INSTITUTO TECNOLOGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY

CAMPUS MONTERREY

DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERIA

TECNOLÓGICO DE MONTERREY

COMPARACION DEL MODELO DE COSTOS PARA CORTE CON CHORRO DE AGUA, CORTE POR LASER Y PUNZONADO

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE

MAESTRA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD

EN SISTEMAS DE MANUFACTURA

POR:

SILVIA JANETTE GONZALEZ GUTIERREZ

MONTERREY, N. L. MAYO DEL 2010

INSTITUTO TECNOLOGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY

CAMPUS MONTERREY

DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERIA

TECNOLÓGICO DE MONTERREY

COMPARACION DEL MODELO DE COSTOS PARA CORTE CON CHORRO DE AGUA, CORTE POR LASER Y PUNZONADO

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE

MAESTRA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD

EN SISTEMAS DE MANUFACTURA

POR:

SILVIA JANETTE GONZALEZ GUTIERREZ

MONTERREY, N. L. MAYO DEL 2010

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS
SUPERIORES DE MONTERREY
CAMPUS MONTERREY
DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA

TECNOLÓGICO
DE MONTERREY®

COMPARACIÓN DEL MODELO DE COSTOS PARA CORTE CON CHORRO DE AGUA, CORTE POR LÁSER Y PUNZONADO

TESIS
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD
EN SISTEMAS DE MANUFACTURA

POR:
SILVIA JANETTE GONZÁLEZ GUTIÉRREZ

MONTERREY, N. L. MAYO DE 2010

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY

CAMPUS MONTERREY

DIVISION DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA

Los miembros del Comité de Tesis recomendamos que la presente Tesis de la Ing. Silvia Janette González Gutiérrez sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado académico de Maestra en Ciencias con especialidad en:

SISTEMAS DE MANUFACTURA

Comité de Tesis

Dr. Nicolás Hendrichs Troeglen
Asesor

Dr. Ciro Ángel Rodríguez González
Sinodal

Dr. Héctor Rafael Siller Carrillo
Sinodal

APROBADO

Dr. Jorge Limón Robles
Director del Programa de Posgrado
Escuela de Ingeniería y Tecnologías de Información.

Mayo 2010

Dedicatoria

A mis padres Rosario y José Luís.

Por su apoyo en los momentos difíciles.

Por sus consejos cuando no encontraba respuesta.

Por su confianza absoluta.

Y por su amor incondicional.

Agradecimientos

Primero que nada gracias a Dios por darme la fortuna de concluir una meta más en mi vida.

Gracias a mi abuelita Angelita por todas sus bendiciones, preocupaciones, protección y amor siempre.

A mis abuelitos Ángel y Odolmira, que aun que ya no se encuentran a mi lado, sé que siempre serán mis ángeles guardianes.

Muchas gracias a mi asesor el Dr. Nicolás Hendrichs por todo su entendimiento, consejos, motivación y siempre contestar mis constantes preguntas.

Quisiera también agradecer Dr. Ciro Rodríguez, por su apoyo durante toda mi maestría, creer en mí y darme la oportunidad de siempre mejorarme y esforzarme.

Gracias a los profesores Jorge Cortés, Héctor Siller, Miguel Ramírez, Francisco Palomera y Armando Céspedes que me ayudaron a encontrar soluciones cuando no veía ese camino y me alentaron a siempre seguir adelante.

A Steph Reding, Iñaki Uscanga, Reginaldo Garza, Rogelio Pérez, Eduardo Balart, Erick Salazar, Alberto González, Jerónimo Villareal, Guillermo Quezada y todos mis amigos por sus consejos y ayuda durante mis confusiones y todos los buenos momentos que hemos compartido en estos años.

Contenido

1. Introducción 10
1.1 Motivación y Justificación. 11
1.2 Objetivo 11
2. Literatura Revisada: Análisis del Modelo de Costos. 12
2.1 Métodos de Análisis de Costos 13
2.2 Modelo de Costo Técnico 17
2.2.1 Entradas. 18
2.2.2 Parámetros Estimados. 19
2.2.3 Salidas. 20
3. Modelo de Costos para el Corte por Chorro de Agua Abrasivo. 23
3.1 Características del Proceso. 23
3.2 Modelo de Costos. 26
3.2.1. Entradas 26
3.2.2. Parámetros Estimados. 32
3.2.3. Salidas. 35
4. Modelo de Costos para el Corte por Láser. 45
4.1 Características del Proceso. 45
4.2 Modelo de Costos. 50
4.2.1. Entradas 50
4.2.2. Parámetros Estimados. 53
4.2.3. Salidas. 54
5. Modelo de Costos para Punzonado. 58
5.1 Características del Proceso. 58
5.2 Modelo de Costos. 61
5.2.1. Entradas 61
5.2.2. Parámetros Estimados. 64

5.2.3. Salidas. 65
6. Resultados de los Modelos. 68
6.1 Corte por Chorro de Agua Abrasivo. 68
6.1.1 Parámetros de Proceso. 68
6.1.2 Salidas 71
6.2 Corte por Láser. 80
6.2.1Parámetros de Proceso. 80
6.2.2. Salidas. 82
6.3. Punzonado. 91
6.3.1. Cálculos Intermedios. 91
6.3.2. Salidas. 92
7. Discusión de Resultados 100
7.1 Comparación de Costos con Volumen de Producción Anual 100
7.2 Comparación de Inversión Inicial 103
7.3 Comparación de Costo Anual 104
7.4 Comparación del Precio Final Entre Procesos 105
7.5 Comparación Entre Diferentes Marcas de Equipo y Materiales 108
8. Conclusiones, Contribuciones y Trabajos Futuros 114
8.1. Conclusiones. 114
8.2. Contribuciones. 115
8.3 Trabajos Futuros. 115
9. Bibliografía. 116
Apéndice A. Datos Parámetros de Proceso. 121
Apéndice B. Tablas de Modelos de Costos 125
Apéndice C. Tablas de Comparación entre Procesos. 128
Apéndice D. Comparación de Propiedades y Costos 133

Índice de Figuras

Figura 1 Diseño del Modelo de Costos (2) 18

Figura 2. Costo Unitario vs. Unidades Producidas 21

Figura 3 Boquilla Chorro de Agua Abrasivo. (9) 24

Figura 4. Diagrama de la Pieza. 26

Figura 5. Diseño del Espacio Necesario del Edificio Máquina AWJ. 41

Figura 6. Esquema de Funcionamiento de Máquina de Corte Láser CO2. (24) ... 46

Figura 7. Boquilla de la Cortadora Láser. (21) 48

Figura 8. Aplicaciones Generales del Laser en Manufactura. (25) 49

Figura 9. Diagrama de una Punzonadora. 58

Figura 10. Esquema de Funcionamiento de la Punzonadora. 59

Figura 11. Velocidad de Corte Vs. Calidad AWJ. 68

Figura 12. Gráfica de Velocidad vs. Espesor del Materia AWJ. 69

Figura 13. Gráfica de Porcentajes de Costos AWJ. 79

Figura 14. Gráfica Relación Potencia con Espesor de Material (Láser). 80

Figura 15. Relación Velocidad de Corte con el Espesor del Material (Láser). 81

Figura 16. Gráfica de Porcentaje de Costos Corte por Láser 90

Figura 17. Pieza Terminada Mediante Punzonado. 92

Figura 18. Gráfica de Porcentaje de Costos Corte por Punzonado. 99

Figura 19. Diagrama de Relación de Costo con Volumen de Producción AWJ. .. 100

Figura20. Diagrama de Relación de Costo con Volumen de Producción Laser. . 102

Figura 21. Diagrama de Relación de Costo con Volumen de Producción Punzonado. 103

Figura 22. Grafica de Comparación de Inversión Inicial en los Tres Proceso 104

Figura 23. Gráfica de Comparación Costo Anual en los Tres Procesos. 105

Figura 24. Comparación Costo Final de Fabricación Mediante Tres Procesos .. 106

Figura 25. Comparación entre máquinas de chorro de agua abrasivo y el costo de fabricación. 109
Figura 26. Tipo de Costos vs. Volumen de Producción Chorro de Agua. 109
Figura 27. Comparación Entre Máquinas Láser y el Costo de Fabricación. 110
Figura 28. Porcentaje de Costo vs. Volumen de Producción en Láser. 111
Figura 29. Comparación Entre Máquinas Punzonado y el Costo de Fabricación. 112
Figura 30. Tipos de Costo vs. Volumen de Producción Punzonadora. 112

Índice de Tablas

Tabla 1. Parámetros de Geometría de la Pieza AWJ 27
Tabla 2. Parámetros de Proceso AWJ. 29
Tabla 3. Parámetros de Exógenos AWJ. 31
Tabla 4. Especificaciones del Materia Corte por Láser. 50
Tabla 5. Parámetros de Proceso Corte por Láser. 51
Tabla 6. Parámetros Exógenos Corte por Láser. 52
Tabla 7. Parámetros de Proceso Punzonado 62
Tabla 8. Parámetros Exógenos Punzonado. 64
Tabla 9. Cálculos Intermedios AWJ 70
Tabla 10. Costos de Material AWJ. 72
Tabla 11. Costos de servicio AWJ 72
Tabla 12. Costos de Salarios Directos AWJ 73
Tabla 13. Costos de Maquina AWJ 74
Tabla 14. Costos de Herramental AWJ 75
Tabla 15. Costos de Edificio AWJ. 77
Tabla 16. Costos de Instalación y Equipo Auxiliar AWJ. 77
Tabla 17. Costos de Mantenimiento AWJ. 78
Tabla 18. Costos de Capital AWJ. 78
Tabla 19. Cálculos Intermedios Corte por Láser. 82
Tabla 20. Costos de Servicios Láser. 83
Tabla 21. Costo de Salarios Directos para Láser. 84
Tabla 22. Costo de Máquina para Láser. 85
Tabla 23. Costo de Herramientas para Láser 86
Tabla 24. Costo de Edificio Láser. 87
Tabla 25. Costo de Instalación y Equipo Auxiliar para Láser. 88
Tabla 26. Costo de Mantenimiento para Láser 88
Tabla 27. Costos de Capital para Láser 89
Tabla 28. Cálculos Intermedios Corte por Punzonado. 91

Tabla 29. Costos de Servicios por Punzonado. 93
Tabla 30. Costo de Salario Directo para Punzonado. 94
Tabla 31. Costo de Máquina para Punzonado. 95
Tabla 32. Costo de Herramientas para Punzonado 96
Tabla 33. Costo de Edificio Punzonado. 96
Tabla 34. Costo de Instalación y Equipo Auxiliar para Punzonado. 97
Tabla 35. Costo de Mantenimiento para Punzonado 98
Tabla 36. Costos de Capital para Punzonado. 98
Tabla 37. Comparación de procedimientos de corte. 107

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Costo por Renta de Máquina. 13
Ecuación 2. Costo por Carga de Trabajo. 14
Ecuación 3 Calculo de Costo de Producción Boothroyd. 14
Ecuación 4. Cálculo de Máquina y Operador Boothroyd. 15
Ecuación 5. Costo de Máquina Boothroyd. 15
Ecuación 6. Tiempo de Ocio Boothroyd 15
Ecuación 7. Costos de Herramientas Boothroyd. 16
Ecuación 8. Longitud de Arco. 27
Ecuación 9. Velocidad de Corte AWJ. 32
Ecuación 10. Tiempo de Corte. 33
Ecuación 11. Porcentaje de Ocupación de la Máquina. 33
Ecuación 12. Fracción del Año de Ocupación de la Máquina. 34
Ecuación 13. Costo de Material. 35
Ecuación 14. Costos de Servicios 36
Ecuación 15. Costo de Salarios Directos. 37
Ecuación 16. Costo Anual de la Máquina. 38
Ecuación 17. Número de Herramientas. 39
Ecuación 18. Costo por pieza de Herramientas. 39
Ecuación 19. Costo de Edificio. 42
Ecuación 20. Costos de Capital. 44
Ecuación 21. Fuerza Necesaria para Punzonar. 64

1. Introducción

El cambio de un proceso de producción genera una gran cantidad de variables económicas e ingenieriles, las cuales se deberán de meditar antes de tomar una decisión final. Por lo general en las empresas, estas variables de costo se calculan mediante la experiencia de los individuos o datos históricos que tenga la empresa sobre este método de fabricación.

Hay distintas maneras de calcular el costo que generará la fabricación de una pieza, como el costo de renta de máquina, costo por carga de trabajo, etc. Pero sus aproximaciones no son muy acertadas debido a que algunas veces omiten el tiempo de ciclo y el volumen de producción. Estas dos variables son las más importantes dentro del proceso, ya que, el tiempo de ciclo influye en el salario directo y el volumen de producción en la utilización del equipo y en el periodo de recuperación de la inversión.

El modelado por costos técnicos desglosa todos los costos posibles a su mínima expresión. Con este método se desea comparar la influencia de cada parámetro en el costo total de la pieza y así tomar la decisión correcta para el cambio del proceso.

Dentro de esta tesis, se explicará a detalle este método de costeo y calcular cada uno de sus parámetros. Con el fin de comparar el corte de una pieza mediante tres procesos distintos: corte por chorro de agua abrasivo, corte por láser y punzonado. Para encontrar el proceso más conveniente para realizar este corte y cuales son los parámetros que tienen la mayor influencia sobre el costo final de fabricación.

1.1 Motivación y Justificación.

Actualmente un modelo de costos para un maquinado no es muy utilizado en las empresas para la predicción del costo total por pieza. Usualmente es calculado por horas maquina en base a la experiencia que se ha tenido en el mercado y al precio de los competidores.

Sin embargo este costo no es muy acertado y muchos factores se omiten por lo que se utilizará el modelo de costos técnicos, el cual desglosa cada costo a su mínima expresión evitando la utilización de términos como sobrecarga de trabajo. Con el fin de observar la influencia de cada parámetro en el costo total de la pieza, así como, los factores que podrán ser variables para la minimización de este costo.

1.2 Objetivo

Esta tesis tiene como principales objetivos

- Realizar la modelación de costos técnicos para los procesos de maquinado por chorro de agua abrasivo, láser y punzonado para la obtención del costo total por pieza fabricada.
- Demostrar la influencia de cada variable en el precio final del elemento a fabricar.
- Determinar el punto para la dedicación de la máquina, dependiendo del volumen de producción y el costo.
- Comparar los costos por pieza de los tres maquinados para determinar el proceso más favorable, económico y adaptable a las demandas de los clientes.

2. Literatura Revisada: Análisis del Modelo de Costos.

Para la elección del proceso con el que se fabricará una pieza es necesario tener en cuenta una gran variedad de factores. El material que se utilizará es uno de los elementos más importantes en grandes producciones, pero no se debe de olvidar otros factores como variables de procesos, limitaciones de fabricación y requerimientos para el desempeño que ayudarán a la toma de la decisión final.

La decisión de utilización de un proceso comúnmente determinada por el costo final de fabricación que tendrá la pieza. Existen varios métodos para calcular este costo, pero generalmente estas estimaciones son aproximadas, tienen falta de coherencia u omiten costos que se deben de tomar en cuenta para el precio final de la pieza. Un método para cálculo de costo sistemático basado en principios ingenieriles y características físicas del componente ayudará a caracterizar la relación entre costo y desempeño. Esta relación es evaluada por varios grados dependiendo de la aplicación y la industria en cuestión. (1)

Existen varias técnicas en la industria para estimar los costos para manufacturar piezas. Entender estas técnicas ayudará a comprender la importancia del modelo de costos técnico.

2.1 Métodos de Análisis de Costos

Tradicionalmente las industrias han utilizado la técnica de multiplicar 2 veces el costo del material. Este método falla en considerar dos de los principales parámetros de producción: el tiempo de ciclo y el volumen anual de producción. Estos parámetros tienen una gran influencia en el costo, ya que el tiempo de ciclo influye en el salario y el volumen anual de producción influye en la utilización del equipo y en la recuperación del capital invertido. (2). Todos estos factores afectan el costo final y este método no los toma en cuenta.

Otra técnica comúnmente utilizada involucra usar la renta de la máquina como parte de la fórmula para calcular el costo. La fórmula utilizada es:

$$Costo = Costo\ del\ Material + Tiempo\ de\ Ciclo * Renta\ de\ Máquina$$

Ecuación 1. Costo por Renta de Máquina.

Aunque esta técnica toma el tiempo de ciclo separado del costo de material, no utiliza el volumen de producción anual y por lo tanto omite el nivel de utilización del equipo.

Generalmente el valor de renta de la máquina en esta ecuación es obtenido de datos históricos y supone que el equipo funcionará siempre de la misma manera. El elegir una renta fija omite factores como escala económica, geometría de la parte y variables de proceso.

El tercer método introduce un nuevo término denominado carga de trabajo. El costo se obtiene mediante la fórmula siguiente:

$$Costo = Material + Tiempo\ de\ Clico * (1 + carga\ de\ trbajo)$$

Ecuación 2. Costo por Carga de Trabajo.

La carga de trabajo se basa en la idea de que la planta física debe mantener a la mano de obra. Para su obtención se deberá sumar todos los costos (herramientas, máquinas, servicios, edificio, etc.) y dividir entre las horas totales de la mano de obra.

Esta técnica es limitada por la forma de estimar el tiempo de ciclo y la carga. Ya que esta última solo se puede conocer hasta después de haber realizado un ciclo de producción.

Existen otras técnicas que se aplican en la industria y como se observa muchas dependen de experiencia y el grado de especialización de los individuos. Pero no toman en cuenta la producción anual, mermas y desperdicios, estructuras de proceso y el costo de capital.

Una técnica de modelado, la cual se acerca más a estos principios, calcula los costos de producción mediante la siguiente fórmula (3):

$$Costo\ de\ Producción = Mt_l + Mt_m + M\frac{N_t}{N_b}t_{ct} + C_t\frac{N_t}{N_b}$$

Ecuación 3 Calculo de Costo de Producción Boothroyd.

La primera parte de la ecuación es el costo no productivo. El cual se obtiene calculando el tiempo de ocio de la máquina. Para esto es necesario calcular el costo de máquina y herramienta como se observa en la ecuación 4, en donde W_o es el salario del operador:

$$M = W_o + \left(\frac{\%\ sobrecarga\ operador}{100}\right) W_o + M_t + \left(\frac{\%\ sobrecarga\ maq.}{100}\right) M_t$$

Ecuación 4. Cálculo de Máquina y Operador Boothroyd.

En donde:

$$M_t = \frac{Costo\ Inicial\ de\ la\ Máquina}{\#\ de\ horas\ trabajadas\ por\ día * Periodo\ de\ amortización}$$

Ecuación 5. Costo de Máquina Boothroyd.

Claro que como se observa en la fórmula 6, el tiempo para remplazar el inserto es un tiempo estimado.

$$T_{ct} = \frac{tiemp\ de\ cambio * (\#\ de\ cortes\ por\ inserto - 1) + tiemp\ remplazo}{\#\ de\ cortes\ por\ inserto}$$

Ecuación 6. Tiempo de Ocio Boothroyd

Los últimos dos términos, de la ecuación 3, son los costos de herramienta. Los cuales se obtienen mediante la fórmula 7:

$$C_t = \frac{costo\ por\ inserto}{número\ de\ cortes\ por\ inserto} + \frac{costo\ del\ soporte}{número\ \ de\ cortes\ durante\ la\ vida\ del\ soporte}$$

Ecuación 7. Costos de Herramientas Boothroyd.

Aunque esta técnica es una de las más acertadas y usadas dentro de la industria, dado a que es la que más descompone los costos, todavía usa el concepto de sobrecarga para obtener los costos de máquina y operador, no toma en cuenta desperdicios, ni gastos por servicios o edificio, ni los costos de capital. Por lo que es una aproximación no muy asertiva.

En (4) encontramos una comparación de costos entre el corte por chorro de agua y el láser en donde desglosa los costos de operación, es decir, máquina y consumibles, en un costo por hora. Supone una velocidad y realiza una división entre el costo de operación y la velocidad, obteniendo un precio por metro lineal. Este método también omite muchos aspectos importantes como el volumen de producción, espacio de edificio y costos de capital.

Por último en (5) genera un modelo muy similar al utilizado en esta tesis, ya que toma en cuenta el volumen de producción y el tiempo de ciclo.

Separa el costo final en: maquina, herramientas, salarios y consumibles.

Este método toma en cuenta dentro del costo final de la máquina:

- El costo del equipo
- Los intereses, es decir, un costo de capital pero solo en la inversión en el equipo.

- La depreciación del equipo como factor de costo anual.
- Un seguro y mantenimiento como un porcentaje de la máquina.
- Espacio requerido.

Pero este modelo falla en no tomar en cuenta todos los consumibles y herramientas que se necesitarían, y el material con el que se está trabajando. Ya que este va a influir en factores como la velocidad de corte y por lo tanto en el tiempo de producción.

2.2 Modelo de Costo Técnico

El modelo de costo técnico es utilizado en esta tesis debido a que está basado en un enfoque sistemático, estimando factores de costo individuales, los cuales componen el costo total. (4)

Este método consiste en desglosar el costo de producción en el mayor número de elementos posibles y estimar cada uno de ellos. Esto es con el fin de obtener la contribución de cada variable al costo final y así alejarse del concepto de carga de trabajo.

Los resultados del modelo técnico son válidos si el modelo es consistente, ingenierilmente realista, los datos son verdaderos y se deberá de evitar cometer errores de emisión y comisión.

Para el uso de este método es necesario separar la información en 3 grupos como se observa en la figura 1.

<table>
<tr><th>Entradas</th><th>Parámetros estimados</th><th>Salidas</th></tr>
<tr><td>Geometría de la pieza</td><td rowspan="4"></td><td rowspan="2">Costos Variables</td></tr>
<tr><td>Material de la pieza</td></tr>
<tr><td>Parámetros de Proceso</td><td rowspan="2">Costos Fijos</td></tr>
<tr><td>Parámetros Exógenos</td></tr>
</table>

Figura 1 Diseño del Modelo de Costos **(2)**

2.2.1 Entradas.

Las entradas para el modelo de costos están divididas en 4 secciones las cuales se explican a continuación con mayor detalle.

- **Geometría de la Pieza:** Para realizar el modelo es necesario especificar el componente mediante el peso del material inicial, el espesor del material, la producción anual y el tiempo de vida que va a tener el producto en el mercado.
- **Material de la Pieza:** Básicamente, este factor es el tipo de material y sus propiedades físicas y químicas, que serán necesarias de conocer para poder realizar el proceso de maquinado.
- **Parámetros de Proceso:** son los parámetros necesarios para realizar el maquinado (tiempos de montaje, trabajadores por estación, porcentajes de rechazo, espacio requerido, etc.). Estos son estimados por análisis de regresión o bien entregados por la empresa y son los más complicados para realizar alguna modificación.

