Sector de moldes en México: a aprovechar la coyuntura. Recuperado en Agosto de 2011 en:

http://www.metalmecanica.com/mm/secciones/MM/ES/MAIN/IN/ARCHIVO/ARTICULOS/doc_83178_HTML.html?idDocumento=83178&deComunidad=true

Palmosina F. Michael (2000). Gating for the RIM (Reaction Injection Molding). Process Bayer Corporation Polyurethanes Division. Pittsburgh, PA

<http://www.bayermaterialssciencenafta.com/resources/index.cfm?mode=View&f=7197D39E-B0B4-0C9F-FB845A3B22519612&d=71AE8511-098B-796F-46374B0DF854C94E>

Perspectivas de la Industria del Plástico de México. ANIPAC 2007. Recuperado en:

<http://www.docstoc.com/docs/3246887/Perspectivas-de-la-Industria-del-l%C3%A1stico-de-M%C3%A9xico>

Secretaría de Economía (SE, marzo 2012). Noticias en línea. Recuperado el 27 de marzo de 2012 en: <http://www.economia.gob.mx/eventos-noticias/informacion-relevante/7670-boletin091-12>

Secretaría de Economía (2009). Noticias en línea. Recuperado el 20 de mayo de 2009 en: www.economia.gob.mx

Secretaría de Economía, (SE, Agosto 2012). Programa estratégico de la industria automotriz. Visión 2020. Recuperado en:

http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/peia_2012.pdf

Vega, Rivera Miguel Ángel (2009). Escenario y criterios de competitividad en México para el diseño y fabricación de herramientas para la innovación de productos plásticos. Academia de ingeniería de México de CIATEQ Unidad SLP. Recuperado en:

<http://es.scribd.com/doc/40446556/Escenarios-y-Criterios-Competitividad-Mexico>

Wolfe, Stephen L. Physical and digital Prototyping belong together. By, Z corporation-2010. Recuperado en:

http://www.zcorp.com/documents/1035_Physical%20and%20Digital%20Prototyping%20Whitepaper.pdf

Worldwide Guide to Rapid Prototyping (2013). Recuperado en página web:

<http://www.additive3d.com/>

ANEXOS.

Anexo 1. Tabla comparativa de las opciones de impresión 3D (Adaptado de Worldwide Guide to Rapid Prototyping)

Listados Color clave ...													
Código abierto aficionado y Sistemas Hágalo usted mismo					Totalmente montado o sistemas comerciales disponibles					Disponibilidad limitada			
Fabricante	Modelo	Tecnología	Precio	Costo Anual de Servicio	Tamaño y peso.	Construir Sobre	Materiales	Costo de Materiales	Acelerar	Precisión	Terminar	Fortalezas	Debilidades
Proyecto RepRap (Self-replicante RP Machine)	Mendel (segunda generación) Detalles aquí ...	extrusión termoplástica [La mayoría de las máquinas basadas en RepRap tienen características muy similares.]	\$ 300 [Precio mínimo para un kit completo, con un promedio de alrededor de \$ 500.]	\$ 10 (un poco de lubricación, de vez en cuando)	20x16x14 en WxDxH aprox. £ 16	8x8x5.5 en WxDxH aprox.	PLA, HDPE, ABS y más. Utiliza 0.125 "filamento de diámetro	\$ 7 a \$ 14 por libra	lento, lo que equivale a 0,92 pulgadas cúbicas velocidad de depósito por hora	Resolución boquilla 0,020 en; 0.080 en min.tamaño de la característica ; 0.004 en la precisión de posicionamiento; capa de THK 0.012 en	regular a malo	<ul style="list-style-type: none"> ●Bajo costo ●Altamente adaptable: permite la personalización para aplicaciones específicas 	<ul style="list-style-type: none"> ●Proceso lento ●, Hágalo usted mismo de arriba a abajo. - No es adecuado para la mecánica, electrónica, software-aliado reacio ●Sólo piezas y modelos justos de calidad hasta ahora
Pirate3D	Buccanear™ Detalles aquí ...	extrusión termoplástica	\$ 347 [totalmente ensamblado]	N / A	9,8 x 9,8 x 13,7 pulgadas WxDxH peso desconocido	6x4x6 en	PLA	Baja, los precios Pirate3D no anunciados	lento	Altura min capa; Diámetro de la boquilla 0.016 ": 0.004.	regular a malo	<ul style="list-style-type: none"> ●Menor coste de una unidad montada ●Materiales de bajo costo ●Apariencia elegante, carcasa de aluminio cepillado ●Material del carrete está dentro de la máquina ●Impresión WiFi basada en la nube 	<ul style="list-style-type: none"> ●Proceso lento ●No es fácilmente modificable por el usuario para los requisitos especiales ●Único material PLA, sin segundo material de apoyo o colores adicionales ●Ninguna plataforma construcción climatizada, pero no es necesario para sólo PLA
Solidoodle	SD1001-Un	extrusión termoplástica	\$ 499 [totalmente ensamblado]	N / A	11,75 x 11,5 x 11,75 en	6x6x6 en [Volumen	ABS, PLA; posible otros plásticos	Baja, incluye pequeño rollo de ABS.	lento	Diámetro de la boquilla 0.014 "	regular a malo	<ul style="list-style-type: none"> ●Muy bajo costo de una unidad montada 	<ul style="list-style-type: none"> ●Proceso lento ●Sólo una máquina