Parámetros exógenos: Estos datos se deberán de revisar y actualizar constantemente, ya que contienen la información del ambiente económico en el que se está modelando y varían en espacio y tiempo.

2.2.2 Parámetros Estimados.

Son los cálculos que se deberán realizar para obtener la información que se necesita utilizar en las fórmulas para encontrar los parámetros de salida. Todos ellos dependen y están relacionados con el proceso que se esté realizando. Entre estos encontramos velocidades de corte, tiempos de corte, requerimientos de servicios, etc.

Entre estos parámetros se encuentra la especificación de dedicación de la máquina, la cual influye significativamente en los costos finales de la pieza. Cuando se habla de una máquina dedicada se infiere que se utiliza exclusivamente para fabricar ese tipo de pieza.

Cuando es el caso de un equipo no dedicado la maquinaria produce más de un tipo de pieza al año. Por lo que se deberá de obtener la fracción del año que se utiliza el equipo para realizar la producción anual de la pieza. Este factor se multiplicará por cada uno de los costos anuales cuando este sea el caso. El cálculo de esta fracción se menciona en capítulos siguientes.

2.2.3 Salidas.

La información de las entradas y los parámetros estimados se combinan en una serie de ecuaciones para producir un costo estimado. Estos costos para este método se dividen en dos grandes grupos como observamos en la figura 2.

2.2.3.1 Costos Variables

Estos costos son proporcionales al volumen de producción, por lo que son los más fáciles de calcular, dado que dependen del tiempo de ciclo, de parámetros de entrada directamente o de principios ingenieriles.

Dentro del modelo estos costos se dividen en 3 parámetros:

1. Costos de material.
2. Costos de Servicio.
3. Costos de Salario Directo.

2.2.3.2. Costos Fijos.

Estos costos no son proporcionales al volumen de producción. Son denominados así porque generalmente es una sola inversión o no se modifica el costo anual por la cantidad de piezas que se fabrique. Estos costos se dividen en:

1. Costo de Máquina.
2. Costos de Herramientas.
3. Costos de Salarios Indirectos

4. Costo de Edificio.
5. Costo de Instalación y Equipo Auxiliar.
6. Costo de Mantenimiento
7. Costos de Capital.

Cada uno influye en el costo total de la pieza y se deberán calcular individualmente. El método para realizarlo depende del proceso que se esté utilizando. Cada uno de ellos se describe a detalle en la siguiente sección de esta tesis.

En la figura 2 (5) se observa la comparación entre las unidades producidas con el costo unitario de la pieza.

El costo variable no se modifica con un aumento en el número de piezas, mientras que el costo fijo, cuanto mayor es el número de componentes fabricados menor es el cargo de estos costos que se le incluye a la pieza por que estos costos anuales se dividen entre la cantidad de elementos que se producen.

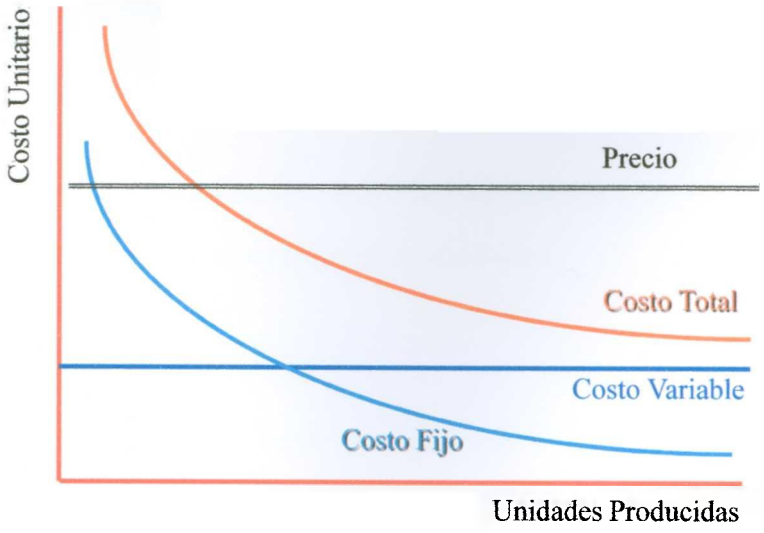

Figura 2. Costo Unitario vs. Unidades Producidas

En las siguientes secciones se encontrará la aplicación de este modelo para 3 diferentes procesos de maquinado: corte por chorro de agua, corte por láser y punzonado. Para cada caso se explica a detalle las variables de entrada necesarias para el cálculo de todos los parámetros y la influencia de cada uno de ellos en el costo final de fabricación.

3. Modelo de Costos para el Corte por Chorro de Agua Abrasivo.

3.1 Características del Proceso.

El corte por chorro de agua abrasivo o AWJ, por sus siglas en ingles, es un método de de maquinado no tradicional que ofrece una alternativa diferente a técnicas convencionales. La remoción del material para realizar el corte ocurre debido a la erosión de la pieza. (6)

Entre las ventajas de utilizar este método se encuentran:

- Corta Materiales desde 0.002" hasta 12" de espesor.
- Gran precisión hasta de 0.001".
- No se precisa el reafilado de herramientas en comparación con el punzonado.
- Proceso de corte en frío por lo que no crea zonas calientes en el material, como en el caso del láser.
- Producto final limpio.
- Cantos de corte sin rebabas, sin necesidad de limado.
- Flexibilidad de fabricación de diferentes modelos.
- Agujeros menores a 0.06".

En el corte por este método el chorro de agua usa una bomba especial que incrementa la presión del agua hasta los 400 MPa. El agua fluye a través de un inserto llamado joya, comúnmente de zafiro, y entra a una cámara de mezclado

para unirse con las partículas del abrasivo donde el agua escapa por un orificio pequeño, el cual crea una alta presión y velocidad al impactar la superficie. En la figura 3 podemos observar las partes que componen esta boquilla. (7)

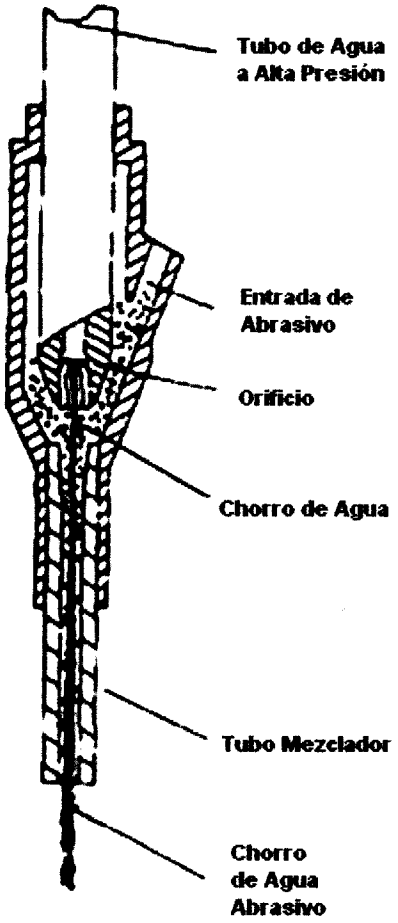

Figura 3 Boquilla Chorro de Agua Abrasivo. (7)

El abrasivo contiene partículas como carburo de silicio u óxido de aluminio. Esto hace que sea mayor la tasa de remoción de material que en el maquinado por chorro de agua. Los granos abrasivos se clasifican por tamaño de acuerdo con un estándar mundial establecido y se designan por un tamaño numérico de grano.

En la medida que aumenta el número, menor es el tamaño del grano. El tamaño grueso de grano (un número menor) aumentará la velocidad de eliminación de material pero proporciona acabados más ásperos en la superficie. El tamaño fino de grano (números mayores) proporciona menos eliminación de material pero proporcionan acabados más precisos.

Este método puede cortar metales, no metales, y materiales compuestos de diversos espesores, particularmente los materiales que son sensibles al calor que no pueden ser maquinados en procesos donde este se produce. (8)

Mediante este corte los efectos de esfuerzo mecánico y carga térmica son mínimos debido a las pequeñas fuerzas de reacción en el material y el proceso no térmico. (9)

En la siguiente sección se analizará el modelo de costos para el maquinado de una rueda de ginebra. Se explicará a detalle el método para el cálculo de cada una de estas variables para la obtención del costo de fabricación por pieza, anual e inversión inicial necesaria.

3.2 Modelo de Costos.

En modelo de costos técnico para el maquinado por chorro de agua abrasivo se divide 3 secciones principales como se indicó en el capítulo anterior. Cada una de ellas esta descrita a detalle continuación.

3.2.1. Entradas

3.2.1.1. Geometría de la Pieza.

Para este caso de estudio se fabrica una parte del mecanismo de una rueda de ginebra. Para realizar el costo es necesario saber la longitud de corte, el espesor del material, el porcentaje de desperdicio, la producción anual y la vida del producto. Este último quiere decir, el tiempo que se tiene planeado que el producto este en el mercado.

Para el trayecto del corte se utiliza la figura 4. Se deberá hacer la sumatoria de todas las longitudes a cortar.

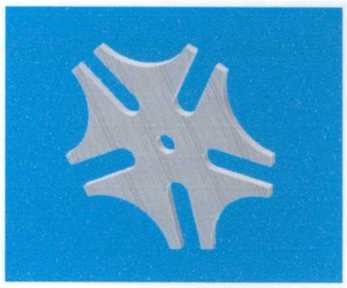

Figura 4. Diagrama de la Pieza.

Con la figura anterior se obtiene, mediante la fórmula 8, la longitud de los arcos. Por lo tanto la distancia total de corte de la pieza resulta en 430 mm.

$$s = \pi\theta$$

Ecuación 8. Longitud de Arco.

La información de la geometría de la pieza es igual para los tres procesos que se estudian en esta tesis, dado a que se desea realizar una comparación entre los tres procesos al fabricar una misma pieza.

Los valores utilizados en el caso es estudio de esta tesis se encuentran en la tabla 1. Se debe de tomar en cuenta que los últimos 4 factores de esta tabla son supuestos.

Geometría de la Pieza		
Nombre de la Parte	Rueda de Ginebra	
Peso	0.09	Kg
Espesor del Material	1.00	Mm
Longitud de Corte	430	Mm
Porcentaje de Desperdicio	10.0%	%
Producción Anual	2,000	Pza/año
Vida del Producto	4.0	años

Tabla 1. Parámetros de Geometría de la Pieza AWJ

3.2.1.2. Material de la Pieza.

El material a utilizar como materia prima es Aluminio 6061. Para su precio por kilogramo se multiplicó el volumen de la hoja (30.48cm*60.96cm*.160cm) por la densidad de este tipo de aluminio (2.7 g/cm^3). El peso obtenido y el costo de la hoja nos dan como resultado un precio de 249 $/kg. (10). Con el porcentaje de desperdicio supuesto en el inciso anterior, se conoce este precio, el cual es de 24.9 $/kg.

El precio del material y de desperdicios son iguales para los 3 procesos ya que se utiliza el mismo material para la comparación.

Para el caso del corte por chorro de agua es necesario conocer la maquinabilidad del material. Este número se presenta en la tabla A.1 del apéndice A de esta tesis para distintos materiales.

3.2.1.3. Parámetros de Proceso.

Los parámetros de tiempo de montaje, productividad, porcentaje de rechazo y calidad requerida los proporciona el cliente según su producción; en este caso fueron supuestos.

Para la dedicación del equipo se realizo el cálculo para las dos opciones, esto se debe realizar para poder comparar si es conveniente el uso exclusivo de la máquina para la producción.

La potencia requerida y el tipo, número y consumo de abrasivo fueron obtenidos mediante proveedores (11).

El número de los trabajadores por estación está relacionado con la cantidad de máquinas que se necesiten para poder completar la producción anual. Este número se explica en la sección 3.2.2.

La ventaja que tiene el uso del granate es que produce una menor anchura en el corte, seguido del oxido de aluminio y el carburo de silicio. (12)

Parámetros de Proceso		
Tiempo de Montaje	14	Min
Productividad	85%	%
Equipo Dedicado	1	[1=S 0=N]
Trabajadores por Estación	1	
Porcentaje de Rechazo	0.5%	%
Espacio Requerido	24	m^2
Potencia Requerida	37.3	Kw
Tipo de Abrasivo	1	1=granate 2=olivino 3=vidrio
Consumo de Abrasivo	0.5443	kg/min
Número de abrasivo	80	#
Calidad Requerida	4	1=corte 2= rugoso 3=media 4=estriación libre 5=Mejor acabado

Tabla 2. Parámetros de Proceso AWJ.

3.2.1.4 Parámetros Exógenos.

Estos parámetros describen el ambiente económico, como se describió anteriormente. Los valores utilizados se encuentran a continuación en la tabla 3 y fueron obtenidos de publicaciones, vendedores de maquinaría y vendedores de material.

Parámetros Exógenos		
Salarios por Trabajador	$ 9.82	$/hora
Prestaciones	35%	%
Salarios Directos Total	$ 13.26	$/hora
Salarios Indirectos	$ 175,500	$/año
Días Trabajados por Año	264	días
Horas Trabajadas por Días	16	hrs
Tasa de Recuperación de Capital	10%	anual
Periodo de Capital de Trabajo	0.25	años
Vida de Recuperación del Edificio	10	años
Depreciación del Edificio	10	años
Vida de Recuperación de las Máquinas	5	años
Vida del Tubo Mezclador	100	hrs
Vida de la Boquilla Zafiro	60	hrs
Vida de Refacciones de la Bomba	600	hrs
Diámetro del Tubo Mezclador	0.762	mm
Inversión en Equipo Auxiliar	25%	% de Maq.
Costo de Instalación del Equipo	10%	% de Maq.
Costo de Mantenimiento	5%	% de Maq. Hta Aux Edif.
Costo de Edificio	$ 3,300	$/m^2
Costo de la Máquina	$1,157,850	$
Tipo de Cambio	$ 12.87	$

Precios de Servicios		
Precio Agua	6.5	$/m^3
Precio Electricidad	0.8199	kWh
Precios de Consumibles		
Precio del Abrasivo	$ 3.80	$/kg
Costo de la Boquilla	$ 385.95	$
Costo del Tubo Mezclador	$ 1,286.50	$
Costo de Refacciones de la Bomba	$ 4,631.40	$

Tabla 3. Parámetros de Exógenos AWJ.

El precio del salario fue obtenido de (13), en donde se menciona que el salario mínimo es de $78.57 por turno de 8 horas. Con una suposición del 35% del salario en prestaciones como seguro médico, entre otros.

Los salarios indirectos son aquellos que no están involucrados directamente con el proceso, como supervisores, secretarias, limpieza, etc. Para el caso se supone de $10,000 mensuales sin prestaciones, lo que anualmente nos da $175,500 ya con las prestaciones de ley y un mes más para aguinaldo.

Para esta tesis se tienen 264 días al año trabajados con dos turnos de 8 horas por día, es decir 16 horas diarias.

La tasa de recuperación de material, período de capital de trabajo, vida de recuperación del edificio, depreciación del edificio, vida de recuperación de la máquina, costo de mantenimiento, interés y períodos fueron estimados.

El costo de la máquina principal se obtuvo de FLOW Co (11).Los consumibles como la vida del tubo mezclador y la boquilla, así como los precios de ellas, se obtuvieron de un proveedor en (14).

En cuanto al costo de los servicios como el del agua (m^3), el consumo eléctrico (KWh) y el abrasivo (Kg) se obtuvieron de (15), (16) y (17) respectivamente.

3.2.2. Parámetros Estimados.

Para la obtención de las salidas es necesario realizar ciertos cálculos. Uno de los primordiales es el cálculo de la velocidad de corte la cual es obtenida con la ecuación 9. (18). La definición de cada parámetro para la fórmula se encuentra más a detalle dentro del apéndice A

$$V_c = \frac{F_a N_m P_w^{1.594} d_o^{1.374} M_a^{0.343}}{Cqhd_m^{0.618}}$$

Ecuación 9. Velocidad de Corte AWJ.

Para este modelo los factores a utilizar son los siguientes:

- Se maneja un granate como tipo de abrasivo por lo que el factor a utilizar es de 1.
- La maquinabilidad para el aluminio, como se muestra en la tabla A.1 del apéndice A., es de 213.
- La presión requerida es de 344.73MPa. (11)
- Se utiliza una malla #80, por lo que el diámetro de abrasivo es de 0.177.
- El flujo de abrasivo para este corte es de 0.554 kg/min. (11)
- La calidad de terminado elegida es una calidad sin estriaciones, es decir de 4. Diferentes calidades se encuentran en la tabla A.2 dentro del apéndice A.

- Se supone un espesor de corte de 1 mm, es decir, 0.04 pulgadas, como se observa en las variables de entrada.
- El diámetro del tubo mezclador utilizado es de 0.762mm.
- La constante del sistema es de 788, dado a que se maneja los cálculos en SI.

Con la velocidad de corte es posible calcular el tiempo de corte, es decir, el tiempo que se necesita para realizar el corte a la pieza. Este tiempo se obtiene mediante la fórmula siguiente, donde L es la longitud de corte (19):

$$T_c = \frac{L_c}{V_c}$$

Ecuación 10. Tiempo de Corte.

Se debe tomar en cuenta que para obtener el tiempo de ciclo se debe añadir el tiempo de montaje al tiempo de corte, con esto se obtiene el tiempo de total del proceso.

Para hacer el cálculo del número de máquinas a utilizar es necesario obtener el porcentaje de ocupación de las mismas, el cual se calcula mediante:

$$\%_m = \frac{T_T * Producción\ Anual}{60 * D_a * H_d * P}$$

Ecuación 11. Porcentaje de Ocupación de la Máquina.

En donde T_T es el tiempo de ciclo en minutos, D_a son los días trabajados por año, H_d son las horas trabajadas por día y P es la productividad.

El resultado de la fórmula se deberá redondear al entero superior. Cuando el porcentaje de la utilización es mayor 100%, no es suficiente con una máquina para poder cumplir con la producción.

La fracción del año en que la máquina es ocupada para realizar la producción anual de la pieza es calculada mediante:

$$FAOM = \frac{T_T}{60} * Producción\ Anual * D_a H_d$$

Ecuación 12. Fracción del Año de Ocupación de la Máquina.

Este resultado es el factor de multiplicación para el precio anual resultante de los costos fijos cuando la máquina es no dedicada.

El consumo de agua por minuto, la presión requerida y el consumo eléctrico son obtenidos de (11).

Para realizar el corte, la presión sugerida por los proveedores es de 50,000 PSI (379.2 MPa) (11). Para obtener esta presión la recomendación dada es una bomba de 50HP.

En cuanto al consumo de agua se indica que es a una tasa de 1.2 gal/min (4.54 Lt/min). (11)

Con la elaboración de los cálculos intermedios anteriores se pueden obtener las variables de salida que a continuación se describen a detalle.

3.2.3. Salidas.

Los costos totales de la pieza a maquinar se dividen en costos variables y costos fijos como se explico previamente. A continuación se explicaran cada uno de estos costos y los métodos para su obtención.

3.2.3.1. Costos Variables.

Estos costos son los más sencillos de calcular, dado a que las únicas variables que se necesitan de los parámetros estimados es el tiempo de corte y el tiempo total de fabricación. El resto de estas variables son obtenidas de los parámetros de entrada.

Como se explico previamente, existen 3 elementos de costo variable. Cada uno de ellos es explicado en las siguientes secciones.

3.2.3.1.1. Costo del Material

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Costo\ del\ Material = \frac{Peso * Precio}{(1 - \%\ desperdicio\ ) * (1 - \%\ rechazo)}$$

Ecuación 13. Costo de Material.

El porcentaje de desperdicio y de rechazo en este caso de estudios fueron supuestos, como se explico en el capítulo previo en la sección de geometría de la pieza y parámetros de proceso respectivamente.

Este costo es el mismo en los tres procesos dado a que solo depende del material a utilizar y no del proceso de maquinado en sí.

3.2.3.1.2. Costos de Servicios.

Para el corte con chorro de agua los consumibles necesarios son electricidad, agua y abrasivo requerido.

El cálculo para este costo depende de 8 factores: el tiempo de ciclo, es decir el tiempo total, en horas (T_T), el tiempo de corte en minutos (T_C), el requerimiento eléctrico en kilowatts por hora (E), el costo de la energía en kilowatts por hora (C_E), el consumo de agua en m^3/min (A), el costo del agua por m^3 (C_A), el consumo de abrasivo en kg/min (G), el costo del abrasivo en pesos por kilogramo (C_G).

El tiempo de ciclo y de corte se deducen en la sección de parámetros estimados. El resto de los elementos son parámetros exógenos previamente mencionados.

El costo de la energía se multiplica por el tiempo de ciclo debido que durante el tiempo de montaje la máquina se encuentra encendida.

El costo total de todos los servicios está dado por la fórmula 14.

$$Costo\ de\ servicio = T_C[A * C_A + G * C_G] + T_T[E * C_E]$$

Ecuación 14. Costos de Servicios

3.2.3.1.3. Costo de Salarios Directos

El costo de salarios directos se basa en 5 parámetros: tiempo de ciclo, salario por trabajador (S), número de trabajadores (N_T) y la productividad (P).

$$Costo\ de\ salarios\ Directos = \frac{T_T * S * N_T}{P}$$

Ecuación 15. Costo de Salarios Directos.

Este modelo asume que hay una relación lineal entre el costo de salarios directos y los parámetros mencionados. Aunque un cambio en el número de trabajadores podrá afectar la productividad.

3.2.3.2. Costos Fijos.

En estos costos la estimación depende más de las variables de proceso que los costos variables. Ya que estos últimos depende más de las entradas y los parámetros exógenos dados por el cliente.

A continuación se presentan a detalle los 7 costos fijos que se estiman para el cálculo del modelo de costos.

3.2.3.2.1. Costo de Máquina.

Para la obtención de este costo es necesario saber el precio de la máquina de corte por chorro de agua abrasivo. Para el cálculo de este modelo se utilizó una Mach 2 2031b de la marca Flow, la cual proporciona 55,000 PSI de presión, que es un poco más de la necesaria para realizar el corte. El costo de inversión inicial para este caso es obtenido de (11).

El número de máquinas es calculado previamente con el entero resultante de la ecuación 10 dentro de la sección de parámetros estimados.

La vida de la máquina la encontramos en de los parámetros exógenos dentro de las variables de entradas. Con estos datos obtenemos:

$$Costo\ anual\ Máquina = \frac{Inversión * Número\ de\ Máquinas}{Vida\ de\ la\ Máquina}$$

Ecuación 16. Costo Anual de la Máquina.

En el caso que la máquina sea no dedicada se deberá multiplicar por la fracción de año en que la máquina es ocupada, es decir, el resultado de la ecuación 12.

Para la obtención del costo por pieza se deberá de dividir el costo anual de la máquina entre la producción anual que se realiza, en este caso de 2000 piezas.

3.2.3.2.2. Costos de Herramientas.

En este costo se debe tomar en cuenta las herramientas que se desgastan durante el maquinado, así como su tiempo de vida de cada una. Con este término nos referimos a las horas en que la herramienta puede utilizarse para el proceso antes de que genere un error de precisión.

En el caso del corte por chorro de agua, estas partes son la boquilla, el tubo mezclador y las refacciones necesarias para la bomba. Se deberá obtener la cantidad necesaria de cada una de estas herramientas para cumplir con la producción anual. Esto se obtiene mediante la fórmula:

$$\# \, Herramientas = \frac{T_C * Producción\ Anual}{60 * Vida\ de\ Herramienta}$$

Ecuación 17. Número de Herramientas.

Para obtener el costo anual se deberá multiplicar el número de herramientas obtenido por el costo de las mismas. En este caso hay 3 refacciones necesarias por lo que sumatoria de los resultados de cada una de ellas se deberá multiplicar por el número de máquinas necesarias.

El costo por pieza de este factor se encontrará con la fórmula siguiente:

$$Costo\ por\ pieza = \frac{Costo\ de\ herramienta * T_C}{60 * Vida\ de\ la\ Herramienta}$$

Ecuación 18. Costo por pieza de Herramientas.

Se deberá sumar cada costo por herramienta para la obtención del costo total de herramienta por pieza.

En el caso de este costo cuando la máquina sea no dedicada no influye en el valor anual, dado a que no necesita un cambio de herramienta para producir diferentes tipos de piezas en este proceso.

3.2.3.2.3. Costos de Salarios Indirectos.

Estos costos, como se explico anteriormente, son el salario de todos los trabajadores que no están directamente involucrados con el proceso de fabricación de la pieza.

Para la obtención de este, se supuso un salario mensual de $10,000 más un 35% de este salario supuesto de prestaciones. El cálculo anual se realiza con 13 meses del salario, ya que se debe de tomar en cuenta el mes extra para aguinaldos.

El costo por pieza se consigue dividiendo el anual entre el número de piezas a producir por año.

El costo anual y por pieza es igual para los tres procesos dado a que solo está relacionado con el salario mensual indirecto, el cual es un factor exógeno.

3.2.3.2.4. Costo de Edificio.

Para calcular este costo es necesario saber el espacio que requerirá la máquina y el precio por m^2.Para este proceso, no sólo es la máquina principal, si no que se deberá añadir el espacio de la bomba de agua, del controlador y del tanque del abrasivo.

En el caso de estudio de ésta tesis se utilizó el diagrama de la Figura 5. (20), este diagrama es de la Z-813, fabricada por WARDJet. Se utiliza esta imagen dado a que el área de corte neta, la presión y la potencia es la misma utilizada por la Mach 2 de FlowCorp.

El costo supuesto del espacio del edificio a utilizar en este caso es de $3,300 por m^2 y fue obtenido de (21) .

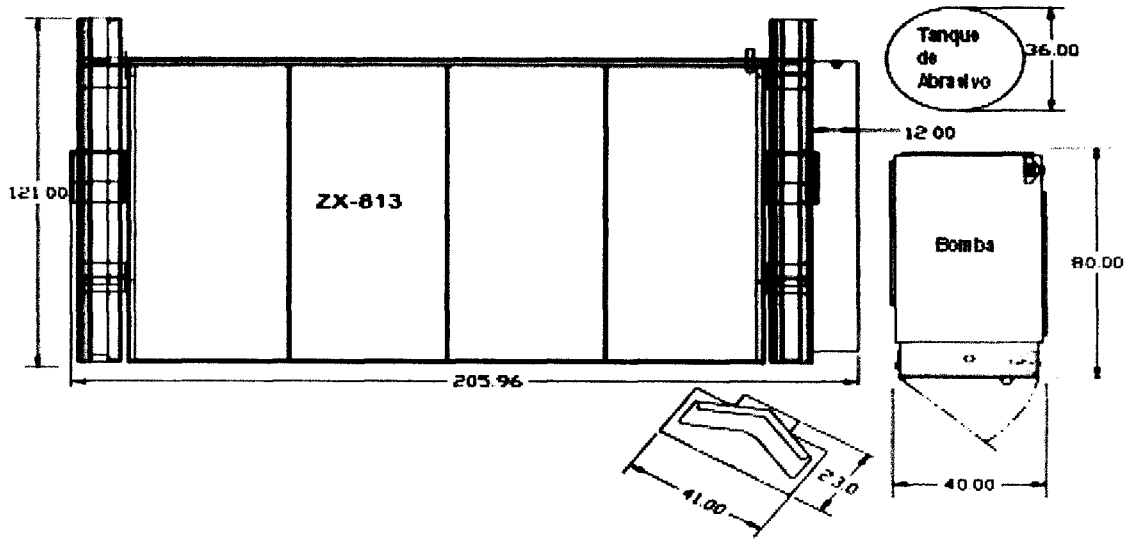

Figura 5. Diseño del Espacio Necesario del Edificio Máquina AWJ.

El cálculo del costo de edificio utiliza la siguiente fórmula:

$$Costo\ Edificio = \frac{Espacio\ Requerido * Precio\ del\ Espacio\ del\ Edificio}{Vida\ de\ Recuperación\ del\ Edificio}$$

Ecuación 19. Costo de Edificio.

Para la obtención del costo anual es necesario dividir este resultado entre la vida contable del edificio.

Si el equipo es no dedicado, el costo anual se deberá multiplicar por la fracción de año necesaria para producir el número de partes.

El costo por pieza será el anual dividido entre el número de piezas producidas al año

3.2.3.2.5. Costo de Instalación y Equipo Auxiliar.

Para los costos por pieza se deberá dividir el costo anual en equipo auxiliar y en instalación entre la producción anual.

Se manejan los mismos porcentajes supuesto para los costos de instalación y equipo auxiliar para los 3 procesos, pero los valores se modifican debido a que depende directamente del precio del equipo.

3.2.3.2.6. Costo de Mantenimiento.

El costo de mantenimiento es un porcentaje del costo total de todo el equipo, es decir, la suma de la máquina, las herramientas, el equipo auxiliar y el edificio. En este caso se supuso de un 5%.

Si la máquina es no dedicada se deberá multiplicar el costo anual por la fracción del año que se utiliza.

El costo por pieza será el costo anual dividido entre el número de piezas fabricadas.

Dado a que se supone el mismo porcentaje para el mantenimiento, este costo se calcula también de la misma manera en los 3 procesos.

3.2.3.2.7. Costos de Capital.

El costo de capital anual, se basa en la suposición que el dinero necesitado para toda la inversión inicial se obtiene por medio de un préstamo y se deberán pagar los intereses en las respectivas vidas contables para cada una de estas inversiones.

La fórmula siguiente se deberá aplicar a cada uno de los costos anuales de edificio, herramientas y el resultado de la suma de maquinaria, instalación y equipo auxiliar. Cada una de ellas se suma para obtener el costo de capital anual.

Se debe añadir a esta suma el costo de capital de trabajo, el cuál es la cantidad de dinero en inventarios, nóminas de sueldo y otros gastos a corto plazo que se necesitan para mantener el negocio. Generalmente se asume que la inversión de este costo equivale a 3 meses del total de los costos variables.

$$Costos\ de\ Capital = Inversión\ Total * \frac{R * (1+R)^N}{(1+R)^N - 1} - \frac{1}{N}$$

Ecuación 20. Costos de Capital.

En la ecuación anterior, R es la tasa de recuperación del capital, supuesto del 10%, y N son las vidas contables de cada variable.

Si el equipo es no dedicado, se deberá multiplicar la suma del costo de capital, excepto herramienta, por la fracción del año que el equipo es utilizado. Esto es debido a que no hay cambios de herramientas entre diferentes piezas a fabricar.

La suma de los costos variables y fijos nos dará el costo de producción para la pieza deseada. Este precio puede disminuir manipulando diferentes parámetros. Esto se podrá observar en la sección de resultados de los modelos en el capítulo 6 de esta tesis.

4. Modelo de Costos para el Corte por Láser.

4.1 Características del Proceso.

Los cortadores láseres son dispositivos que utilizan esta tecnología. Esta se basa en el uso específico de una emisión inducida o estimulada para generar un haz de luz coherente en un medio adecuado y con el tamaño, la forma y la pureza controlados. El propósito de lo anterior es generar el corte de diversos materiales. (22)

El corte por láser funciona enfocando una energía óptica en la superficie de la pieza. El rayo altamente específico y la alta densidad de energía derrite y evapora en pequeñas porciones la pieza de trabajo de una manera controlada. (23) El material es derretido, quemado o evaporizado, otorgando así gran exactitud en los cortes ya que trabaja con una precisión inferior al milímetro.

Dado que el corte por láser se produce por la absorción de la energía del rayo, el comportamiento frente a esta absorción es en función del material, de su estado superficial, de la longitud de onda del láser y de la temperatura (La absorción aumenta drásticamente al alcanzar la temperatura de fusión del material). (24)

La conductividad térmica y la reflectancia del material juegan un papel muy importante. Si el calor se difunde rápidamente (Oro, plata, cobre), el corte se ve dificultado. Lo mismo sucede con materiales muy reflectantes (Aluminio), que requieren el empleo de elevadas potencias.

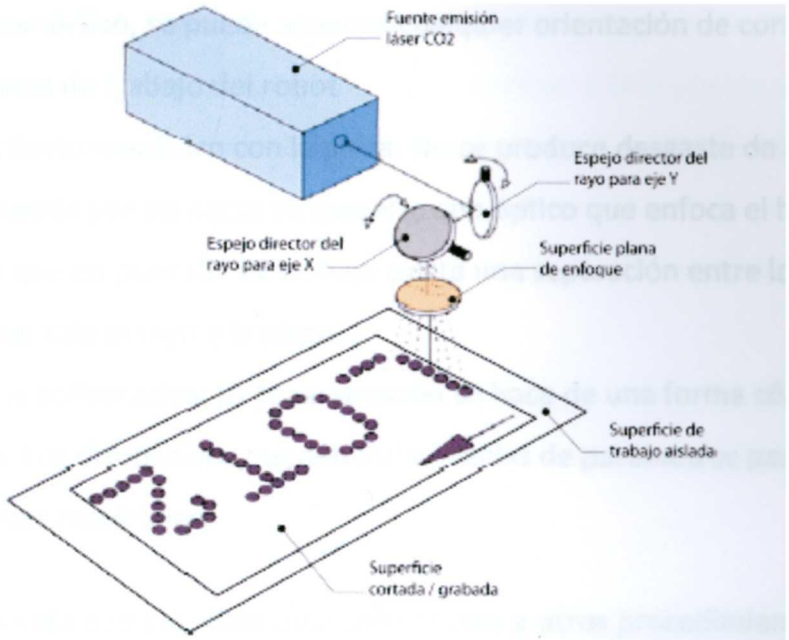

Figura 6. Esquema de Funcionamiento de Máquina de Corte Láser CO2. **(22)**

Las cualidades inherentes al proceso de corte con láser, son lo suficientemente atractivas y singulares como para explicar el elevado número de aplicaciones de ésta técnica en la industria y la creciente implantación como herramienta que sustituye a los métodos tradicionales en virtud de sus ventajas. (25) Entre las cuales se encuentran (26):

1. Posibilidad de actuar sobre zonas de tamaño reducido: El diámetro del spot que incide sobre la superficie a cortar tiene un valor medio entorno a las 3 décimas de milímetro. Esto acarrea la consecución de surcos de corte muy estrechos de dimensiones muy parecidas a las del propio spot o ligeramente superiores. Asimismo, las distorsiones que origina en el material son mínimas.
2. Accesibilidad: La posibilidad de transmitir el haz láser mediante fibra óptica hace que, montado un cabezal de corte en un robot

antropomórfico, se pueda alcanzar cualquier orientación de corte dentro del campo de trabajo del robot

3. No contacto mecánico con la pieza: No se produce desgaste de la herramienta por contacto ya que el grupo óptico que enfoca el haz origina que en posición de trabajo exista una separación entre la boquilla de la que sale el rayo y la pieza.
4. Sistemas sofisticados: La programación se hace de una forma cómoda y precisa. Los dispositivos pueden incluir tablas de parámetros para cortar diferentes materiales.

La gran desventaja que presenta este corte frente a otros procedimientos reside principalmente en el espesor máximo que se puede cortar. Otros procedimientos como el oxicorte, corte por plasma, electroerosión o corte por chorro de agua permiten cortar espesores mayores que el láser. Solamente el corte por punzonado tiene la limitación de cortar espesores menores que los que corta el láser.

Otra desventaja que presenta es el alto consumo de energía requerido para su funcionamiento, además de presentar ciertas consideraciones para algunos tipos de material. Por ejemplo, al cortar madera se requiere de una alta calibración de la potencia del láser para evitar que el material se dañe o queme.

También en el corte láser de materiales sintéticos se generan gases tóxicos, que a su vez son costosos de aspirar, tratar y eliminar. Para metales recubiertos de material sintético, el corte por chorro de agua representa frecuentemente el único procedimiento conveniente de corte, debido a que no conduce a ninguna alteración negativa de la superficie.

Entre los láseres más usados en la industrial se encuentran el de CO2 y el de Nd:YAG como gases auxiliares. El primero, con emisión a 10.6 µm, se utiliza en la mayoría de los procesos industriales, tales como el grabado de aluminio anodizado, vidrio, acrílico, corte de metales, etc.

En la siguiente figura, se observa la boquilla del cortador láser y la ubicación de la entrada del gas auxiliar para el corte.

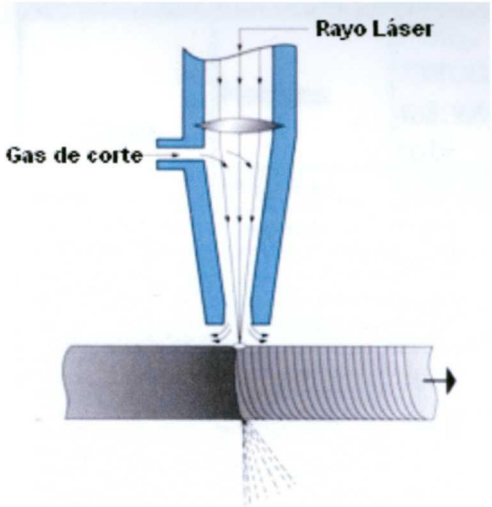

Figura 7. Boquilla de la Cortadora Láser. **(19)**

Entre las ventajas que presenta el láser de CO2 se encuentran su alta eficiencia de operación de alrededor del 15%, su versatilidad para procesamiento de un amplio rango de materiales y su alta calidad del haz.

Por otra parte, el láser de Nd:YAG opera a 1.06 µm. Longitud de onda a la cual los metales presentan una alta absorción, por lo tanto sus aplicaciones principales se encuentran en grabado y corte de metales. Sus características principales son eficiencia de conversión eléctrica-óptica del 4%, la calidad del haz regular y generalmente son de mayor costo que el de CO2. (27)

En la figura 8 podemos observar algunas aplicaciones comunes para cada tipo de gas. (28)

Las principales aplicaciones del láser se encuentran en las áreas de: grabado, corte, perforación y soldadura. (29) Una de las principales aplicaciones del corte con láser se encuentra en la fabricación de vehículos, corte de chasis, además del corte de silicio para fabricación de celdas solares (30).

Aplicación		Tipo
Corte	Metales	PCO_2, $CWCO_2$, Nd:YAG, rubí
	Plásticos	$CWCO_2$
	Cerámicos	PCO_2
Barrenado	Metales	PCO_2, Nd:YAG, Nd:vidrio, rubí
	Plásticos	Excimer
Grabado	Metales	PCO2, Nd:YAG
	Plásticos	Excimer
	Cerámicos	Excimer
Tratamiento superficial	Metales	$CWCO_2$
Soldadura	Metales	PCO_2, $CWCO_2$, Nd:YAG, Nd:vidrio, rubí

P: por pulsos, CW: onda continua.

Figura 8. Aplicaciones Generales del Laser en Manufactura. **(23)**

A continuación se analizarán el modelo de costos a detalle para el corte mediante este método. Durante el desarrollo del método se omitirá el cálculo de los parámetros que generan el mismo valor o se obtienen de la misma manera que en el capítulo anterior.

4.2 Modelo de Costos.

4.2.1. Entradas

4.2.1.2. Material de la Pieza.

En este caso se utiliza también aluminio para el modelo de costos, pero el análisis se puede obtener para los 6 tipos de materiales que se muestran en la tabla 4.

El tipo de material influye en la potencia del láser necesaria y en la velocidad de corte que se requiere para la obtención del tiempo de ciclo. Esto se observa más adelante en la sección de parámetros estimados.

Especificaciones del Material		
Tipo de Material	2	1= Acero Inoxidable 2= Aluminio 3= Acero 4= Titanio 5= Madera comp 6=Epoxy

Tabla 4. Especificaciones del Materia Corte por Láser.

4.2.1.3. Parámetros de Proceso.

Los parámetros del proceso para el corte con láser se encuentran en la tabla 5.

El porcentaje de rechazo, la utilización de la máquina y el tiempo de montaje son variables supuestas.

El espacio requerido es obtenido mediante el mapa de arreglo de máquina, el cual se observa más adelante en la sección 4.2.3.2.3.

El número de trabajadores es igual al número de máquinas el cual se obtiene con la ecuación 11 presentada en el capítulo anterior.

Parámetros de Proceso		
Gas Utilizado	CO_2	
Porcentaje de Rechazo	0.5%	%
Utilización de la Máquina	85%	%
Tiempo de Montaje	14	Min
Equipo Dedicado	1	[1=S 0=N]
Trabajadores por Estación	1	
Espacio Requerido	56.54	m2

Tabla 5. Parámetros de Proceso Corte por Láser.

4.2.1.4. Parámetros Exógenos.

Para estos parámetros los cambios en este método son en los consumibles. En el corte por láser, se necesitan cambiar los tubos del laser y los espejos que reflejan el haz de luz. El precio de cada uno de ellos es obtenido de (31).

Entrada Factores Exógenos		
Salarios por Trabajador	$ 9.82	$/hora
Prestaciones	35%	%
Salarios Directos Total	$ 13.26	$/hora
Salarios Indirectos	$ 175,500.00	$/año
Días Trabajados por Año	264	días

Horas Trabajadas por Días	16	hrs
Tasa de Recuperación de Capital	10%	anual
Periodo de Capital de Trabajo	0.25	años
Vida de Recuperación del Edificio	10	años
Depreciación del Edificio	10	años
Vida de Recuperación de las Máquinas	5	años
Vida del Tubo	3000	hrs
Vida de Los Espejos	700	hrs
Vida de las Boquillas	100	hrs
Inversión en Equipo Auxiliar	25%	%
Costo de Instalación del Equipo	10%	%
Costo de Mantenimiento	5%	% de Maq Hta Aux Edif.
Costo de Edificio	$ 3,300.00	$/m^2
Costo de la Maquina	$ 1.029.200,00	$
Tipo de Cambio	$ 12.87	$
Precios de Servicios		
Precio Agua	6.5	m3
Precio Electricidad	0.8199	kWh

Precios de Consumibles		
Costo del Tubo Laser	$ 63,038.50	$
Costo del Gas	$ 166.47	$/lt.
Costo de Espejos	$ 3,151.93	$
Costo de las Boquillas	$ 63.68	$

Tabla 6. Parámetros Exógenos Corte por Láser.

4.2.2. Parámetros Estimados.

Uno de los más importantes de estos parámetros es la potencia del láser necesaria para realizar el corte. Esta se obtuvo mediante la Tabla A.3 que se encuentra dentro del apéndice A. (32).

La tabla señala la relación del tipo de material y el espesor con la potencia para el maquinado. Esta tabla es válida cuando se utiliza CO_2 como gas auxiliar al corte.

Como se observa para el aluminio con espesor de 1 mm son necesarios 1000 W. En el caso del corte por laser la potencia que se maneja en el mercado es de 1Kw, por lo que se utiliza esta potencia de salida para esta tesis. Esta máquina genera un eficiencia eléctrica del 10%, por lo que su consumo eléctrico es de 10Kw/h, este dato es obtenido de proveedores.

Para el avance se utiliza la Tabla A.4 ubicada en el apéndice A (32). En ella se encuentran diferentes materiales, espesores y el avance recomendado para el corte en cada uno de ellos en pulgadas por minuto. Estos valores también son validos cuando se utiliza un láser de CO_2.

El tiempo de corte se obtiene de la misma manera que en el capítulo anterior mediante la ecuación 9. El tiempo de ciclo se calcula sumando el tiempo de montaje con el tiempo de corte obtenido.

Para el consumo de agua y del gas auxiliar se utiliza la hoja de especificación de la máquina Lasermak Laser Cutting Machinery. La cual nos da una potencia final de 1000 Watts. Estos datos fueron dados de Ermaksan proveedor de máquinas de corte por láser, entre otros proveedores que coincidían con estos datos. (33) (34) (35)

El porcentaje de ocupación de la máquina se calcula mediante la ecuación 11, descrita en el capítulo anterior. Con este porcentaje se obtiene el número de maquinaria necesaria para el cumplimiento de la producción anual.

La fracción del año en que la máquina es ocupada se calcula de la misma manera que en el capítulo anterior por medio de la ecuación 12.

4.2.3. Salidas.

4.2.3.1. Costos Variables.

4.2.3.1.2. Costos de Servicios.

Para este método de corte se encuentran 3 tipos de consumibles:

- El agua que utiliza para el enfriamiento del laser y la pieza.
- La energía para poder generar el haz del láser.
- El gas auxiliar necesario para realizar el corte, en el caso de esta tesis se utiliza CO_2.

Los consumos por minuto de cada uno de estos servicios se encuentran en la sección de parámetros estimados.

Los costos del agua y la electricidad se obtienen de las mismas fuentes que en el capítulo 3. El precio de CO_2 por litro se obtuvo de (36).