	Detalles aquí ...		La versión 3 de 8x8x8 en aumentar el volumen barcos enero de 2013 a \$ 799		WxDxH 17 libras.	disponibles Ampliar]		\$ 22 por libra de ABS		altura de la capa típica: 0.012, pero en 0.004 posibles; XY Precisión: + - 0.004		<ul style="list-style-type: none"> •Materiales de bajo costo •Climatizada construir la plataforma disponible para + \$ 50 Disponible caja fuerte, iluminación, otros servicios en pequeño coste adicional 	de extrusión por lo que no apoyo material u operación multi-material de posible	<ul style="list-style-type: none"> •No es fácilmente modificable por el usuario para los requisitos especiales
3D Systems	Cube™ Detalles aquí ...	extrusión termoplástica	\$ 1,299 [totalmente ensamblado]	N / A	14x14x18 en WxDxH 9 libras.	5.5x5.5x5.5 en	PLA y ABS en muchos colores, cartucho de materiales cuestan \$ 49, lo que equivale a un estimado de \$ 71/lb	Caro en comparación con otros proveedores de esta clase. Compra incluye un cartucho de ABS.	frenar (sin especificación disponible)	espesor de la capa 0.008 (especificaciones de precisión no está disponible)	regular a malo	<ul style="list-style-type: none"> •Bajo costo •Varios colores del material disponible, pero sólo imprime una a la vez •Cartuchos de materiales de fácil carga •Integrado con la creación de la comunidad Cubify™ 	<ul style="list-style-type: none"> •Proceso lento •Resolución ligeramente inferior •Una cabeza de extrusión, no se puede ampliar para una segunda o soluble en material de soporte •No es modificable por el usuario para los requisitos especiales •Una sola cara, proveedor de materiales 	
PP3DP Company (China)	UP! más personal impresora 3D portátil Detalles aquí ...	extrusión termoplástica	\$ 1499 [ensamblado]	N / A	9.5x10.5x14 en WxDxH 11 libras.	5.5x5.5x5.3 en WxDxH	ABS, PLA	\$ 22/lb.	pobre	0,006 hasta 0,016 en el espesor de la capa	regular a malo	<ul style="list-style-type: none"> •Bajo costo •Materiales de bajo costo • Operación de limpieza Quiet 	<ul style="list-style-type: none"> •Proceso lento •Una cabeza de extrusión, no se puede ampliar para una segunda o soluble en material de soporte •No es modificable por el usuario para los requisitos especiales 	
LeapFrog	Creatr™ Detalles aquí ...	extrusión termoplástica	\$ 1588 [totalmente ensamblado]	N / A	15.75 x 23.6 x 19.7 in DxWxH £ 70	11,8 x 9,8 x 10,2 en	ABS, PLA, PVA	ABS aprox. \$ 18/lb	Velocidad X y eje Y: hasta 0,35 m / s; velocidad de extrusión: 200 mm / min	capa de espesor 0.008 Precisión de posicionamiento: 0,002; extrusora de boquilla: 0.014 en	regular a malo	<ul style="list-style-type: none"> •De bajo costo, máquina montada de un fabricante con experiencia •Materiales de bajo costo •Conexión de 	<ul style="list-style-type: none"> •Proceso lento •Algo menor resolución •No es modificable por el usuario para los requisitos especiales 	

Fabricante	Modelo	Tecnología	Precio	Costo Anual de Servicio	Tamaño y peso.	Construir Sobre	Materiales	Costo de Materiales	Acelerar	Precisión	Terminar	Fortalezas	Debilidades
												<p>equipo Wi-fi</p> <ul style="list-style-type: none"> En segundo extrusor disponible para \$ 200 + Volumen de impresión grande Climatizada para construir plataforma 	
Ultimaker Ltd. (Países Bajos)	Ultimaker Detalles aquí...	extrusión termoplástica	\$ 1.564 [kit] \$ 2.226 [ensamblado]	N / A	14x14x15 .3 en WxDxH 18 libras.	8.25x8.25x8.25 en	Principalmente PLA (ácido poliláctico) y ABS. También probamos con el HDPE, PP, PMMA	PLA de la empresa es menos de \$ 14/lb, pero cualquier proveedor puede ser utilizado.	150 mm / seg (dice que son > 5 veces más rápido que los competidores similares.)	+ / - 0.002 in x / y precisión de posicionamiento de la punta; 0.0004 in (10 micras) Grosor capa	regular a buena	<ul style="list-style-type: none"> Volumen de construcción grande para las dimensiones exteriores Operación rápida en relación con máquinas similares Acabados mejorado en relación a las máquinas similares El material puede ser modificado durante la impresión Bajo costo Altamente adaptable: permite la personalización para aplicaciones específicas Buena selección de materiales Materiales de bajo costo Operación de limpieza Quiet 	<ul style="list-style-type: none"> Proceso lento Hágalo usted mismo - No es apropiado para el poco dispuestos mecánicamente Caliente construir la plataforma Acabado a mano y post-procesamiento de las piezas necesarias No hay una segunda cabeza de un soporte o material adicional
Aleph objetos, Inc.	LulzBot™ AO-101	extrusión termoplástica	\$ 1.725 [totalmente ensamblada]	N / A	18,3 x 19 x 15 en Peso 18	7.9 x 7.5 x 3.9 in	ABS, PLA, HIPS, PVA, filamentos de madera,	ABS aprox. \$ 18/lb	Velocidad de impresión superior:	Capa Espesor: 0,0029 a 0,029 en	regular a malo	<ul style="list-style-type: none"> De bajo costo, máquina montada a partir de un fabricante 	<ul style="list-style-type: none"> Proceso lento Algo menor volumen de