Con la ecuación 14 y estos parámetros, se determina el costo anual de servicios, pero hay modificación en esta ecuación. La variable G es el consumo de gas, en m^3 por minuto, que se utilizan para el corte y C_G es el costo del gas en $\$/m^3$.

Este costo se divide entre el número total de piezas producidas para encontrar el costo por pieza.

4.2.3.1.3. Costos de Salarios Directos.

La ecuación 15 nos da el resultado de este costo. Se debe de tomar en cuenta que el tiempo a utilizar en esta fórmula es el tiempo total del ciclo y no el tiempo de corte de la pieza.

Este costo se modifica al respecto del modelo anterior debido a que el tiempo de ciclo varía. Mientras mayor sea este tiempo, mayor será este costo.

4.2.3.2. Costos Fijos

4.2.3.2.1. Costo de Máquina.

Esta máquina tiene una inversión inicial de 50,000 dólares (37); es decir, $643,250. A este costo se le agregó 40% para los gastos de envío e importación de la máquina. Por lo que su costo final es de $ 900,550. Con este dato de inversión inicial se utiliza la ecuación 16 para encontrar el costo anual de la máquina.

El número de máquinas es el entero superior obtenido de la proporción de ocupación de la máquina, calculado en los parámetros estimados.

Si el equipo es no dedicado, se multiplicará el costo anual obtenido por la fracción de año que está ocupada la máquina para la producción de la pieza.

Este costo final se divide entre la producción anual para la obtención del costo por pieza.

4.2.3.2.2. Costos de Herramientas.

Para este proceso los consumibles que se deben de tener en cuenta son la boquilla del láser, el tubo y los espejos que reflejan el haz del rayo.

Los espejos generalmente tienen una vida de entre 600 y 700 horas (38) pero será más larga si se tiene el mantenimiento necesario. Los dos componentes que más necesitan limpieza son el lente de focal y el espejo sobre el lente. Deberán de limpiarse con alcohol después de cada turno. El tubo tiene una vida de 3000 horas y por último las boquillas tienen una vida de 100. (31)

El precio de cada refacción se podrá encontrar en la sección de parámetros exógenos previamente mencionados.

El cálculo del número de consumibles que se necesitan para completar la producción es mediante la ecuación 17. Cada uno de estos resultados se multiplica por su respectivo costo. La suma de estos costos se deberá de multiplicar por la cantidad de máquinas que se necesitan según su porción de ocupación.

Para el costo por pieza se utiliza la ecuación 18 para cada una de las refacciones. Con la suma de cada segmento se obtendrá el costo de herramienta total por pieza.

En este proceso, al igual que en el proceso anterior, este parámetro no se ve afectado cuando la maquina sea no dedicada. Esto es debido a que no hay cambios de herramientas.

4.2.3.2.4. Costo de Edificio.

Para la obtención de este costo se usa la ecuación 19. El corte por láser se deberá añadir el espacio del sistema de enfriamiento y del controlador, aparte del que ocupe la máquina. En el caso de estudio de esta tesis se utilizó la información obtenida de (33). En la cual la máquina tiene dimensiones de 10.48m de largo por 5.28m de ancho. Se utiliza el mismo precio que el modelo anterior por m^2, vida de recuperación y depreciación del edificio.

De igual manera si la máquina es no dedicada el costo previamente obtenido se multiplicara por la fracción del año que se utiliza el equipo.

El costo anual de edificio se divide entre la producción anual para formular el costo por pieza.

5. Modelo de Costos para Punzonado.

5.1 Características del Proceso.

El corte por punzonado es un proceso en el cual una ficha de desecho es separada de la pieza de trabajo cuando el punzón entra en el dado. (32) El punzón actúa como la hoja superior de corte y esta fijo arriba de la base, mientras que el dado concéntrico con el punzón, funciona como la hoja inferior y esta fijo en la parte de abajo de la base.

El ensamble de la punzonadora consiste en varios elementos: el punzón, el cabezal ajustable del punzón, la guía del punzón, los separadores y el resorte separador. El diámetro interior de este último es ligeramente mayor que el cuerpo del punzón. Todo el ensamble está localizado sobre un mecanismo de resortes de soporte que se encuentran fijos a la base superior. La figura 9 nos muestra las partes que componen una punzonadora. (19)

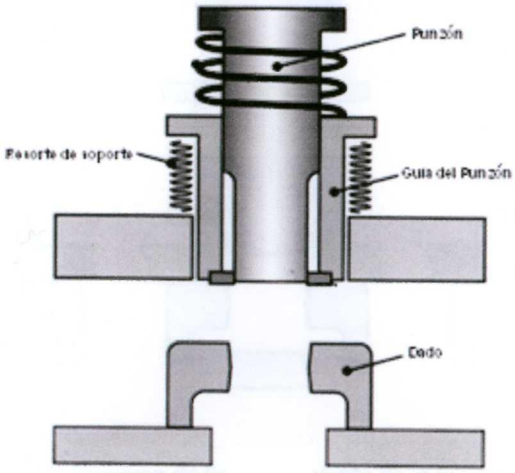

Figura 9. Diagrama de una Punzonadora.

El punzonado involucra forzar un punzón de acero endurecido a través de una pieza de trabajo para perforar un agujero que corresponde al diámetro del punzón. El material de desperdicio normalmente cae a través del dado y una placa reforzada hacia un contenedor.

Este proceso puede ser dividido en 6 fases, como se muestra en la figura 10. (19) En la primera fase, el pistón unido al cilindro hidráulico golpea el cabezal del punzón, provocando que el ensamble baje y sobrepase al mecanismo del resorte de soporte.

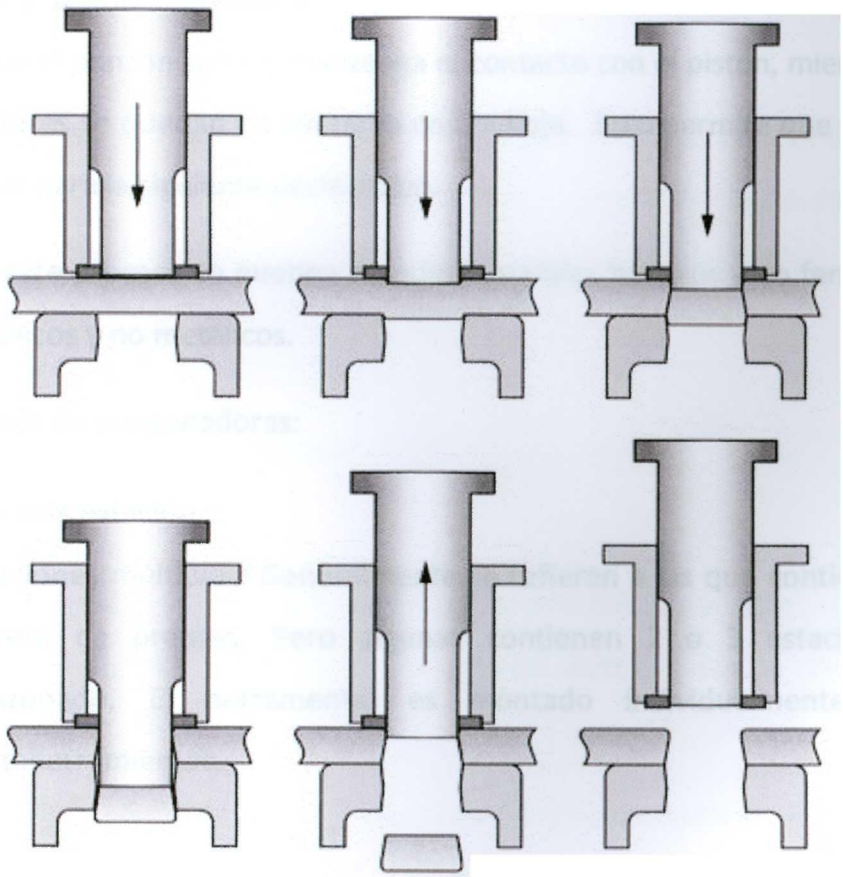

Figura 10. Esquema de Funcionamiento de la Punzonadora.

Mientras el pistón continúa bajando, la fuerza de los resortes empuja el punzón guía contra el material. Esto cumple la función de un soporte aplicando una fuerza de sujeción del 10% al 15% de la fuerza de perforación en la hoja alrededor del agujero de perforación.

Al continuar bajando el pistón el resorte se comprimirá y permitirá al punzón penetrar la superficie del material, esquilando el perfil del agujero perforado. Al material removido se le llama ficha. Para asegurarse que esta ficha no se regrese con el punzón, este atraviesa aun más que el espesor de la placa.

El cilindro y pistón regresan a su posición inicial. El resorte de sujeción se asegura que el punzón suba y mantenga el contacto con el pistón, mientras que los sujetadores se quedan en contacto con la hoja. Esto permite que se pueda reacomodar para la siguiente perforación.

Mediante este proceso se pueden maquinar metales ferrosos y no ferrosos, así como metálicos y no metálicos.

Hay dos tipos de punzonadoras:

- Una sola estación
- Estaciones múltiples: Generalmente se refieren a las que contienen una torrera de prensas. Pero algunas contienen 2 o 3 estaciones de punzonado. El herramental es montado individualmente en el portaherramientas.

El punzonado es rápido y económico, ya que pueden ser perforados variedades de formas, tamaños y en distintos materiales mediante una herramienta estándar. Normalmente son fabricadas con acero o carburos. (32)

Algunas aplicaciones de este proceso se encuentran en la producción de equipo de construcción, maquinaria agrícola, camiones, muebles de oficina, máquinas expendedoras y metales electrónicos. (39)

5.2 Modelo de Costos.

5.2.1. Entradas

5.2.1.2. Material de la Pieza.

El dato a agregar de este inciso es la resistencia a la tracción. La cual es la resistencia que ofrece un material a la rotura cuando está sometido a una resistencia de tracción. Para el caso del aluminio 6061 es de 310 MPa.

5.2.1.3. Parámetros de Proceso.

La variable necesaria es el claro, es decir, la diferencia en tamaños entre el punzón y el orificio del dado. Hay dos diferentes métodos que se utilizan para determinar el claro (40):

1. Cuando se requiere un agujero preciso en la hoja metálica y se desecha la masa, el punzón deberá ser del tamaño del orificio. El diámetro que deberá tener el dado se obtiene mediante la suma del claro al tamaño del punzón.

2. Cuando se requiere precisión de la masa, el dado deberá ser del tamaño del agujero que se necesita. El tamaño del punzón es la resta del claro al dado.

Hay que señalar, que materiales endurecidos tienen un mayor claro que los materiales blandos. (41)

En la Tabla A.5 (42) ubicada en el apéndice A, encontramos el claro recomendado para diferentes tipos de espesores y materiales.

Los punzados por herramientas son obtenidos del diseño del maquinado de la pieza. Se utiliza 110 punzadas para cada uno de los arcos y 8 para las líneas centrales, estos son realizados con un punzón de 5mm. Se tiene también 5 cortes hechos con un punzón rectangular.

Parámetros de Proceso		
Porcentaje de Rechazo	0.5%	%
Utilización de la Máquina	85%	%
Tiempo de Montaje	14	Min
Equipo Dedicado	1	[1=S 0=N]
Trabajadores por Estación	1	
Espacio Requerido	35.6	m2
Claro	0.02	
Punzados de la herramienta circular	590	Golpes
Punzados de la herramienta rectangular	5	Golpes

Tabla 7. Parámetros de Proceso Punzonado

5.2.1.4. Parámetros Exógenos.

La máquina utilizada es una Amada AC255NT de 22 toneladas, y su precio es obtenido de (43).

Máquina	AC255NT
Tonelaje	22
Espesor máximo de hoja	0.12"
Intervalo de viaje	50"x 50"
Máxima razón de golpes	Eje X 390 gpm Eje Y 275gpm
Precisión	0.003"
Costo	$ 275.500,00

Son dos las herramientas que se manejan para el maquinado, un punzón circular de 5mm de diámetro y un punzón rectangular de 15mm. Cuyos precios se obtuvieron con la cotización realizada al proveedor de las refacciones de Amada. (44)

Parámetros Exógenos		
Salarios por Trabajador	$ 9.82	$/hora
Prestaciones	35%	%
Salarios Directos Total	$ 13.26	$/hora
Salarios Indirectos	$ 175,500	$/año
Días Trabajados por Año	264	Días
Horas Trabajadas por Días	16	Hrs
Tasa de Recuperación de Capital	10%	Anual
Periodo de Capital de Trabajo	0.25	Años
Vida de Recuperación del Edificio	10	Años
Depreciación del Edificio	10	Años
Vida de Recuperación de las Máquinas	5	Años
Vida del Punzón y Dado	250000	Golpes
Diámetro del Dado	5	Mm

Inversión en Equipo Auxiliar	25%	% de Maq.
Costo de Instalación del Equipo	10%	% de Maq.
Costo de Mantenimiento	5%	% de Maq Hta Aux Edif.
Costo de Edificio	$ 3,300	$/m^2
Costo de la Máquina	$ 3,544,308	$
Tipo de Cambio	$ 12.87	$
Precios de Servicios		
Precio Electricidad	0.8199	kWh
Precios de Consumibles		
Costo de Punzón Circular	$ 887.69	$
Costo del Dado Circular	$ 205.84	$
Costo del Punzón Rectangular	$ 1,402.29	$
Costo del dado Rectangular	$ 476.01	$

Tabla 8. Parámetros Exógenos Punzonado.

5.2.2. Parámetros Estimados.

La fuerza es la necesaria para realizar el corte se calcula con la fórmula (45):

$$F = 0.7 * Max.Resist.a\ la\ Tracción * h * L_C$$

Ecuación 21. Fuerza Necesaria para Punzonar.

Donde h es el espesor del material y Lc es la longitud de corte. El tiempo de corte se obtuvo tomando el tiempo se ciclo del maquinado experimental. Ya que

la máquina es automática el cambio de herramientas se toma en cuenta dentro de este tiempo.

Dado a que lo que se necesita es la pieza y no la lámina, el diámetro del dado se obtiene mediante la resta del claro al diámetro del dado, como se menciono en la sección anterior.

5.2.3. Salidas.

5.2.3.1. Costos Variables.

5.2.3.1.2. Costos de Servicios.

El único costo de servicio para este proceso es el costo de la electricidad, el cual se obtuvo de las especificaciones de la máquina. Ésta tiene un consumo de 10Kw por hora. Se utiliza la ecuación 14 para su cálculo solo tomando en cuenta los parámetros de consumo eléctrico.

5.2.3.1. Costos Fijos.

5.2.3.2.1. Costo de Máquina.

El costo inicial del equipo es de 275,500 dólares (37); es decir, $3, 544,308. Con este dato de inversión inicial se utiliza la ecuación 16 para encontrar el costo anual de la máquina.

Si el equipo es no dedicado, se multiplicará el costo anual obtenido por la fracción de año que está ocupada la máquina para la producción de la pieza.

Este costo final se divide entre la producción anual para la obtención del costo por pieza.

5.2.3.1.2. Costos de Herramientas.

Se utiliza la ecuación 17 para la obtención del número de herramientas necesarias para la producción. Para el costo anual se multiplica el número de cada herramienta por su costo.

Con la ecuación 18 obtenemos el costo por pieza de cada herramienta y se deberá sumar para obtener un costo total.

Dado que en el proceso de punzonado se utilizan diferentes herramientas, cuando la máquina es no dedicada el costo anual de cada herramienta necesaria se multiplica por la fracción de año que se utiliza la máquina para fabricar el volumen de piezas anuales. Y se maneja de la misma manera para el costo por pieza

5.2.3.2.4. Costo de Edificio.

Para la obtención de este costo se usa la ecuación 19. El espacio ocupado por la máquina se calculó mediante la medición de la misma, la cual se encuentra en el

laboratorio. Ocupando un área de 6.58m * 5.40m. Con lo que se obtiene un zona de 35.6m^2.

De igual manera si la máquina es no dedicada el costo previamente obtenido se multiplicara por la fracción del año que se utiliza el equipo.

El costo anual de edificio se divide entre la producción anual para formular el costo por pieza.

6. Resultados de los Modelos.

6.1 Corte por Chorro de Agua Abrasivo.

6.1.1 Parámetros de Proceso.

Con estos parámetros podemos obtener los cálculos intermedios necesarios para la obtención de los costos.

Resolviendo la ecuación 9, se observa que, la velocidad de corte depende de diversos factores. Uno de ellos es la calidad superficial deseada para la pieza. En la siguiente grafica muestra la influencia de este factor en la velocidad.

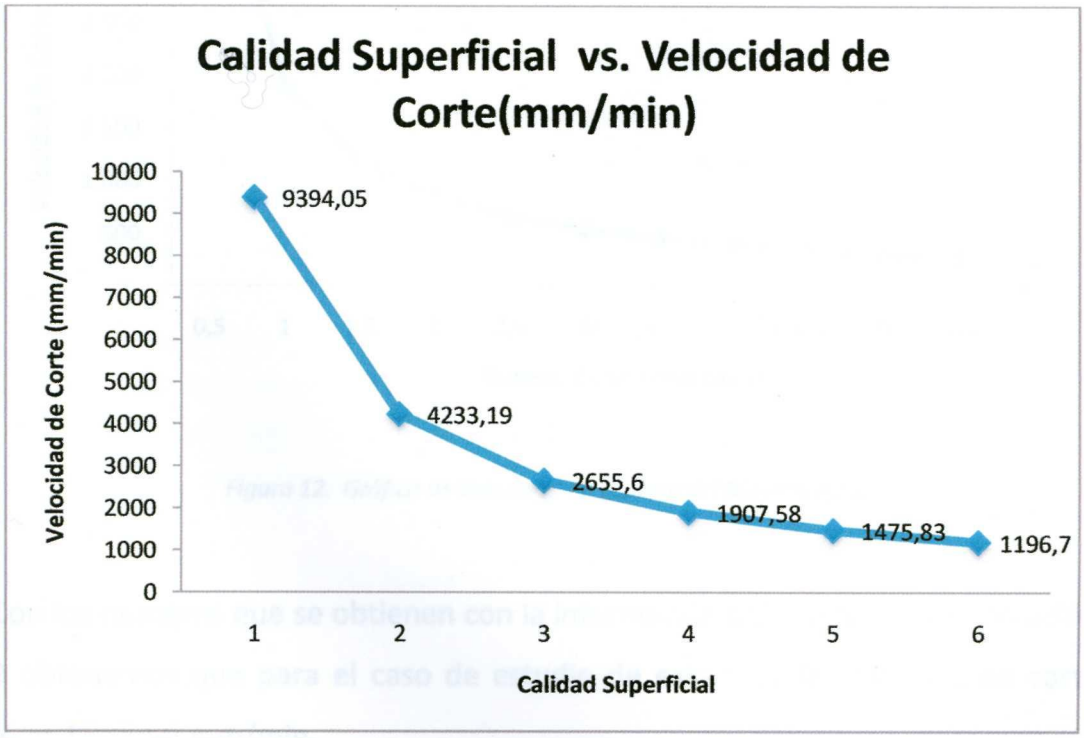

Figura 11. Velocidad de Corte Vs. Calidad AWJ.

Se observa que a medida que aumenta la calidad superficial, la velocidad de corte es menor. Esto se debe a que se necesita un corte más fino para un mejor acabado.

Otro factor importante es el espesor del material, el cual tiene mucha influencia en la velocidad de corte. En la siguiente gráfica se puede observar que a medida que el espesor aumenta, la velocidad de corte que se debe de emplear disminuye exponencialmente.

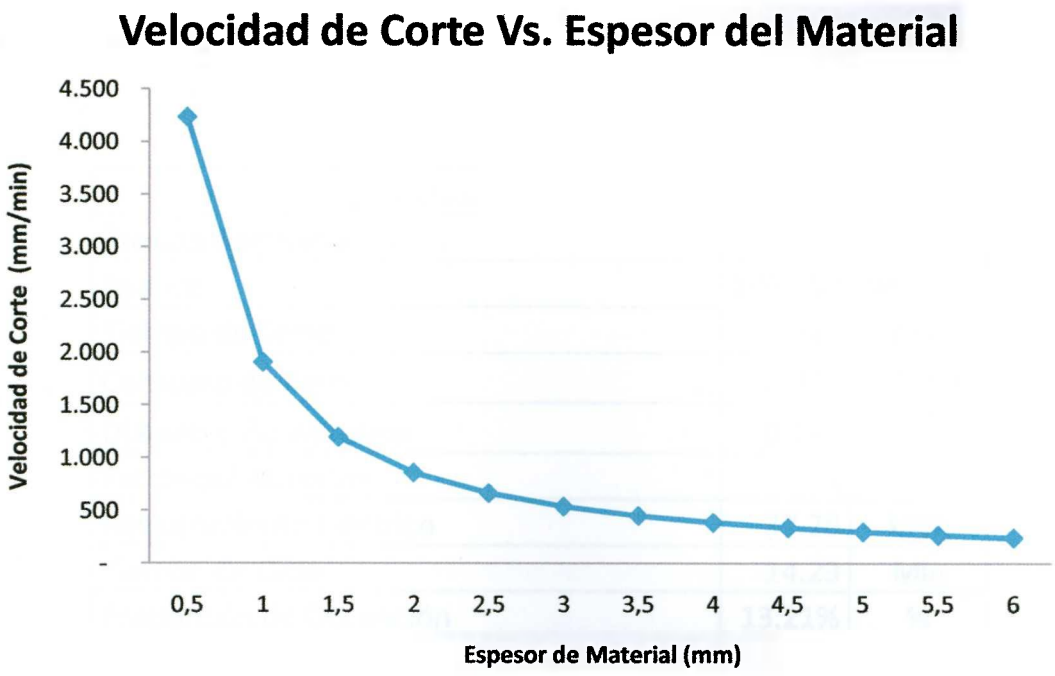

Figura 12. Gráfica de Velocidad vs. Espesor del Materia AWJ.

Con los números que se obtienen con la información del capítulo 3 y la ecuación 9 obtenemos que para el caso de estudio de esta tesis la velocidad de corte $V_c = 1907.58$ mm/min.

Con esta velocidad y la ecuación 10 se encuentra el tiempo de corte necesario para la pieza de $T_c = 0.225$ min. Por lo que tenemos un tiempo de ciclo $T_T = 14.225$ min.

El porcentaje de utilización de la máquina, usando la ecuación 11, para este caso es de 13.21%, esto es con la producción anual de 2000 piezas.

Por último obtenemos, con la ecuación 12, la fracción de año en que la máquina se ocupa para realizar la producción $FAOM = 0.112$ años ó 29 días y 11 horas. El valor de esta fracción es el que se debe de multiplicar en el caso que el equipo sea no dedicado.