	Detalles aquí ...				libras		nylon y PC con complementos		200mm/sec (7.9in/sec)			establecido <ul style="list-style-type: none"> •Materiales de bajo costo •Plataforma de construcción de climatizada apoya iniciativas de código abierto 	impresión que el modelo TAZ típico, pero la empresa tiene un volumen mucho más grande <ul style="list-style-type: none"> •Extrusora de un solo, pero puede ser personalizado por el usuario DIY para extrusoras de doble •Modificable por el usuario para los requisitos especiales
Mauk Custom Creations (Países Bajos)	Cartesio M Detalles aquí ...	extrusión termoplástica	€ 1,450 (EE.UU. \$ 1827) [kit] [Ensamblado: EE.UU. \$ 2,970] Kit Modelo LD con un volumen de construcción de 7,9 x 15,8 x 7,9 pulgadas disponible en EE.UU. \$ 2.330	\$ 50 / año	20 x 16,1 x 14,6 en LxWxH 26 libras.	7.9 x 7.9 x 7.9 in (X, Y, Z) [Volumen disponibles Ampliar]	PLA, HDPE, ABS y más	Aproximadamente \$ 17/lb, se puede usar cualquier proveedor.	X / Y: 71 mm / s Z: 47 mm / s	X / Y / Z: 0.004 pulgadas; espesor de la capa 0,004-0,016 pulgadas	regular a buena	<ul style="list-style-type: none"> •Capaz de elección de montaje de varias cabezas de herramienta •Operación rápida en relación con máquinas similares •Reclamaciones funcionamiento muy silencioso •Plataforma climatizada •Bajo costo •Altamente adaptable: permite la personalización para aplicaciones específicas •Buena selección de materiales •Materiales de bajo costo •, Operación de limpieza Quiet 	<ul style="list-style-type: none"> •Proceso lento •Hágalo usted mismo - No es adecuado para la mecánica poco inclinado a mano acabado y post-procesamiento de las piezas necesarias •No hay una segunda cabeza de un soporte o material adicional
MakerBot Industrias [Compra por Stratasys anunció de junio de 2013]	Replicador 2 Detalles aquí ...	extrusión termoplástica	\$ 2.199 [ensamblado] Replicador 2X con segunda	N / A	19,1 x 12,8 x 14,7 Peso: 25,4 libras	11,2 x 6,1 x 6 en LxWxH	Sólo PLA, \$ 22 a \$ 25 por libra	Bajo	Velocidad: no especificado	Precisión de posicionamiento: 2,5 micras en el eje Z, 11 micras de	regular a buena	<ul style="list-style-type: none"> •Bajo costo •Materiales de bajo costo •Mejora de la 	<ul style="list-style-type: none"> •Proceso lento •Kit versión no está disponible para un menor costo

			extrusora, la capacidad ABS \$ 2,799. Ver lista de abajo.							X & Y-ejes; parte res reales. No spec'da; tip. z-capa de alt. es 0,004 en		estructura de acero <ul style="list-style-type: none"> Mejorada y más rápida de software Sitio web para los usuarios de los diseños de cambio, pero eso es de código abierto para que cualquiera pueda usarlo 	<ul style="list-style-type: none"> Único material PLA, sin segundo material de apoyo o colores adicionales Ninguna plataforma build climatizada, pero no es necesario para sólo PLA No es de hardware o software de código abierto, los usuarios no pueden modificar fácilmente la máquina
3D Systems	Cubex™ Detalles aquí ...	extrusión termoplástica	<p>\$ 2,499 Una Cabeza</p> <p>\$ 3249 dos cabezas</p> <p>\$ 3.999 Tres cabezas</p> <p>[Todos completamente ensamblado]</p>	N / A	20 x 20 x 23 en WxLxH 84 libras. (3 extrusoras)	10,8 x 10,45 x 9,5 en (extrusora, max. tamaños de impresión disminuye con más cabezas) 7,3 x 10,75 x 9,5 en (3 extrusoras)	PLA y ABS en muchos colores, cartucho de materiales cuestan \$ 99, lo que equivale a un estimado de \$ 70 a \$ 100/lb	Caro en comparación con otros proveedores de esta clase. Compra incluye tres cartuchos.	frenar (sin especificación disponible, pretende ser hasta 2 veces más rápido que máquinas similares)	espesor de la capa: seleccionable 0,005 a 0,020 en x & y ejes: mayor de + / - 1% de la dimensión de objeto o + / - 0.008 in; eje z: + / - la mitad de la resolución z	regular a buena	<ul style="list-style-type: none"> De bajo costo para un volumen de impresión muy grande Numerosos colores de material disponible, capaz de imprimir hasta tres colores en una construcción Cartuchos de materiales de fácil carga Integrado con la creación de la comunidad Cubify™ Resolución seleccionable para "proyectos" impresiones 	<ul style="list-style-type: none"> Proceso lento No es modificable por el usuario para los requisitos especiales Una sola cara, proveedor de materiales
Fabricante	Modelo	Tecnología	Precio	Costo Anual de Servicio	Tamaño y peso.	Construir Sobre	Materiales	Costo de Materiales	Acelerar	Precisión	Terminar	Fortalezas	Debilidades
Fab @ Home (su casa!)	1 Detalles aquí ...	deposición jeringa	\$ 2.500 [sólo piezas, si se ha adquirido por el usuario]	N / A	18.5x16x 18 WxDxH	8x8x8 en	. Todo lo que pueden arrojar a chorros probado hasta ahora: de silicona, epoxi, queso, chocolate,	muy bajo	pobre	+ / - 0,004 pulgadas	pobre	<ul style="list-style-type: none"> Bajo costo Altamente adaptable: permite la personalización para aplicaciones específicas Materiales de bajo 	<ul style="list-style-type: none"> Proceso lento Tiempos de endurecimiento lento para materiales intentaron hasta ahora

							glaseado, arcilla, plastilina y yeso					costo <ul style="list-style-type: none"> • Puede utilizar los materiales y adaptarse a muchas aplicaciones que no son apropiadas para cualquier otra tecnología 	<ul style="list-style-type: none"> • Hágalo usted mismo - o al menos requiere un poco de montaje - No es apropiado para el poco dispuestos mecánicamente • Piezas de mala calidad y los modelos hasta ahora
MakerBot Industrias	Replicador™ 2X Experimental Detalles aquí ...	extrusión termoplástica	\$ 2,799 [ensamblado]	N / A	19,1 x 12,8 x 20,9 Peso: 27,8 libras	9,7 x 6,0 x 6,1 en LxWxH	ABS y PLA, \$ 22 a \$ 25 por libra	Bajo	Velocidad: no especificado	Precisión de posicionamiento: 2,5 micras en el eje Z, 11 micras de X & Y-ejes; parte res reales. No específica; z-capacidad es ajustable .004-.0133 en	regular a buena	<ul style="list-style-type: none"> • Dos cabezas de extrusión • Climatizada la plataforma • Materiales de bajo costo • Mejora de la estructura de acero • Mejorada y más rápida de software • Sitio web para los usuarios de los diseños de cambio, pero eso es de código abierto para que cualquiera pueda usarlo 	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso lento • Kit versión no está disponible para un menor costo • No es de hardware o software de código abierto, los usuarios no pueden modificar fácilmente la máquina
Formlabs	Formulador 1 Detalles aquí ...	estereolitografía	3,299 dólares [ensamblado]	N / A	12 x 11 x 18 de alto x alto x peso: 18 libras	4.9 x 4.9 x 6.5 in	fotopolímero propietario	\$ 149/liter; est \$ 68/lb	Velocidad: lenta tasa típica es de aprox. 15 mm de altura por hora	grosor mínimo: 25 micras (0,001 pulgadas) y de un mínimo tamaño de la característica : 300 micrones (0.012 in) Precisión de las piezas Verdadero no especificado	excelente	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo de alta resolución • Moderado costo de los materiales • Excelente detalle y acabado superficial • Operación de limpieza Quiet 	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso lento • Kit versión no está disponible para un menor costo • Materiales y propiedades muy limitados pueden variar con el tiempo • Se debe tener cuidado en el manejo de materiales • No es modificable por el usuario para los requisitos especiales