Cálculos Intermedios		
Presión Necesaria	344.730	MPa
Avance	1907.58	mm/min
Tiempo de Corte	0.225	Min
Consumo de Agua	0.005	m^3/min
Diámetro del Abrasivo	0.177	Mm
Factor del Abrasivo	1	
Requerimiento Eléctrico	37.28	kWh
Tiempo de Ciclo	14.23	Min
Proporción de Ocupación	13.21%	%
Número de Máquinas	1	
Fracción del Año de la Maquina Ocupada	0.112	Años
Constante del Sistema	788	

Tabla 9. Cálculos Intermedios AWJ

6.1.2 Salidas

6.1.2.1 Costos Variables

Como se explicó anteriormente este costo depende directamente del volumen de producción anual y del tiempo de ciclo. Si se realizara el cambio del equipo a no dedicado, estos costos permanecerán constantes.

Para obtener los costos anuales, se multiplica el costo por pieza por el volumen de producción en cada uno de estas variables.

El total de los costos variables resulta en $72,374.95 anuales. Lo que equivale a $36.18 por pieza o un 10.39% del valor total del producto.

A continuación se desglosará este resultado en los 3 tipos de costos variables.

6.1.2.1.1 Costos de Material

Utilizando la ecuación 13 con las variables anteriormente mencionadas, los resultados que se obtienen son que el costo por pieza es de $ 24.77, es decir el 7.11% del costo total. Con un costo anual estimado es de $ 49,540.43.

Este costo es igual para los tres modelos, dado a que no se utiliza el mismo material para realizar la comparación

COSTOS VARIABLES		
Costos de Material		
Peso del Material	0.09	kg

Precio del Material	$	249.07	$/kg
Tasa de Desperdicio		10.0%	%
Tasa de Rechazo		0.5%	%
Material Total	$	0.10	kg
Desperdicio Total	$	0.01	kg
Material	$	24.77	$/pza.

Tabla 10. Costos de Material AWJ.

6.1.2.1.2. Costo de Servicio

Mediante la ecuación 14, se obtiene un resultado anual de $15,428.03. Con un costo por pieza de $7.71, que equivale al 2.22% del costo del producto. Para esto la energía se multiplica por el tiempo total de ciclo, mientras que el agua y el abrasivo son por el tiempo de corte. El costo se calcula de la misma manera para los 3 procesos.

Costos de servicio			
Tiempo de Corte		0.225	Min
Electricidad Requerida		37.28	kWh
Precio de Electricidad	$	0.82	$/kWh
Consumo de Agua		0.00102	m^3/min
Precio de Agua	$	6.50	$/$m^3$
Consumo de Abrasivo		0.5443	kg/min
Precio del Abrasivo	$	3.80	$/kg
Servicio	$	7.71	$/pza.

Tabla 11. Costos de servicio AWJ

6.1.2.1.3. Costos de Salarios Directos

La ecuación 15 estima el valor del costo por pieza. En este caso el costo es de $3.70 o el 1.06% del valor total por producto maquinado. Anualmente proporciona un costo de $7,396.48.

Costos de Trabajo Directo		
Tiempo de Ciclo	14.22541591	Min
Salario	$ 13.26	$/hora
Número de Trabajadores	1	
Productividad	85%	%
Trabajo Directo	$ 3.70	$/pza.

Tabla 12. Costos de Salarios Directos AWJ

6.1.2.2. Costos Fijos.

Estos costos ocupan el 89.61% del costo total de fabricación. Esto quiere decir que son los que más influyen al momento de su fabricación.

Su suma tiene un costo anual de $630,131.08 y un costo por pieza de $312.02.

En la siguiente sección se explicará la influencia de cada uno de estos costos sobre el precio final.

6.1.2.2.1. Costo de Máquina.

Utilizando la ecuación 16, suponiendo que la máquina es dedicada, se obtiene un costo anual de $231, 570 y un costo por pieza de $115.79. Ocupando el 33.25% del costo total de fabricación de la pieza (Tabla 13).

Aunque se intente reducir este costo incrementando la producción anual, se conoce que en los costos fijos no influye esta variable. Por ejemplo, si se duplica la producción inicial, el costo anual no varía y sigue ocupando más del 30% del costo del producto.

En producciones pequeñas es más conveniente que el equipo sea no dedicado, ya que esto reducirá el costo anual de la máquina. Si el equipo se maneja de esta manera este valor es de $25,995.74 Con esto tenemos una reducción anual de más $205,574.26.

El tiempo restante que no se ocupa, en este caso el 86.79%, se podrá utilizar a la producción de una pieza distinta. Con esto se desea evitar el cargo del tiempo de ocio de la máquina al costo total de fabricación de la pieza.

Costos de maquina principal			
	Dedicado	No Dedicado	
Inversión de la Maquina	$	1,157,850.00	$
Número de Máquinas	1		
Vida de la Máquina	5		años
Equipo Dedicado	1		[1=S 0=N]
Costo Anual Máquina	$ 231,570.00	$ 25,995.74	$/año
Costo por Pieza	$ 115.79	$ 13.00	$/pza.

Tabla 13. Costos de Maquina AWJ

6.1.2.2.2. Costos de Herramientas.

El costo de herramientas utilizando la ecuación 16 nos da como resultado que, para lograr la producción en tiempo, se necesita un tubo de mezclado, dos boquillas de zafiro y un kit de refacción para la bomba. Esto tiene un costo anual de $6,303.85.

Para generar este costo por pieza se utiliza la ecuación 17. Con el resultado de la ecuación anterior se logra un costo por pieza de $0.11, es decir, 0.03%.

Costo de Herramental			
Vida del Tubo		100	hrs
Vida de la Boquilla		60	hrs
Vida de las Refacciones de la Bomba		500	hrs
Tubos Anuales		1	
Boquillas Anuales		1	
Refacciones de Bomba anual		1	
Inversión Anual en Herramientas	$	6,303.85	$/año
Costo de Boquilla	$	0.02	$/pza.
Costo de Tubo	$	0.05	$/pza.
Costo de Refacciones de bomba	$	0.03	$/pza.
Costo de la Herramienta	$	0.11	$/pza.

Tabla 14. Costos de Herramental AWJ

El costo de herramientas no se modifica con la dedicación de la máquina debido a que no hay cambio de herramientas cuando se maquina otra pieza.

6.1.2.2.3. Costos de Salarios Indirectos.

Al salario de indirectos mensual de $10,000, que se supone en las variables exógenas, se le sumará el 35% del mismo. Este porcentaje equivale a las prestaciones de ley y el resultado se deberá multiplicar por 13 meses. Esto es porque se cuenta un mes más para aguinaldos. El resultado de este cálculo es un costo anual $175,500. Al dividirlo entre el volumen de producción genera un costo por pieza de $87.75.

Este costo es otro de lo más elevados, ya que ocupa el 25.20% del costo de la pieza y no se ve afectado si la máquina es dedicada o no.

Este costo también es igual en los tres modelos porque se supone que el salario indirecto mensual es el mismo.

6.1.2.2.4. Costo de Edificio.

El área dada la figura 5, es de 24 m^2. Con la fórmula 19 obtenemos el costo del edificio. Para este caso teniendo en cuenta un equipo dedicado obtenemos un costo de edificio de $7,920. Con un costo anual de $792 y un costo por pieza de $0.40. Ocupando un 0.11% del costo total de producción.

Costos de Edificio			
	Dedicado	No Dedicado	
Espacio Requerido	24		m2
Precio del Espacio	$	3,300.00	$/m2
Vida de Recuperación Edificio	10		años
Costo de Edificio	$	7,920.00	$

Depreciación	10		años
Costo Anual	$ 792.00	$ 88.91	$/año
Costo por Partes	$ 0.40	$ 0.04	$/pieza

Tabla 15. Costos de Edificio AWJ.

6.1.2.2.5. Costo de Instalación y Equipo Auxiliar.

Teniendo en cuenta lo dicho en el capítulo 3, es el 25% del costo total de la máquina para el equipo auxiliar y 10% en instalación. Con lo anterior se obtiene un costo por pieza de $28.95 (8.31%) y $57.89 (16.63%) respectivamente.

Instalación y Equipo Auxiliar			
	Dedicado	No Dedicado	
Costo de Máquina	$ 1,157,850.00		$
Inversión Equipo Auxiliar	0.25		%
Inversión en Instalación	0.1		%
Costo Equipo Auxiliar	$ 57,892.50	$ 6,498.93	$/año
Costo Instalación	$ 115,785.00	$ 12,997.87	$/año
Instalación por Pieza	$ 57.89	$ 6.50	$/pza.
Equipo Auxiliar por Pieza	$ 28.95	$ 3.25	$/pza.

Tabla 16. Costos de Instalación y Equipo Auxiliar AWJ.

6.1.2.2.6. Costo de Mantenimiento.

En general se supone el 5% de la suma de máquina, herramienta, edificio y equipo auxiliar. Esto genera un costo anual de $14,847.92. Por lo tanto por pieza de $7.41 (2.13%).

Costo de mantenimiento			
	Dedicado	No Dedicado	
% del total d sum de maq, herra, edif, aux	0.05		%
Costo de Mantenimiento Anual	$ 14,827.92	$ 218.27	$/año
Costo de Mantenimiento por Pieza	$ 7.41	$ 0.11	$/pza.

Tabla 17. Costos de Mantenimiento AWJ.

6.1.2.2.7. Costos de Capital.

Es el interés que generaría si la inversión inicial fuera por un préstamo con un interés del 10%. El costo de capital anual es de $27,411.97, con un costo anual por pieza de $13.73 (3.94%).

Costo de Capital			
	Dedicado	No Dedicado	
Capital de Trabajo	$	1,154.18	$
Maquinas Aux. e Instalación	$ 25,853.77	$ 2,902.31	$
Edificio	$ 49.69	$ 5.58	$
Herramienta	$ 402.17	$ 402.17	$
Sumatoria de Costos de Capital	$ 27,459.81	$ 858.17	$/año
Costos de Capital Pza.	$ 13.73	$ 0.43	$/pza.

Tabla 18. Costos de Capital AWJ.

El costo total de fabricación de la pieza es de $348.20 cuando la máquina es dedicada. En la figura 13 se observa una grafica de la influencia de cada costo en

el precio final de la pieza. El costo de la máquina, costo de salarios indirectos y costo de capital, como se observa, son los que más afectan a la parte.

Para poder producir esta pieza es necesaria una inversión inicial de $4, 869.402. Generando un costo anual de $702,496.02

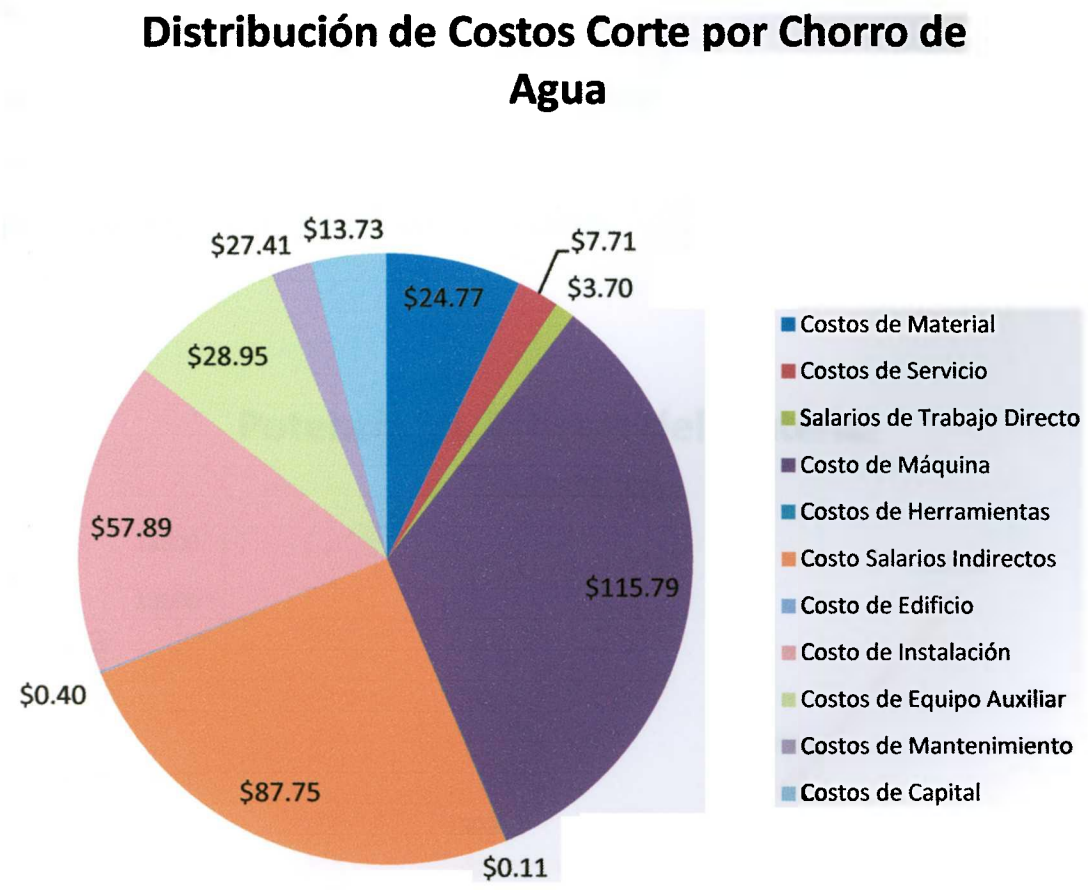

Figura 13. Gráfica de Porcentajes de Costos AWJ.

6.2 Corte por Láser.

6.2.1Parámetros de Proceso.

Para la obtención de la potencia necesaria para el corte se utilizó la Tabla A.3. La cual nos indica que para el aluminio con un espesor de 1mm es necesario mínimo 1 Kw.

En la figura 14 se observa la relación que existe entre la potencia y el espesor de material. A medida que el grosor del material se incrementa se necesita una potencia mayor para poder realizar el corte.

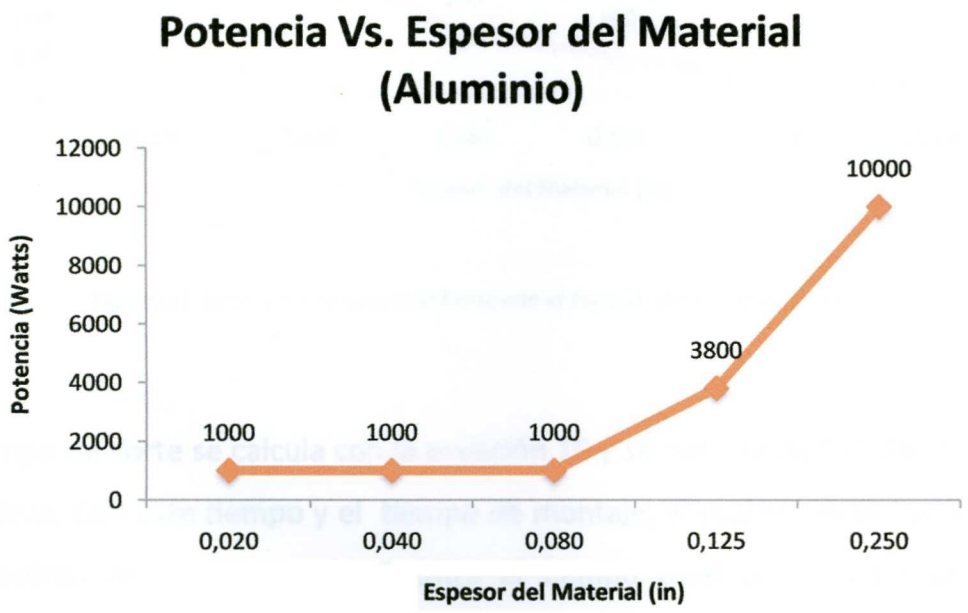

Figura 14. Gráfica Relación Potencia con Espesor de Material (Láser).

En el caso del avance con la tabla A.4 encontramos que con ese espesor y material se puede utilizar una velocidad de 350 pulgadas/min (8890 mm/min). Como se observa en la Figura 15, la velocidad es inversamente proporcional al espesor del material, es decir, a mayor espesor menor es el avance que se puede usar.

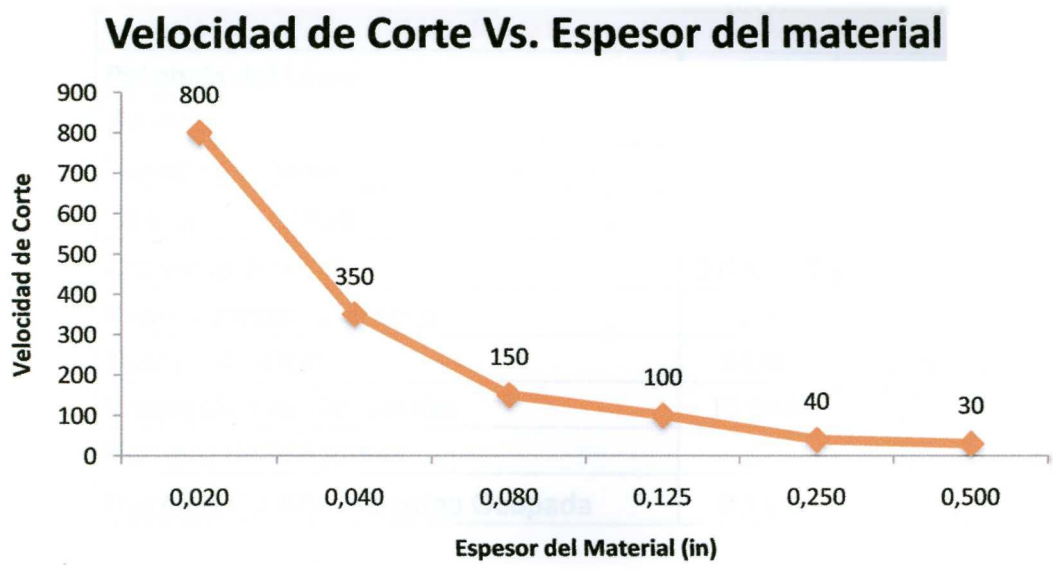

Figura 15. Relación Velocidad de Corte con el Espesor del Material (Láser).

El tiempo de corte se calcula con la ecuación 10 y se obtiene de 0.0484 minutos por pieza. Con este tiempo y el tiempo de montaje, el cual se encuentra en los parámetros de proceso, se encuentra el tiempo total de ciclo de 14.0484 minutos.

El porcentaje de utilización de la maquina calculado con la ecuación 11 es de 13.04% por lo que solo es necesaria una sola para cumplir la producción. Con

este porcentaje de ocupación vemos que la máquina tiene un 86.96% de ocio el cual se podría utilizar en fabricar otra pieza, es decir, que no fuera dedicada.

La fracción de año que se utiliza se calcula con la ecuación 12. Se debe recordar que este es el factor por el que se multiplicará en el caso de un equipo no dedicado.

Cálculos Intermedios		
Potencia del Láser Necesaria	1.0	kWh
Avance	8890	mm/min
Tiempo de Corte	0.0484	min
Consumo de Agua	0.002667	m^3/min
Consumo de CO2	0.000167	m^3/min
Requerimiento Eléctrico	65	kWh
Tiempo de Ciclo	14.05	min
Proporción de Ocupación	13.04%	%
Numero de Máquinas	1	
Fracción del Año Máquina Ocupada	0.111	Años

Tabla 19. Cálculos Intermedios Corte por Láser.

6.2.2. Salidas.

6.2.2.1. Costos Variables.

Para obtener los costos anuales, se multiplica el costo por pieza por el volumen de producción en cada uno de estas variables.

El total de los costos variables resulta en $72,204.22 anuales. Lo que equivale a $36.10 por pieza o un 11.91% del valor total del producto.

A continuación se separara este resultado en costos de material, de servicio y de salarios directos.

6.2.2.1.1. Costos de Servicios.

Para el caso de este corte, el consumo eléctrico es mayor que el proceso anterior, con una diferencia de 3.7 Kw por hora.

Aunque este tipo de manufactura no utiliza el agua como herramienta de corte, el consumo es mayor dado a que se necesita para el enfriamiento del láser y de la pieza. Utilizando la ecuación 14, el costo total de los servicios y los consumibles es de $7.68 por pieza (3.03%). Anualmente registra un costo de $15,359.36

Costos de servicio		
Tiempo de Corte	0.0484	min
Electricidad Requerida	40	kWh
Precio de Electricidad	$ 0.82	kWh
Consumo de Agua	0.002667	m3/min
Precio de Agua	$ 6.50	$/m3
Consumo de Gas	0.000167	m3/min
Precio del Gas	$ 0.20	$/m3
Servicio	$ 7.68	$/pza.

Tabla 20. Costos de Servicios Láser.

6.2.2.1.2. Costos de Salarios Directos

Este costo depende directamente del tiempo de ciclo que es de 14.05 minutos por pieza. El precio del salario por hora es el mismo utilizado en corte anterior. Por lo tanto usando la ecuación 15, se obtiene el costo del salario por pieza es $3.65 (1.44%). Anualmente encontramos un costo de $7,304.43.

Costos de Trabajo Directo		
Tiempo de Ciclo	14.05	Min
Salario	$ 13.26	$/hora
Número de Trabajadores	1	
Utilización de la Máquina	85%	%
Trabajo Directo	$ 3.65	$/pza.

Tabla 21. Costo de Salarios Directos para Láser.

6.2.2.2. Costos Fijos.

Estos costos ocupan el 88.08% del costo total de fabricación, por lo que en este proceso también es de más importancia que los costos variables. Su suma tiene un costo anual de $600,223.78 y un costo por pieza de $266.97.

En la siguiente sección se desglosa de cada uno de estos costos para la obtención del precio final.

6.2.2.2.1. Costo de Máquina.

El costo inicial de la máquina en este caso es menor que el costo en AWJ, dado a que esta máquina es más económica. Se utiliza la ecuación 16 y se obtiene un costo anual de $180,110, que dividido entre la producción anual nos da como resultado $90.06 por pieza. Si el equipo es no dedicado el costo disminuye en un 89%, con un costo por pieza de $9.98.

Costo de Máquina			
	Dedicado	No Dedicado	
Inversión de la Maquina	$ 900.550,00		$
Número de Máquinas	1		
Vida de la Máquina	5		Años
Equipo Dedicado	1	0	[1=S 0=N]
Costo Anual Máquina	$ 180.110,00	$ 19,967.26	$/año
Costo por Pieza	$ 90,06	$ 9.98	$/pza.