rdGizmo For You LTD	llos Detalles aquí ...	Fotopolímero expuesto por proyector HD estándar	\$ 5,340 [kit, incluyendo \$ 900 para proyector]	N / A	23,6 x 19,7 x 47,2 en LxWxH 110 libras.peso del envío con el proyector, (77 libras de peso del envío w / o proyector)	11,8 x 11,8 x 7,9 pulgadas(X x Y x Z)	Varios fotopolímeros disponibles	\$ 74/lb. para una resina de propósito general	bueno	Grosor capa mínima: 0,0005; . Utilizando área completa, hasta 163 dpi XY res y, al 5 x 5 en superficie construida res.hasta 385 dpi Precisión de las piezas Verdadero no especificado	excelente	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo de alta resolución • Operación rápida • Operación de limpieza Quiet • Abrir-fuente, puede ser modificado por el usuario • Volumen de construcción de grandes • Moderado costo de los materiales • Excelente detalle y acabado superficial 	<ul style="list-style-type: none"> • Kit version only - no es apropiado para el poco dispuestos mecánicamente • Enorme máquina - tan grande como un pequeño sillón • Se debe tener cuidado en el manejo de materiales • Propiedades de los materiales pueden variar con el tiempo
Fabricante	Modelo	Tecnología	Precio	Costo Anual de Servicio	Tamaño y peso.	Construir Sobre	Materiales	Costo de Materiales	Acelerar	Precisión	Terminar	Fortalezas	Debilidades
Asiga	Freeform Pico Detalles aquí ...	Fotopolímero expuesto por dispositivo de espejo deformable (DMD)	6990 dólares [ensamblado]	N / A	8.6 x 8.9 x 20 de alto x alto x 33 libras.	30x40x75 mm An x P	Elección limitada a 2 fotopolímeros	\$ 350 por 500 ml o aproximadamente \$ 320/lb.	bueno	+ / - 0.002 precisión (50 micras); 38 micras (0,0015 pulgadas) tamaño de pixel; eje Z incrementos tan pequeños como 1 micra (0,00004 in)	excelente	<ul style="list-style-type: none"> • De bajo costo para una resolución extremadamente alta • Operación rápida • Operación de limpieza Quiet • Unidades adicionales disponibles con el tamaño de pixel a 27 micras, pero a un costo mucho mayor 	<ul style="list-style-type: none"> • Sobre construir Muy pequeño • Materiales caros sino partes pequeñas tan quieto coste por pieza moderada
Stratasys	Mojo™ Detalles aquí ...	Fundida Depositor Modeling (FDM)	\$ 9.900 [incluye sistema de eliminación de apoyo y de arranque de los kit de consumibles.Impresora solo es \$ 9.500.]	N / A	25 x 21 x 18 en WxDxH 60 libras	5 x 5 x 5 en WxDxH	Un grado de ABS	\$ 399 para el cartucho con 80 pulgadas cúbicas de material, equivalente a \$ 133/lb	pobre	Espesor: 0.007 in; no se especifica XY exactitud posicional	feria	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo para la máquina de nivel profesional con opción de arrendamiento de bajo precio • Operación de llave en mano en comparación con máquinas de aficionados • Fuertes partes y 	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso lento • Selección de materiales limitada, sólo un tipo y color del ABS • Material de muy alto costo y sólo un único proveedor • Menor volumen de construcción que sus competidores

												<p>duraderas</p> <ul style="list-style-type: none"> La tecnología tiene reputación de fiabilidad Operación de limpieza Quiet Materiales de apoyo solubles y el sistema de eliminación de apoyo incluyen Cabezas de deposición se sustituyen con el cartucho de material de 	
Beijing TierTime Technology Co. Ltd.(China)	Inspire S200 Detalles aquí...	MEM (Modelado derretida y extrusión)	\$ 10.000	N / A	24,8 x 26 x 37,8 en WxDxH 140 libras	5,91 x 7,87 x 7,87 en WxDxH	ABS	\$ 79/lb	pobre	espesor de la capa: Ajustable 0,010 a 0,014 en; precisión: 0.008 en más de 4 pulgadas, 0.040 min tamaño de la característica	feria	<ul style="list-style-type: none"> Fuertes partes y duraderas La tecnología tiene reputación de fiabilidad Operación de limpieza Quiet Cabeza de boquilla doble para los materiales de apoyo de dispensación 	<ul style="list-style-type: none"> Proceso lento Selección de materiales Limited Coste material algo elevado
Fabricante	Modelo	Tecnología	Precio	Costo Anual de Servicio	Tamaño y peso.	Construir Sobre	Materiales	Costo de Materiales	Acelerar	Precisión	Terminar	Fortalezas	Debilidades
3D Systems	ProJet 1000™ y 1500™ ProJet Detalles aquí...	transferencia de la película de fotopolímero	ProJet™ 1000: \$ 10 900 ProJet™ 1500: \$ 14,500	N / A	22x36x29 en WxDxH; £ 122	ProJet™ 1000: 6.75x8x7 en ProJet™ 1500: 6.75x9x8 en WxDxH	fotopolímero	Estimar \$ 120/lb. o aprox. \$ 4 a \$ 5 pulgadas / cubic	0.5 in / hr; modo de alta velocidad de 0,8 pulg / hr (eje Z) para ProJet™ 1500	Espesor: 0.004 in, 0.008 en modo de alta velocidad para ProJet™ 1500 Resolución: 1024x768 DPI (xy), min. vert.espesor de pared 0.025 in (0.64 mm), min. feat.tamaño de 0,010 en (0.254	excelente	<ul style="list-style-type: none"> Bajo costo de estereolitografía-como la calidad Precisión, resolución y acabado Acelerar Elección de los materiales de color 	<ul style="list-style-type: none"> Selección de materiales Limitada Materiales propiedades mecánicas y de durabilidad Materiales de alto costo Requiere accesorio de equipo de lavado y curado, que cuesta miles de dólares adicionales para las