Tabla 22. Costo de Máquina para Láser.

6.2.2.2.2. Costos de Herramientas.

Al igual que en AWJ, no hay herramientas para cambio, esto quiere decir que la boquilla sirve para todos los diferente tipos de corte que se quieran realizar. En el caso que la maquina sea no dedicada se seguirá cargando el costo de tiempo de ocio al costo total de la pieza. Con la ecuación 17 y la multiplicación de cada

herramienta por su costo, el costo de herramientas anual es de $66,317.79 y la ecuación 18 nos otorga un costo por pieza de $0.02 (0.01%).

Costo de Herramental		
Número de Herramientas por Estación	1	
Vida del Tubo	3000	Hrs
Vida de Espejos	700	Hrs
Vida de las Boquillas	100	Hrs
Espejos Anuales	1	Pza.
Tubos Anuales	1	Pza.
Boquillas Anuales	2	Pza.
Costo Herramientas Anual	$ 66,317.79	$/año
Costo de Tubo	$ 0.02	$/pza.
Costo de Espejos	$ 0.004	$/pza.
Costo de Boquillas	$ 0.001	$/pza.
Costo por Pieza	$ 0.02	$/pza.

Tabla 23. Costo de Herramientas para Láser

6.2.2.2.3. Costo de Edificio.

La instalación de la maquinaria ocupa 56.54m^2 como se explicó en la sección anterior La ecuación 19 tiene como resultado, cuando el equipo es dedicado, un costo anual de $1,865.82, es decir, $0.93 (0.4%). Si es el caso contrario se tiene un costo de $206.85 anual y por pieza de $0.10.

Costos de Edificio			
	Dedicado	No Dedicado	
Espacio Requerido	$ 56.54		m2
Precio del Espacio	$ 3,300.00		$/m2
Vida de Recuperación Edificio	10		Años
Costo de Edificio	$ 18,658.20		$
Depreciación	10		Años
Costo Anual	$ 1,865.82	$ 206.85	$/año
Costo por Parte	$ 0.93	$ 0.10	$/pieza

Tabla 24. Costo de Edificio Láser.

6.2.2.2.4. Costo de Instalación y Equipo Auxiliar.

Para estos costos, si el equipo es dedicado, el resultado para la instalación es de $99,055.00, el cual por pieza es de $45.03 (14.9%). El equipo auxiliar genera un costo anual de $45,027.50 y de 22.51 (7.4%) por pieza.

Si el equipo es no dedicado, esto se reduce a $9,983.82 y $4,991.82 anual respectivamente.

Instalación y Equipo Auxiliar			
	Dedicado	No Dedicado	
Costo de Máquina	$ 900,550.00		$
Inversión Equipo Auxiliar	25%		%

Inversión en Instalación	10%		%
Costo Equipo Auxiliar	$ 4,027.50	$ 4,991.82	$
Costo Instalación	$ 99,055.00	$ 9,983.82	$
Instalación por Pieza	$ 45.03	$ 4.99	$/pza.
Equipo Auxiliar por Pieza	$ 25.73	$ 2.50	$/pza.

Tabla 25. Costo de Instalación y Equipo Auxiliar para Láser.

6.2.2.2.5. Costo de Mantenimiento.

El costo de mantenimiento es igual a $14,666.06, cuando el equipo es dedicado. Con un precio por pieza de $7.33 (2.4%).

Costo de Mantenimiento			
	Dedicado	No Dedicado	
% del total Maq, Herra, Edif, Aux	5%		%
Costo de Mantenimiento Anual	$ 14,666.06	$ 507.10	$/año
Costo de Mantenimiento por Pieza	$ 7,33	$ 0.254	$/pza.

Tabla 26. Costo de Mantenimiento para Láser

6.2.2.2.6. Costos de Capital.

Recordemos que los costos de capital son la suma de los intereses de la inversión anual en el capital de trabajo, la suma de máquina, instalación y equipo auxiliar, edificio y herramientas. Esta última no cambia su resultado si el equipo es dedicado o no dedicado.

El costo de capital con la fórmula 20, en equipo dedicado es de $29,553.99 anuales. Por pieza de 14.78 (4.4%)

Costos de Capital			
	Dedicado	No Dedicado	
Costos de Trabajo	$	1,151.61	$
Maquinas Auxil e Instalación	$	20,108.49	$
Edificio	$	1,190.35	$
Herramienta	$	4,230.91	$
Sumatoria de Costos de Capital	$ 29,553.99	$ 4,737.68	$
Costos de Capital Pza.	$ 14.78	$ 2.37	$/pza.

Tabla 27. Costos de Capital para Láser

El costo total de fabricación de la pieza es de $303.08 cuando la máquina es dedicada. En la figura 18 se encuentra la influencia de cada costo. El costo de la máquina, costo de salarios indirectos y máquina son los que más afectan a la parte y casi a la misma proporción.

El costo anual generado para poder realizar la producción de $2,000 piezas es de $672,427.74. Con una inversión inicial de $4, 582,060.

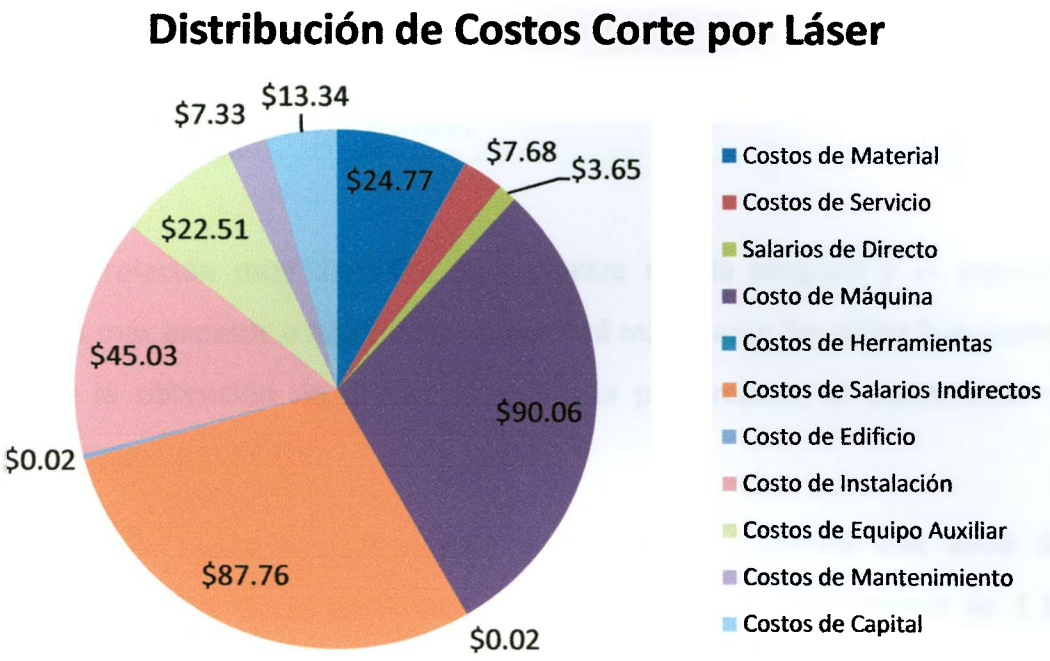

Figura 16. Gráfica de Porcentaje de Costos Corte por Láser

6.3. Punzonado.

6.3.1. Cálculos Intermedios.

Hay una relación muy estrecha de la fuerza con la longitud y el espesor, mientras más espesor o longitud se necesitará más fuerza. Se utiliza la ecuación 21 para la obtención de la fuerza necesaria para realizar el punzonado. El resultado nos da 0.37 Ton.

El tiempo de corte se obtuvo experimentalmente haciendo una toma de tiempos del corte de la pieza en el maquina. Se obtuvo un tiempo de 1.18 minutos.

El porcentaje de utilización de la maquina se calcula usando la ecuación 11 y genera un resultado del 14.09%. Y la fracción del año que se necesita usar el equipo utilizando la ecuación 12 da como resultado 0.12 años.

El diámetro del punzón se obtuvo con la resta del claro al diámetro del dado. Lo que nos dio como resultado 5.46mm.

Cálculos Intermedios		
Fuerza	3255	N*m
Tiempo de Corte	1.18	Min
Diámetro del Punzón	5.46	Mm
Requerimiento Eléctrico	10	kWh
Tiempo de Ciclo	15.18	Min
Proporción de Ocupación	14.09%	%
Numero de Máquinas	1	
Fracción del año maquina ocupada	0.12	Años

Tabla 28. Cálculos Intermedios Corte por Punzonado.

6.3.2. Salidas.

Con los parámetros anteriores, se obtiene después del maquinado la pieza que se muestra en la figura 17

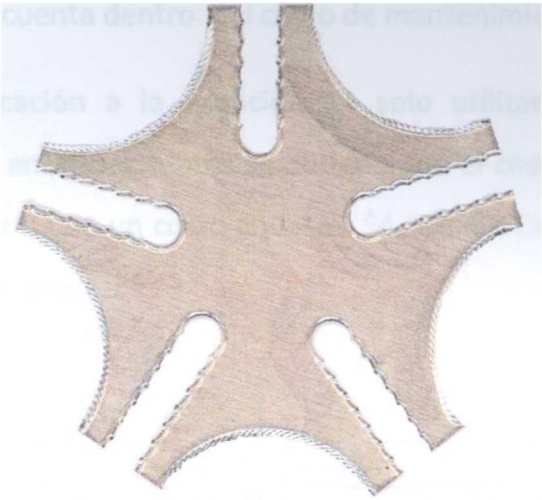

Figura 17. Pieza Terminada Mediante Punzonado.

6.3.2.1. Costos Variables.

El costo variable para este proceso es de $30.79 por pieza, que representa un 4.73% del costo total. Anualmente se calcula en un gasto de $61.581.95.

A continuación se explicarán de este costo en sus dos de sus tres parámetros principales. Al igual que en los 2 modelos anteriores, el costo de material es el mismo es de $24.77, debido a que se maneja la misma materia prima.

6.3.2.1.1. Costos de Servicio.

El punzo nado es el proceso que menos consume electricidad, 10 Kw por hora. Y este es el único consumible, dado que el aceite necesario para la lubricación de los dados se toma en cuenta dentro del costo de mantenimiento.

Se hace una modificación a la ecuación 14 solo utilizando la fracción de electricidad y con los anteriores datos se obtiene que el costo de servicio es de $2.07 (0.32%) por pieza. Con un costo anual de $4,148.69. Este costo de servicio es el menor de los tres procesos.

Costos de servicio			
Electricidad Requerida		10	kWh
Precio de Electricidad	$	0.82	kWh
Servicio	$	2.07	$/pza.

Tabla 29. Costos de Servicios por Punzonado.

6.3.2.1.2. Costos de Salarios Directos

Este costo depende del tiempo de ciclo que es de 15.18 minutos por pieza. El precio del salario por hora es el mismo utilizado en corte anterior. Usando la ecuación 15, se obtiene el costo del salario por pieza es $3.95. Anualmente encontramos un costo de $7,892.82.

Costos de Trabajo Directo			
Tiempo de Ciclo		15.18	Min
Salario	$	13.26	$/año

Número de Trabajadores	1	
Utilización de la Máquina	85%	%
Trabajo Directo	$ 3.95	$/pza.

Tabla 30. Costo de Salario Directo para Punzonado.

6.3.2.2. Costos Fijos.

Estos costos ocupan el 95.27% del costo total de fabricación. Como se puede notar, este costo es el de mayor influencia en el total de la pieza. Tiene un costo anual de $1, 243,649.33 y un costo por pieza de $620.76.

A continuación se explican a detalle cada uno de los parámetros pertenecientes a este tipo de costo.

6.3.2.2.1. Costo de Máquina.

El costo de esta máquina es el mayor de los tres, con un valor de $3, 544,307.05. Se utiliza la ecuación 16 y se obtiene un costo anual de $708,861.50 y por pieza de $354.43 por pieza. Si el equipo es no dedicado el costo disminuye en un 88%, con un costo anual de $84,524.13.

Costo de Máquina			
	Dedicado	No Dedicado	
Inversión de la Maquina	$ 3,544,307.50		$
Número de Máquinas	1		
Vida de la Máquina	5		años
Equipo Dedicado	1	0	[1=S 0=N]

Costo Anual Máquina	$ 708,861.50	$ 84,524.13	$/año
Costo por Pieza	$ 354.43	$ 42.26	$/pza.

Tabla 31. Costo de Máquina para Punzonado.

6.3.2.2.2. Costos de Herramienta.

En el caso de punzonado si hay cambio de herramientas depende de la pieza que se va a realizar. Para esta pieza se utilizaron 2 punzones, como ese explico anteriormente. Los costos de cada uno se encuentran en la sección de parámetros exógenos en el capítulo 5 de esta tesis.

Utilizando la fórmula 17 se obtiene que se necesitan 5 punzones circulares y 1 punzón rectangular al año. Multiplicando este resultado por el precio de cada uno y sumándolos, se tiene un costo de $7,345.92 anuales.

El costo por pieza se genera con la ecuación 18. Sumando los resultados individuales, este costo es de $2.61 (0.40%).

Dado a que se hace el cambio de herramientas según la pieza a manufacturar, cuando el equipo es no dedicado se deberá multiplicar el costo anual y los costos por pieza por la fracción del año que la máquina es utilizada

Costo de Herramental			
	Dedicado	No Dedicado	
Numero de Herramientas por Estación	1		
Vida de Punzones y Dados	250000		hrs
Punzones Circulares Anuales	5		Pza.

Punzones Rectangulares Anuales	1		Pza.
Costo Herramientas Anual	$ 7,345.92	$ 875.92	$/año
Costo de Punzón Circular por Pza.	$ 2.58	$ 0.31	$/pza.
Costo de Punzón Rectangular por Pza.	$ 0.03	$ 0.004	$/pza.
Costo por Pieza	$ 2.61	$ 0.312	$/pza.

Tabla 32. Costo de Herramientas para Punzonado

6.3.2.2.3. Costo de Edificio.

Para el espacio en el edificio se tomo la medición de la máquina y del área que se necesita para trabajar. Se obtuvo una superficie de 35.6 m^2.

El resultado de la ecuación 19 se divide entre la depreciación y genera un costo anual de edificio de $1,174.80. Este costo dividido entre la producción anual resulta en $0.59 (0.1%) por pieza.

Costos de Edificio			
	Dedicado	No Dedicado	
Espacio Requerido	35.6		m2
Precio del Espacio	$ 3,300.00		$/m2
Vida de Recuperación Edificio	10		años
Costo de Edificio	$ 11,748.00		$
Depreciación	10		Años
Costo Anual	$ 1,174.80	$ 140.08	
Costo por Parte	$ 0.59	$ 0.07	$/pieza

Tabla 33. Costo de Edificio Punzonado.

6.3.2.2.4. Costo de Instalación y Equipo Auxiliar.

Estos costos serán altos dado a que dependen directamente del precio de adquisición de la máquina. Si el equipo es dedicado, el resultado para la instalación es de $117,215.38, el cual por pieza es de $88.61 (13.6%). El equipo auxiliar genera un costo anual de $70,886.15 y de $35.44 (5.4%) por pieza.

Si es no dedicado esto se reduce a $10.61 la instalación y $4.25 por pieza.

Instalación y Equipo Auxiliar			
	Dedicado	No Dedicado	
Costo de Máquina	$ 3,544,307.50		$
Inversión Equipo Auxiliar	10%		%
Inversión en Instalación	5%		%
Costo Equipo Auxiliar	$ 70,886.15	$ 8,452.41	$
Costo Instalación	$ 177,215.38	$ 21,131.03	$
Instalación por Pieza	$ 88.61	$ 10.57	$/pza.
Equipo Auxiliar por Pieza	$ 35.44	$ 4.23	$/pza.

Tabla 34. Costo de Instalación y Equipo Auxiliar para Punzonado.

6.3.2.2.5. Costo de Mantenimiento.

El costo de mantenimiento también depende de la inversión en la máquina por lo que también resulta en un precio elevado. Esto genera un costo de $39,413.42 anual y de $19.71 por pieza.

Costo de Mantenimiento			
	Dedicado	No Dedicado	

% del total maq, herra, edif, aux	5%		%
Costo de Mantenimiento Anual	$ 39,413.42	$ 565.58	$/año
Costo de Mantenimiento por Pieza	$ 19.71	$ 0.28	$/pza.

Tabla 35. Costo de Mantenimiento para Punzonado

6.3.2.2.6. Costos de Capital.

Recordemos que los costos de capital son la suma de los intereses de la inversión anual en el capital de trabajo, la suma de máquina, instalación y equipo auxiliar, edificio y herramientas cuando el equipo es dedicado. En el caso contrario se multiplicará la suma de estos costos por el factor de utilización explicado previamente.

El costo de capital, utilizando la ecuación 20, en equipo dedicado es de $63,259.63 al año y de $31.63 (4.9%) por pieza

Costos de Capital			
	Dedicado	No Dedicado	
Costos de trabajo	$ 989,65		$
Maquinas auxil e instalación	$ 61.051,83	$ 7.313,50	$
Edificio	$ 749,49	$ 749,49	$
Herramienta	$ 468,65	$ 56,14	$
sumatoria de costos de capital	$ 63.259,63	$ 1.090,26	$
Costos de capital pza.	$ 31,63	$ 0,55	$/pza.

Tabla 36. Costos de Capital para Punzonado.

El costo total de fabricación sumando todos los resultados de los costos fijos y variables de la pieza es de $651.56 cuando la máquina es dedicada. En la figura 18 se encuentra la influencia de cada costo. En este caso el costo de la máquina absorbe más del 50% del costo de fabricación de la pieza.

El costo anual generado para poder realizar la producción de $2,000 piezas es de $1, 243,649.33.

Para poder producir esta pieza es necesaria una inversión inicial de $7, 383,300. Esto es pensando en que se necesite comprar la máquina, herramientas, equipo auxiliar, la instalación para su funcionamiento y el edificio para la producción.

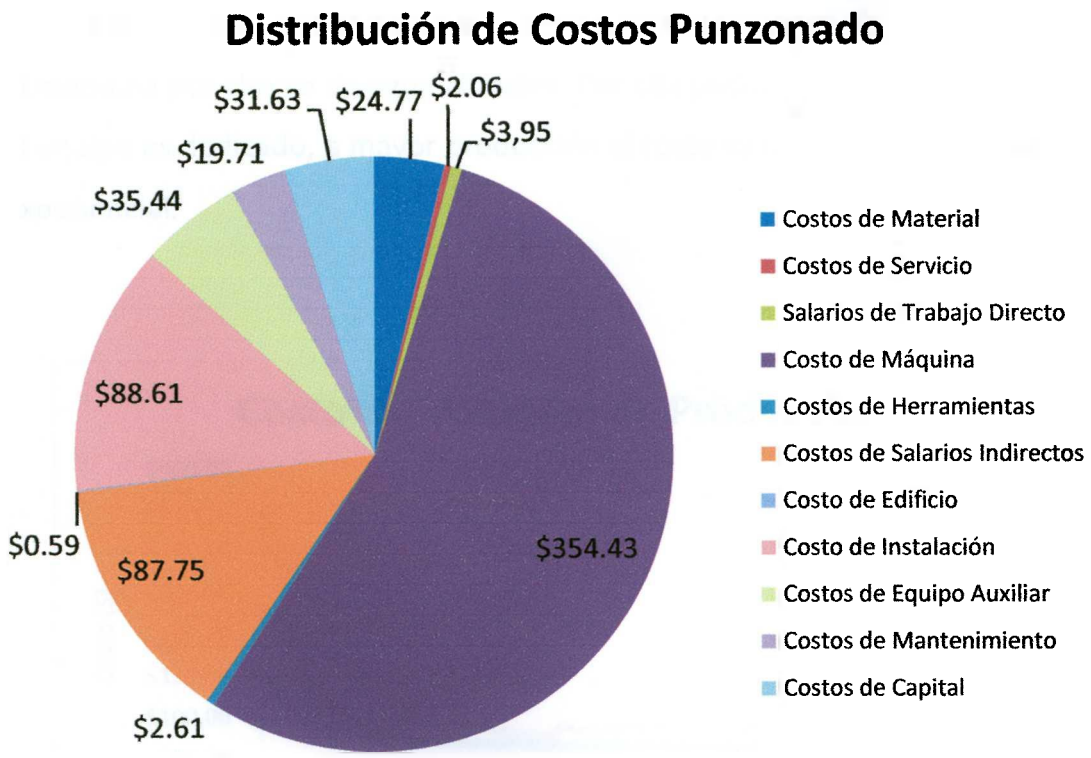

Figura 18. Gráfica de Porcentaje de Costos Corte por Punzonado.

7. Discusión de Resultados

En esta sección se compararan los 3 procesos mediante la relación de costo con volumen de piezas a producir de cada uno, la inversión inicial necesaria, el costo anual de fabricación, el costo por pieza producida y finalmente el efecto en el costo con diferentes marcas de equipos y diferentes materias primas.

7.1 Comparación de Costos con Volumen de Producción Anual

En la gráfica 19, se puede analizar la relación costo-volumen de producción para el maquina por chorro de agua abrasivo. Por ella podemos concluir que, cuando el equipo es dedicado, a mayor producción el costo va disminuyendo de manera exponencial.

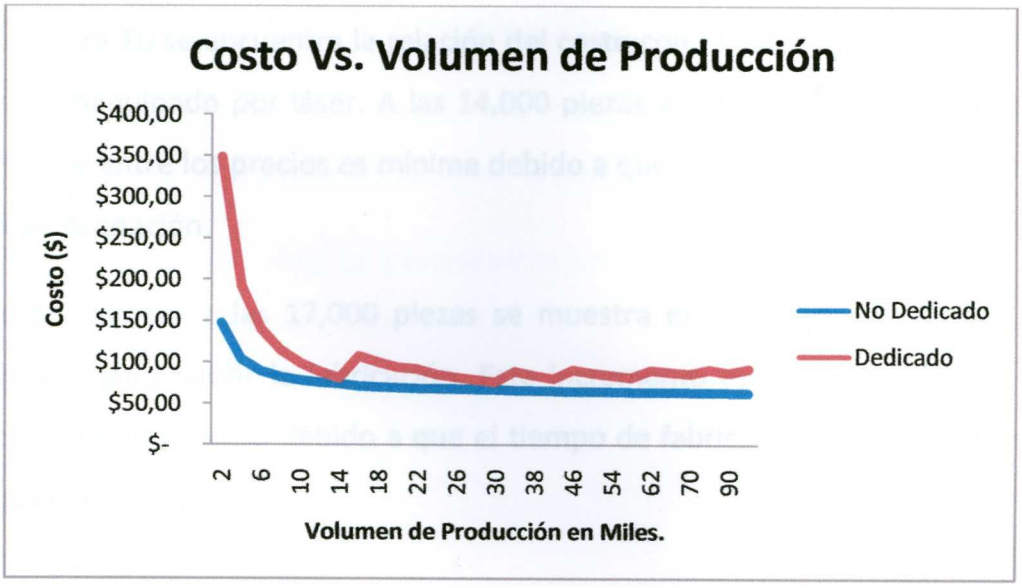

Figura 19. Diagrama de Relación de Costo con Volumen de Producción AWJ.

El pico que se observa a las 16,000 piezas es debido a que una máquina no es suficiente para poder realizar la producción por lo que al incrementarse el equipo hay un aumento en el precio. Esto se debe a que el costo del ocio en la máquina cuando el equipo es dedicado lo absorbe totalmente la pieza, mientras que en el caso contrario, esto no sucede debido a que este tiempo se utiliza en la fabricación de otras partes.

El costo menor para la fabricación de la pieza lo encontramos a las 30,000 piezas y es de $76.71 cuando se realiza solo esa pieza.

También se puede notar que en los puntos donde casi se toca las dos gráficas, es debido a que la máquina se encuentra a su máxima capacidad de producción. Por ejemplo, a las 15,000 piezas la máquina se ocupa un 99.05% por lo solo se utiliza para la fabricación de esa pieza y no hay tiempo de ocio.

Para el caso que el equipo sea no dedicado, la gráfica denota un precio casi constante a partir de las 8 mil piezas. Mientras mayor sea la producción, menor será el costo ya que los costos fijos van disminuyendo.

En la figura 20 se encuentra la relación del costo con el volumen de producción para el maquinado por láser. A las 14,000 piezas producidas se denota que la diferencia entre los precios es mínima debido a que la máquina se encuentra el 98% de ocupación.

En este proceso a las 17,000 piezas se muestra el aumento del número de máquinas para cubrir la fabricación. Este incremento es a mayor volumen de piezas en este proceso debido a que el tiempo de fabricación es menor para el maquinado por laser.

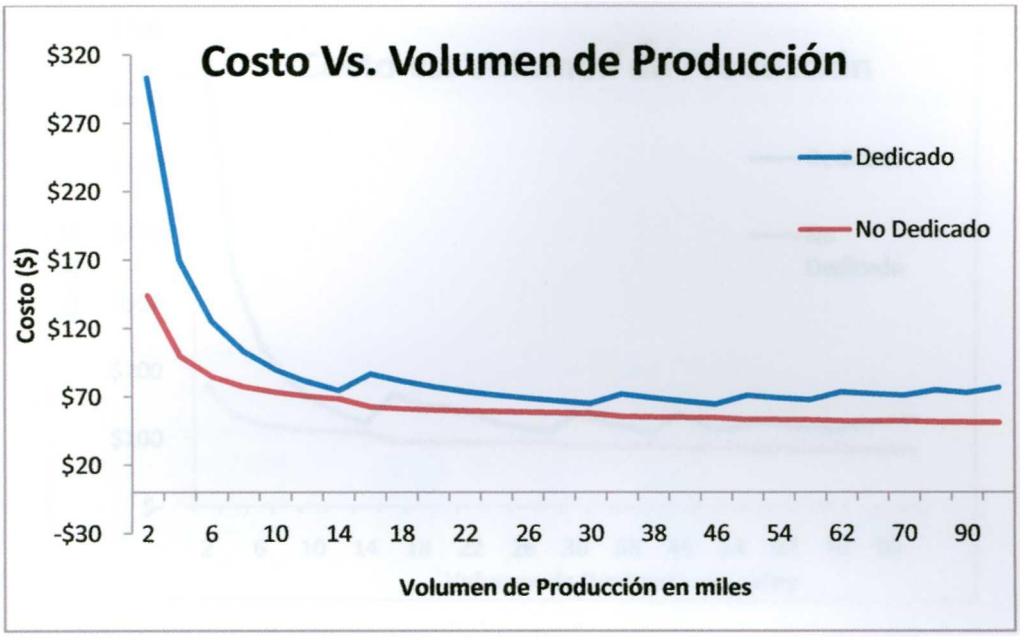

Figura20. Diagrama de Relación de Costo con Volumen de Producción Laser.

El costo mínimo por pieza lo encontramos en la fabricación de 30,0000 piezas, cuando el equipo es dedicado, con un costo de $64,77.

La relación del costo con el volumen de producción para el maquinado por punzonado se encuentra en la figura 21.

En este proceso, igual que en el corte por chorro de agua, se encuentra que a las 16,000 piezas se muestra el aumento en el número de máquinas.

El costo mínimo por pieza lo encontramos en la fabricación de 42,0000 piezas para un equipo dedicado y es de $109.81.

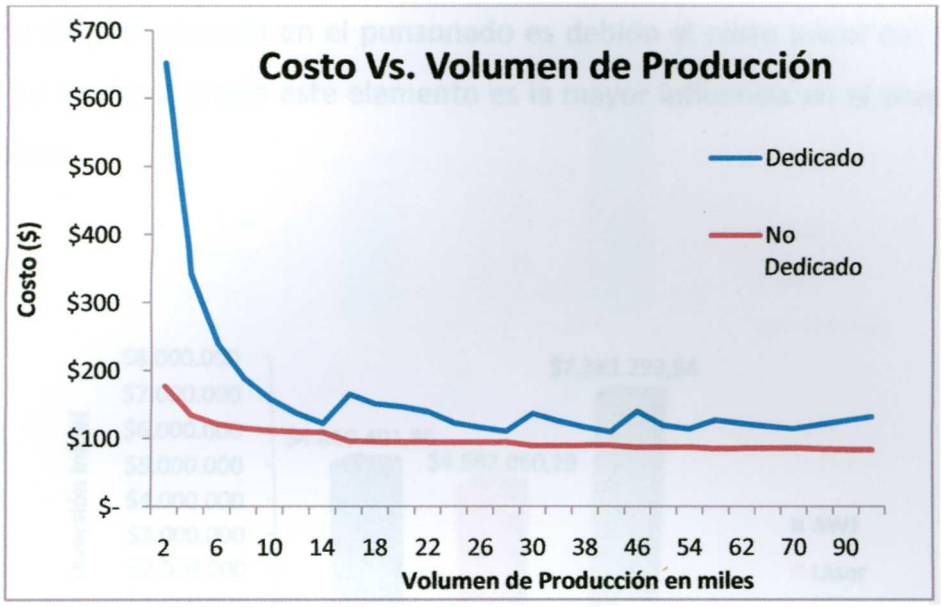

Figura 21. Diagrama de Relación de Costo con Volumen de Producción Punzonado.

En este caso a las 14,000 piezas la máquina se utiliza al 98.7% de su capacidad. Por lo que en este caso se convierte en dedicado el equipo.

7.2 Comparación de Inversión Inicial

Comparando los 3 métodos de manufactura encontramos que, como indica la figura 22, el punzonado es el de mayor inversión inicial. Seguido por el corte por chorro de agua y como menor el láser.

Esto indica que para maquinar mediante láser se necesitará de una menor cantidad de dinero para poder iniciar la fabricación, así como, tendrá el menor costo de capital.

La inversión tan elevada en el punzonado es debido al costo inicial del equipo. Como se ha demostrado este elemento es la mayor influencia en el precio final de la pieza.

Figura 22. Grafica de Comparación de Inversión Inicial en los Tres Proceso

7.3 Comparación de Costo Anual

El costo anual entre los tres procesos es mostrado en la figura 23. En ella se encuentra que el proceso más elevado de mantener funcionando al año es el punzonado. Así como el más económico es el método de corte por láser.

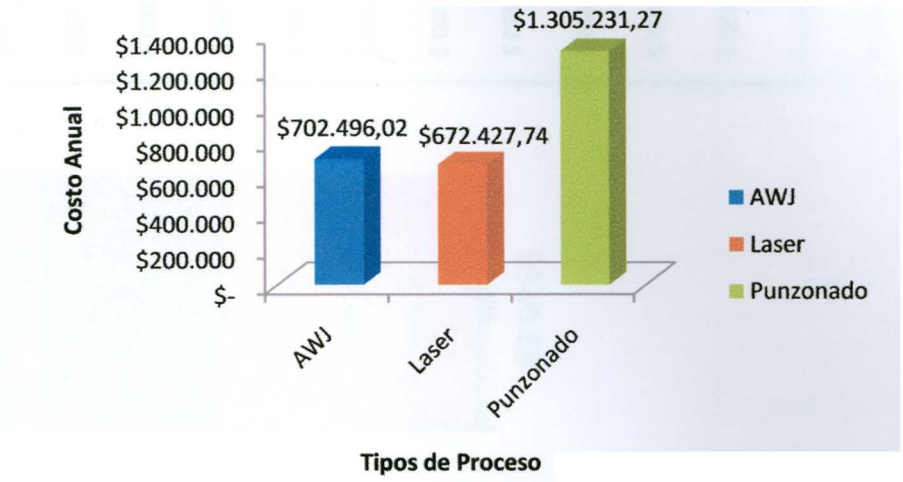

Figura 23. Gráfica de Comparación Costo Anual en los Tres Procesos.

7.4 Comparación del Precio Final Entre Procesos.

El resultado final estimado para el costo por pieza lo encontramos en la figura 24. Como podemos notar para maquinar una de las piezas que conforman una rueda de ginebra el modelo más económico es el corte por láser.

En la gráfica también se observa el porcentaje que ocupa cada uno de los parámetros dentro de este costo.

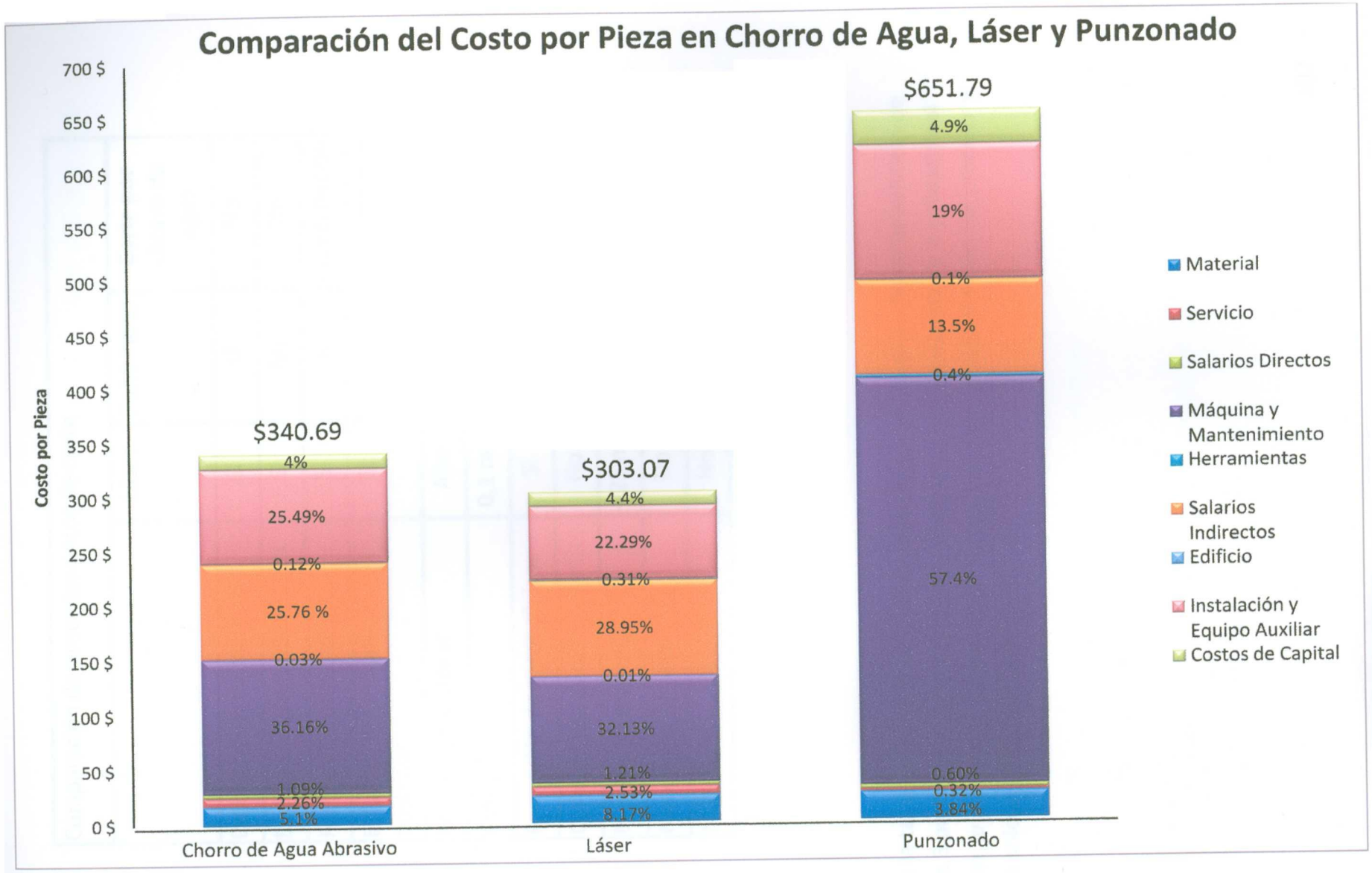

Figura 24. Comparación Costo Final de Fabricación Mediante los Tres Procesos

Comparación de procedimientos de corte			
	Láser	**Punzonado**	**Corte por chorro de agua**
Deformación de material	Sí	sí	No
Endurecimiento del material	Sí	No	No
Formación de rebaba	Sí	Sí	muy reducido
Esfuerzo para trabajo posterior	Sí	Sí	muy reducido
Pérdida de material	Alto	Sí	muy reducido
Tolerancias	0,1 mm	0,7 mm	0,13 mm
Formación de gases tóxicos	Sí	No	No
Corte de varias capas	No	No	Sí
Espesor de material	< 25 mm	< 1.5 mm	<250 mm
Materiales no metálicos	No	Si	Sí
Materiales compuestos	No	Si	Sí

Tabla 37. Comparación de procedimientos de corte.

En la tabla anterior encontramos una comparación entre las características de los 3 procesos. Con ella podemos realizar una comparación de la calidad final que se necesita al momento de tomar una decisión a la elección del proceso y no solo la influencia del precio.

7.5 Comparación Entre Diferentes Marcas de Equipo y Materiales

Se encuentra que el factor dominante para el costo de fabricación de una pieza en bajas producciones es la máquina a utilizar. Ya que de ella dependen los costos como instalación, equipo auxiliar, mantenimiento y costos de capital. Por ejemplo, el precio de la punzonadora utilizada es un 66% más elevado que la máquina de corte por chorro de agua y un 75% más que el equipo para corte por láser.

En el apéndice D se puede encontrar la tabla de comparación de características y cotizaciones entre las diferentes marcas de equipo para los 3 procesos.

Debido a esto se realizó una comparación de distintas marcas de máquina para los diferentes procesos para poder comprobar la influencia de este factor. A todos los costos de la máquina se aumentó un 40% de su precio para gastos de traslado e importación. Si se observa la figura 25 se realiza esta comparación con 4 diferentes proveedores y para 4 distintos materiales.

Para la máquina de chorro de agua abrasivo, la empresa OMAX cotiza su máquina en $1, 801,100 (48), siendo esta marca de equipos la más costosa. La segunda barra que se observa es una cortadora de la marca Calypso, con un precio de venta de $1, 672,450 (49). La tercera barra es un equipo de Bystronic a un costo de $1, 280,067 (49). La última barra es el precio de la máquina Flow que se maneja durante esta tesis.

Con esto se observa que el costo puede variar de $348.20 hasta los $610.60 debido a la máquina que se utilice.

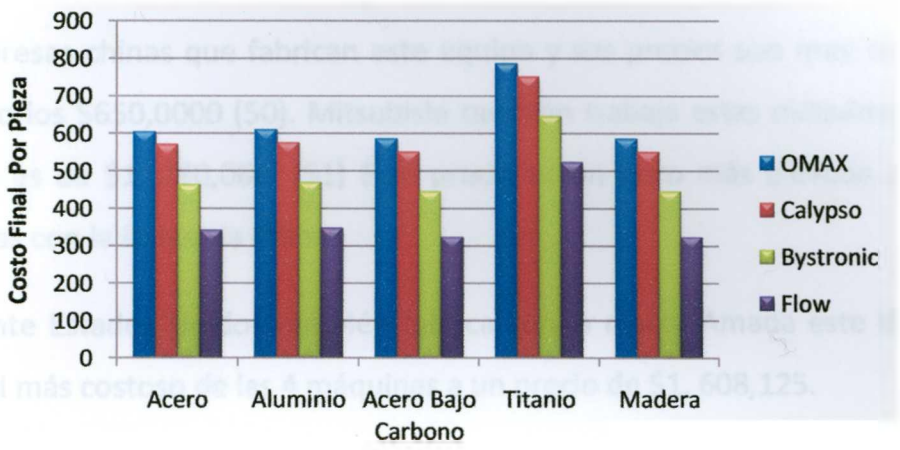

Figura 25. Comparación entre máquinas de chorro de agua abrasivo y el costo de fabricación.

El material no tiene tanta influencia en el precio cuando se manejan bajas producciones. Pero como se observa en la figura 26, a partir de las 15,000 piezas los costos variables, principalmente material y salarios directos, toman relevancia y conforme aumenta la producción, dominan el resultado. La grafica es tomando una producción no dedicada.

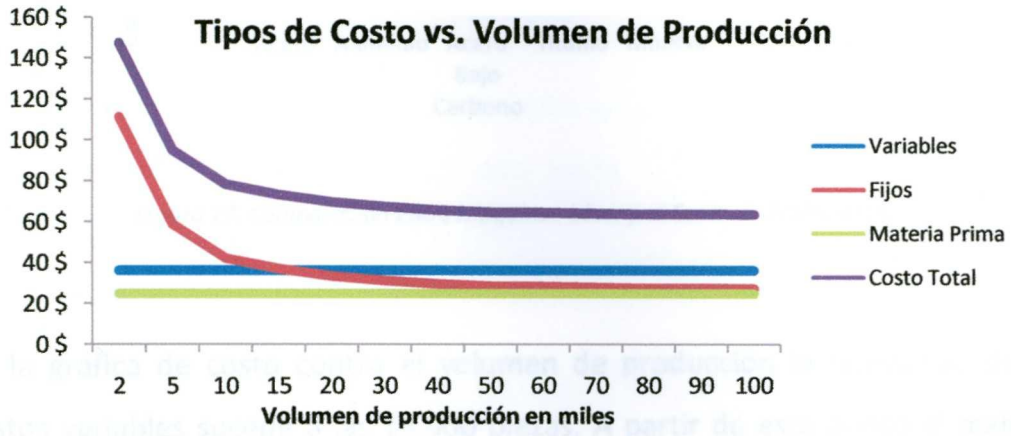

Figura 26. Tipo de Costos vs. Volumen de Producción Chorro de Agua.

Para el corte por láser, como se observa en la figura 27, se comparan nuevamente 4 marcas diferentes tipos de materiales. Han Kwang y Golden Laser son empresas chinas que fabrican este equipo y sus precios son muy similares rondando los $650,0000 (50). Mitsubishi también trabaja estas máquinas, pero su costo es de $1, 280,066. (51) Este precio es un poco más elevado que las fabricadas con la industria China.

Finalmente Estados Unidos también fabrica con la marca Amada este láser, el cual es el más costoso de las 4 máquinas a un precio de $1, 608,125.

Con las diferentes opciones de equipo el costo final puede variar de $301.34 hasta $497.40 por pieza.

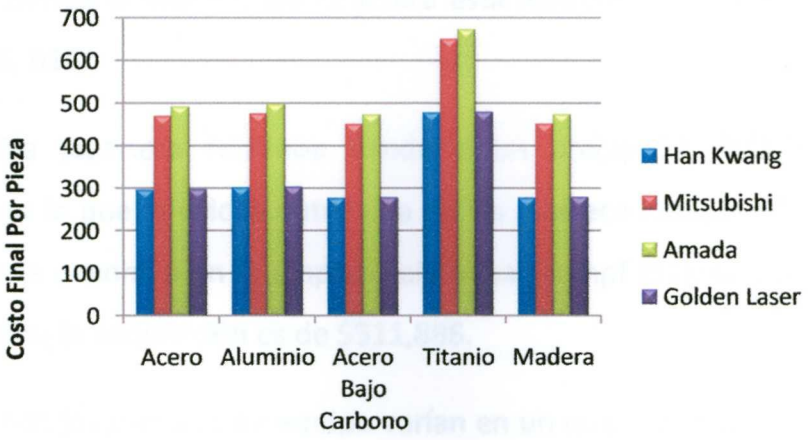

Figura 27. Comparación Entre Máquinas Láser y el Costo de Fabricación.

En la gráfica de costo contra el volumen de producción la relevancia de los costos variables sucede a las 18,000 piezas. A partir de este punto el material toma un cuarto del costo total. Mientras mayor producción el costo de la máquina va siendo menos relevante.

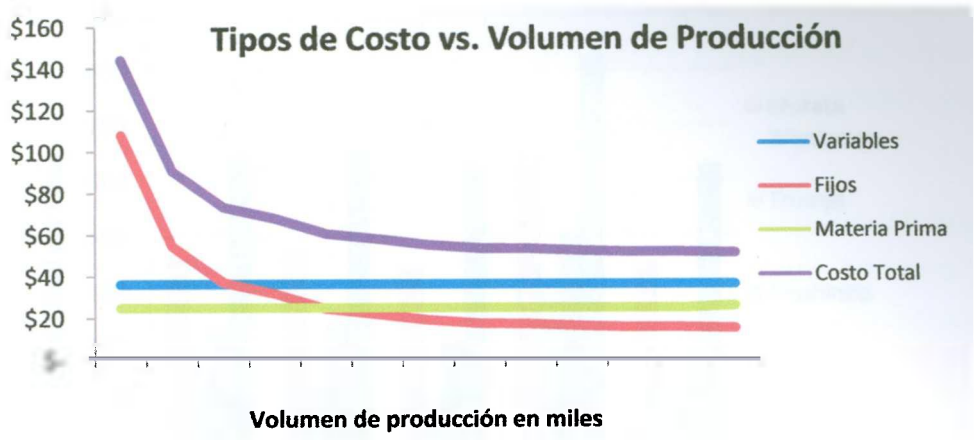

Figura 28. Porcentaje de Costo vs. Volumen de Producción en Láser.