										mm)			piezas utilizables
Stratasys Ltd.	uPrint™ SE detalles aquí ...	Fundida Depositon Modeling (FDM)	\$ 13.900	N / A	26x26x30 en WxDxH; 132 lbs	8x6x6 en	Plástico ABS con soportes solubles	\$ 115 hasta \$ 185 por libra	pobre	0.010 en el espesor de la capa	feria	<ul style="list-style-type: none"> • Fuertes partes y duraderas • FDM reputación de fiabilidad • Operación de limpieza Quiet 	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso lento • Coste material es relativamente alta
	uPrint™ Plus SE		\$ 18,900	N / A		8x8x6 en	Plástico ABS en varios colores con soportes solubles						
3D Systems [Anteriormente un producto de Z Corp.]	ZPrinter® 150 Detalles aquí ...	impresión tridimensional (3DP)	\$ 14900 [64 versión en color con capacidad de \$ 24,900.]	N / A	29x31x55 in; £ 365	9.3x7.3x5 en	compuesto de yeso, elastómero, colar, fundición de precisión	yeso: \$ 0.60 por metro cúbico de	excelente [0.8 pulgadas / hora]	300x450 dpi, espesor de la capa de 0.004	feria	<ul style="list-style-type: none"> • Más rápida de todas las tecnologías disponibles • Selección de materiales moderadamente amplia • Materiales de bajo costo 	<ul style="list-style-type: none"> • Extracción de las piezas de la máquina y su limpieza puede ser un poco incómodo • Pobres propiedades mecánicas de materiales • Acabados no es tan atractiva como otras tecnologías
Stratasys Ltd. [Objet fusionó con Stratasys diciembre de 2012] FAMILIA DE EQUIPOS SELECCIONADOS EN ESTA TESIS	Objet24 / Objet30 Detalles aquí ...	fotopolímeros hidromasaje	comienza en \$ 19,900 (Objet24)	N / A	32x24x23 in; £ 205	9.22 x 7.58 x 5.85 in (Objet24) 11.58 x 7.58 x 5.85 in (Objet30)	Material opaco VeroWhitePlus, (Objet24) Azul, Negro Gris y materiales de polipropileno como se ofrece con Objet30, que se vende por muchos miles más	\$ 130 hasta \$ 175 por libra, material de apoyo \$ 57 por libra	bueno	600x600x900 dpi, espesor de la capa de 0,0011, la precisión posicional: +/- 0,0039 en el típico	excelente	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo de estereolitografía como la calidad • Precisión, resolución y acabado • Acelerar 	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de materiales limitada • Materiales propiedades mecánicas y de durabilidad • Las operaciones secundarias de acabado, (aunque menos onerosas que algunas tecnologías de la competencia) • Los materiales de alto costo
Fabricante	Modelo	Tecnología	Precio	Costo Anual de Servicio	Tamaño y peso.	Construir Sobre	Materiales	Costo de Materiales	Acelerar	Precisión	Terminar	Fortalezas	Debilidades