Con la máquina punzonadora se utilizó 4 fabricantes. El costo más elevado es con la empresa Amada, el cual se utiliza en esta tesis para los cálculos. La empresa americana Murata, manufactura esta máquina a un precio a la venta de $1, 6666, 018.

La compañía japonesa Nishinbo vende a un precio $1, 022.767 (49) su punzonadora lo que la coloca entre una de las más económicas. El equipo más económico se encontró en la empresa alemana Trumpf (52), la inversión inicial necesaria para la adquisición es de $511,886.

Los costos con los cambios de equipo varían en un rango de $229.91 a $651.56. Si se eligiera la máquina Trumpf esto haría al punzanado el proceso más económico para la fabricación de la pieza.

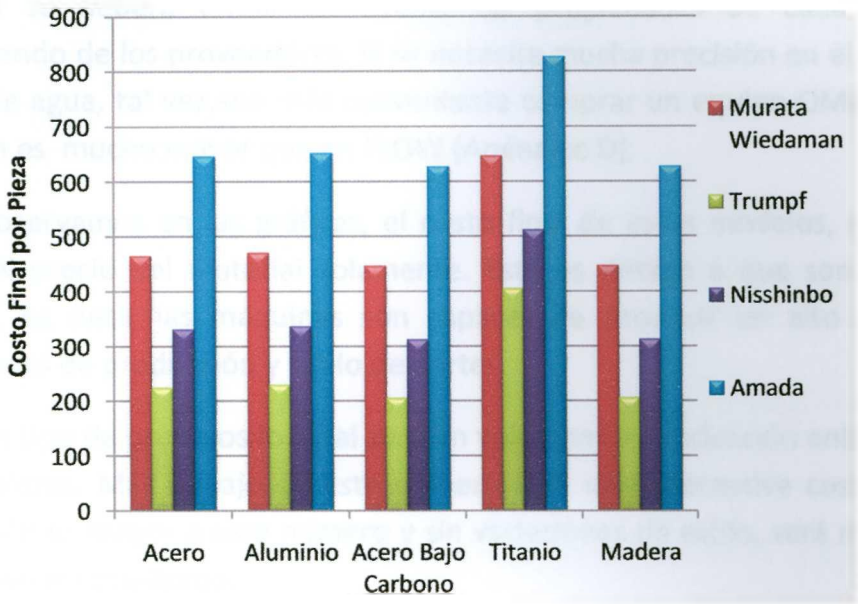

Figura 29. Comparación Entre Máquinas Punzonado y el Costo de Fabricación.

Dado a que el costo de la máquina es muy superior a los equipos de los dos procesos anteriores el punto de cambio entre los costos variables y costos fijos no se da dentro de las primeras 200 mil piezas producidas. Por lo que se concluye que la máquina absorbe gran parte del costo total siempre.

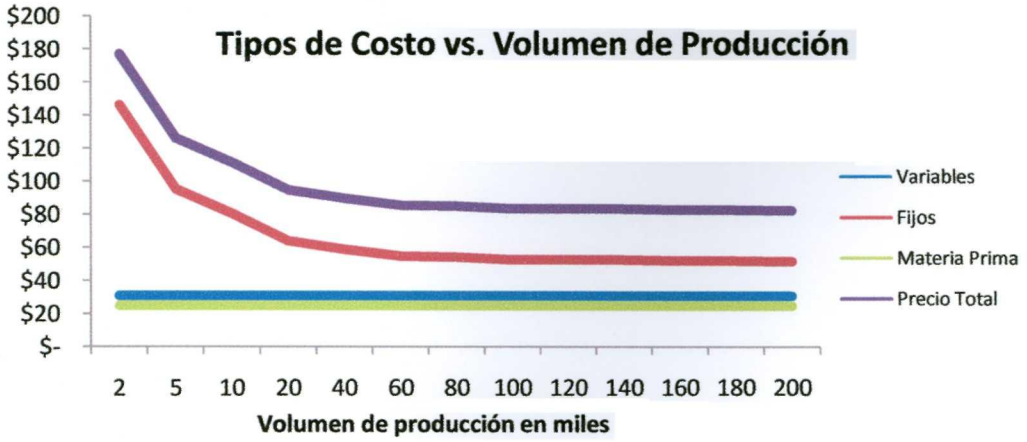

Figura 30. Tipos de Costo vs. Volumen de Producción Punzonadora.

También se deberá tomar en cuenta las propiedades de cada máquina dependiendo de los proveedores. Si se necesita mucha precisión en el corte por chorro de agua, tal vez sea más conveniente comprar un equipo OMAX que su precisión es mucho mayor que en FLOW (Apéndice D).

Como observamos en las gráficas, el costo final de estos modelos, no llega a igualar el precio del material solamente. Esto es debido a que son procesos flexibles, es decir las máquinas son capaces de producir un alto rango de operaciones de producción y estilo de partes.

Para este tipo de procesos lo ideal será un volumen de producción entre 5,000 y 75,000 piezas. Más debajo de este número será una alternativa costosa. Si la producción es mayor a este número y sin variaciones de estilo, será mejor usar un proceso especializado.

8. Conclusiones, Contribuciones y Trabajos Futuros.

8.1. Conclusiones.

Las observaciones finales de la investigación presentada en esta tesis pueden resumirse de la siguiente manera:

- El proceso más económico para la fabricación de la pieza, con las especificaciones dadas durante esta investigación, es el corte por láser con un costo de $303.07 por pieza manufacturada. Pero la elección del proceso dependerá de la calidad, requerimientos deseados y capital inicial para la inversión.
- A mayor volumen de producción el costo de maquinado será menor cuando se tenga un equipo dedicado.
- El costo de la pieza siempre será menor cuando el equipo sea no dedicado. Esto es debido a que no se carga el costo del tiempo de ocio de la máquina al precio final de la pieza.
- Hay un punto en el cual la diferencia del costo de fabricación resultante entre dedicar un equipo o no resulta mínima, dado a que el volumen de producción anual hace que el equipo llegue a su máximo porcentaje de utilización.
- En lotes pequeños de piezas fabricadas, el precio de la máquina rige el costo final de la pieza. Si los volúmenes de producción son altos, el material y los salarios directos se convierten en los principales factores de influencia del costo.

8.2. Contribuciones.

Las principales contribuciones de esta tesis pueden resumirse de la siguiente manera:

- La aplicación y automatización del modelo de costos técnico para 3 diferentes procesos con el objetivo de realizar la comparación entre ellos y encontrar el proceso más económico de fabricación.
- El hallazgo de los valores del volumen de producción anual que generan el menor costo por pieza.
- El descubrimiento de los parámetros que gobiernan el precio final de la pieza, con el objetivo de poder realizar una disminución del costo
- El desglose de la información financiera y tecnológica necesaria para la toma de decisiones para realizar un cambio o iniciar un proceso de maquinado.

8.3 Trabajos Futuros.

En consecuencia con la aportación de esta tesis, varios puntos se puede lograr en el futuro tales como:

- Encontrar y formular la relación, en el corte por chorro de agua de la presión de salida, en el corte por láser de la potencia del haz y en el punzonado con las toneladas de fuerza, necesarias con la inversión inicial en la máquina.
- Analizar la factibilidad de eliminación de algunos parámetros del método de costos técnico.
- Implementar y comparar este método en un ejemplo práctico en una empresa y estudiar la veracidad de sus resultados

9. Bibliografía.

1. **Narayan, Vydianathan.** *A Technical & Economic Analysis of the Alternate Net Shape Processes in Metals Fabrication.* Cambridge, MA. : Massachusetts Institute of Technology, 1990.

2. **BUSH, J.V.** *Technical Cost Modeling of Plastics Fabrication Process.* s.l. : MIT Dept. Mat. Sci. & Eng., 1987.

3. **Boothroyd, G.** *Fundamentals of Machinning and Machine Tools.* New York : Marcel Dekker Inc., 1989. pp. 175-204.

4. **Vyhmeister, Alex.** *Corte Mediante Chorro de Agua Abrasivo.* Valdivia, Chile : Universidad Austral de Chile, 2003.

5. **Berglund, Johan.** *Cut Cost Calculation.* Luleå, Suecia : Lulea University of Technology, 2006.

6. **Hendrichs, Nicolás.** *Steel-Plastic Substitutions in Automotive Structural Applications.* Cambridge, MA. : Massachusetts Institute of Technology, 1989.

7. —. *Análisis Estratégico de Costos de Manufactura.* Monterrey : Centro de Innovación en Diseño y Tecnología ITESM , 2008.

8. **AROLA, D.** *Material Removal in Abrasive Water-jet Machining of Metal Surface Integrity and texture.* s.l. : WEAR, 1997. 50-58.

9. **HASHISH, Mohamed.** *Visualization of the Abrasive-Waterjet Cutting Process.* Kent : Springer Boston, 2006. págs. 159-169.

10. **JAUREGUI, Ana L.** *Evaluation of micro-mechanical manufacturing processes for micro-fluidic devices.* Monterrey : ITESM, 2008. págs. 63-76.

11. **WESTKÄPER, Engelbert.** *Intelligent means of process control during the high pressure water jet cutting.* Stuttgart : Industrial Electronics Society, 1998.

12. Metal Depot. *Metal Depot.* [Online] ELCO Inc. [Cited: Febrero 12, 2010.] http://www.metalsdepot.com.

13. **Espinoza, Humberto.** Flow. *Company Flow International.* [Online] Flow International Corporation. [Cited: Noviembre 12, 2009.] http://www.flowcorp.com/.

14. *Performance of different abrasive materials during.* **Khan, A.A.** 1, Kuala Lumpur, Malaysia : Journal of Material Processing Technology, 2007, Vol. 191, pp. 404-407.

15. **Gobierno de la República, Mexicana.** *Comisión Nacional de los Salarios Mínimos.* México D.F. : Diario Oficial de la Federación, 2008.

16. Water Jet Organization. *The most complete waterjet resource on the web.* [Online] Olsen Software LLC. [Cited: Febrero 27, 2010.] http://waterjets.org/.

17. CONAGUA. *Comisión Nacional del Agua.* [Online] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. [Cited: Noviembre 12, 2009.] www.cna.gob.mx.

18. CFE. *Comisión Federal de Electricidad.* [Online] Secretaría Nacional de Energía. [Cited: Noviembre 12, 2009.] www.cfe.gob.mx .

19. IWM. *International Waterjet Machine.* [Online] International Waterjet Machine. [Cited: Noviembre 12, 2009.] www.iwmwaterjet.com .

20. **Zeng, J. Ph. D. and Olsen, J. Ph.D.** *The Abrasive Waterjet as a Precision Metal Cutting Tool.* Auburn, Washington, U.S.A : OMAX Corporation.

21. **Serruys, Wim.** *Sheet Metalworking. State of Art.* Gullegem, Bélgica : LVD Comnpany, 2002.

22. Wardjet. *WajerJet.* [En línea] WaterJet. [Citado el: 16 de Febrero de 2010.] http://www.wardjet.com/.

23. El Norte. *El Norte.* [En línea] Editorial El Sol S.A. de C.V. [Citado el: 16 de Febrero de 2010.] http://www.elnorte.com/.

24. **SILVA, Alonso.** *Cortadora CNC Láser Universal Laser System PLS 4.60.* Santiago, Chile. : Universidad de Chile. Facultad de Arquitectura y Diseño, 2008.

25. **KALPAKJIAN, Serope.** *Manufacturing Processes for Engineering Materials.* New Jersey : Prentice Hall, 2008.

26. **D., Martinez and al., et.** *El Proceso de Corte Láser Aplicado a la Manufactura de Probetas Planas de Treacción Normalizadas Obtenidas a partir de Chapas Finas de Acero Galvanizado.* Bueno Aires, Argentina : CONAMET/SAM-Simposio Materia, 2002.

27. **F., Quintero.** *Corte mediante láser de elementos estructurales de mullita-alúmina.* Vigo, España : Sociedad Española de Cerámica y Vidrio.

28. **Ortega, Daniel.** *Protecto de Implementación de una Empresa de Corte por Agua y Láser.* Manresa : UPC, 2007.

29. **Arriaga, Cárlos, et. al.** *Procesamiento de materiales con láser: principales aplicaciones y desarrollos recientes en manufactura avanzada.* San Nicolás de los Garza, N.L. : Universidad Autónoma de Nuevo León.

30. **Alfonso, García.** *Sistemas Avanzados en Manufactura: Maquinado por Rayo Láser.* México : Instituto Politécnico Nacional, 2008.

31. **Frauenpreiss, T.** *CO2 Lasers: The industrial workhorse.* s.l. : The Photonics Handbook, 2003. pp. 202-204.

32. **Chung, C.K and Wu, M.Y.** *A hybrid CO2 laser processing for silicon etching.* s.l. : Optics Express, Jun 11 2007.

33. AFTech Incorporated. [Online] Active Fabricating Technologies Inc., Junio 1, 2009. [Cited: Abril 7, 2010.] http://www.aftech-wi.com.

34. **Tood, Robert and Allen, Dell.** *Manufacturing Processes Reference Guide.* New York : Industrial Press Inc., 1994.

35. **Ermaksan Makine, Sanayi VeTicaret.** Ermaksan. *Sheet Metal Working Machinery.* [Online] Ermksan Company. [Cited: Abril 1, 2010.] http://www.ermaksan.com.tr.

36. **Tanaka, Nissan.** Nissan Tanaka, Corporation. *Product Catalog.* [Online] Nissan Tanaka Corporation. [Cited: 4 7, 2010.] http://nissantanaka.com.

37. **Cobra, Industrial Machine.** Industrial Machine Cobra. *Cobra Industrial Machine.* [Online] [Cited: Abril 7, 2010.] http://www.cobrauae.com.

38. Scoot Specialty Gases. [Online] Scoot Specialty Gases. [Cited: Abril 07, 2010.] http://www.scottecatalog.com.

39. Golden Laser. *Golden Laser.* [Online] Wuhan Golden Laser CO, Ltd., 2009. [Cited: Abril 07, 2010.] http://www.goldenlaser.cc/.

40. Industrial CO2 Laser Cutting Lens. *Laser Optics and Mechanisms.* [Online] Laser Optics and Mechanisms, Abril 2, 2009. [Cited: Abril 7, 2010.] http://www.lom.cc.

41. **Goetsch, David.** *Modern Manufacturing Processes.* USA : Delmar Publishers Inc., 1991.

42. **Bawa, H. S.** *Procesos de Manufactura.* Nueva Deli : Mc Graw Hill, 2004.

43. **Dallas, Daniel.** *Pressworking Aids for Designers and Diemakers.* Dearborn, Michigan : The Society og Manufacturing Engineers, 1978.

44. **AMADA.** *Thick Turret Tooling.* Buena Park, Ca. : Amada Co., Ltd., 2009.

45. **Sánchez, Fernando.** *Amada Co., Ltd.* Monterrey, Abril 13, 2010.

46. **Leal, Alberto.** *Amada Co., Ltd.* Monterrey, Abril 13, 2010.

47. **Groover, Mikell.** *Modern Manufacturing.* New Jersey : Prentice Hall, 1996.

48. **Geller, Harvey.** Machinery Network. [Online] [Cited: Abril 22, 2010.] www.MachineryNetwork.com.

49. **Linzer, Scott.** Prestige Equipment. [Online] [Cited: Abril 23, 2010.] http://www.prestigeequipment.com/ .

50. **Sawaia, Mike.** Active Machine Sales. [Online] [Cited: Abril 21, 2010.] www.activemachinery.com.

51. **Mee, Cindy.** Westbrook Engineering Co., INC. [Online] [Cited: Abril 21, 2010.] www.westbrook-eng.com.

52. **Harrison, Mady.** Leicester : Electro Motion UK, Abril 15, 2010.

53. *Machinability of Engineering Materials in Abrasive Water Jet Machining.* **Zeng, J. and Kim, T.J.** 2, s.l. : International Journal of Water Jet Technology, 1995, Vol. 2, pp. 103-110.

Apéndice A. Datos Parámetros de Proceso.

Velocidad de Corte para Chorro de Agua Abrasivo

La fórmula a utilizar para calcular el corte utilizando este proceso es (20):

$$V_c = \frac{F_a N_m P_w^{1.594} d_o^{1.374} M_a^{0.343}}{Cqhd_m^{0.618}}$$

Donde V_c es la velocidad de corte (mm/min), F_a es el factor del abrasivo., N_m es la maquinabilidad, P_w es la presión requerida (MPa), d_o es el diámetro del abrasivo (mm), M_a es el flujo del abrasivo (g/min), Q es la calidad de terminado (1-5), h es el espesor del material a cortar en (mm), d_m el diámetro del tubo mezclador (mm) y C es la constante del sistema que para el sistema métrico es 788 y para el sistema ingles es 163. (20)

El factor de abrasivo se usa para la obtención de diferentes velocidades de corte como resultado de la utilización de diferentes materiales abrasivos. Su valor debe ser calibrado para cada material abrasivo de una manera como la descrita en (53).Alguno de estos valores son: para el granate utiliza un $F_a = 1$, si se maquina con olivine $F_a = 0.86$ y para vidrio $F_a = 0.84$.

El diámetro del abrasivo depende del número de granate que se esté utilizando. Para #100 el tamaño de la partícula es 0.149mm. #80, que es la más usada comúnmente, 0.177. #50 el tamaño de la partícula de 0.297. (10)

La siguiente tabla ilustra diferentes números de maquinabilidad para distintos materiales:

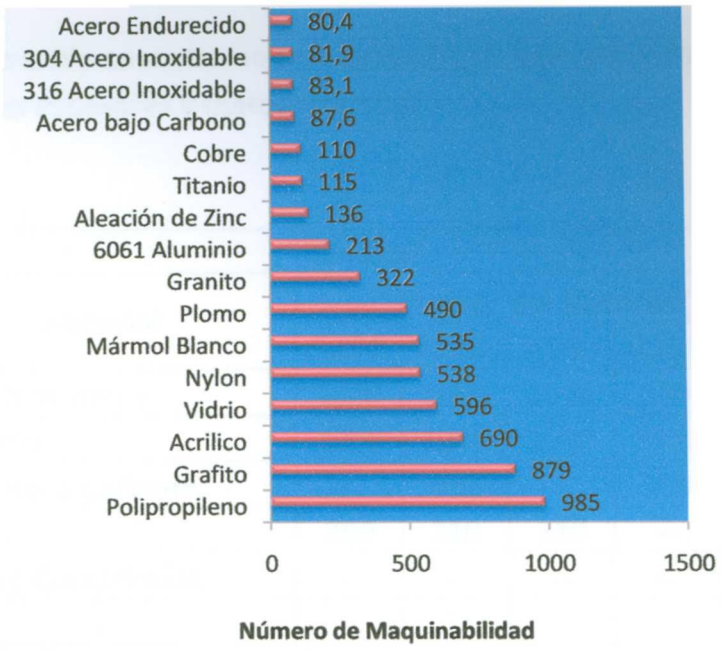

Tabla A.1 Maquinabilidad para diferentes Materiales.

La calidad de terminado de superficie se basa en 5 niveles que se muestran en la tabla siguiente (20):

Niveles	Descripción
q = 1	Criterio para corte de separación.
q = 2	Acabado de la superficie áspera con marcas de estrías en la superficie inferior.
q = 3	Transición entre liso y rugoso
q = 4	Libre de estrías
q = 5	Mejor acabado superficial

Tabla A.2 Calidad de Terminado

Velocidad de Corte y Potencia para el Láser

En la siguiente tabla encontramos se encuentra la potencia del láser necesaria para diferentes espesores y materiales. (34)

Watts*					
Material	Espesor del Material (in.)				
	0.020	0.040	0.080	0.125	0.250
Acero Inoxidable	1000	1000	1000	500	250
Aluminio	1000	1000	1000	3800	10000
Acero poco Carbono	--	400	--	500	--
Titanio	250	210	210	--	--
Madera Comprimida	--	--	--	--	650
Epoxy	--	--	--		--

*Usando laser CO_2

Tabla A.3 Relación Potencia del Láser con el Espesor del Materia en Diversos Materiales.

La tabla A.4 señala la velocidad de corte recomendada para diferentes materiales y espesores. (34)

Velocidad de Corte						
	Espesor del Material (in.)					
Material de la pieza	0.020	0.040	0.080	0.125	0.250	0.500
Acero Inoxidable	750	550	325	10	20	--
Aluminio	800	350	150	100	40	30
Acero poco Carbono	--	177	70	40	--	--
Titanio	300	300	100	80	60	40
Madera Comprimida	--	--	--	--		45
Epoxy	--	--	--	60	60	25

*Usando laser CO_2

Tabla A.4 Relación Velocidad de Corte del Láser con el Espesor del Material en Diversos Materiales.

Cálculo del Claro para el Dado del Punzón

En la tabla siguiente se observa el claro que recomienda la empresa Amada (44) dependiendo del espesor y tipo de material. Este claro se utiliza para obtener el diámetro que deberá tener el punzón, esto con el fin de evitar imperfecciones o inexactitudes en el corte.

Para obtener este diámetro se deberá restar el claro al diámetro del dado utilizar.

	Claro Recomendado		
Espesor del Material	Acero poco Carbono	Aluminio	Acero Inoxidable
0.036	0.006	0.006	0.006
0.048	0.008	0.008	0.009
0.06	0.01	0.010	0.012
0.075	0.012	0.012	0.016
0.105	0.018	0.018	0.024
0.120	0.024	0.020	0.028
0.135	0.030	0.022	0.032
0.150	0.032	0.026	0.036
0.164	0.034	0.028	0.040
0.180	0.039	0.032	0.05
0.250	0.055	0.042	0.075

Tabla A.5. Claros Recomendados para Diferentes Materiales y Espesores.

Apéndice B. Tablas de Modelos de Costos

Modelo de Costos Corte por Chorro de Agua Abrasivo

COSTOS VARIABLES	POR PIEZA	POR AÑO	Porcentaje	INVERSIÓN
Costos de Material	$ 24,77	$ 396.323,47	23,05%	
Costos de Servicio	$ 7,71	$ 123.424,24	7,18%	
Salarios de Trabajo Directo	$ 7,40	$ 118.343,75	6,88%	
TOTAL DE COSTOS VARIABLES	$ 3,88	$ 638.091,45	37,12%	
COSTOS FIJOS				
Costo de Máquina	$ 28,95	$ 463.140,00	26,94%	$ 1.157.850,00
Costos de Herramientas	$ 0,11	$ 3.379,60	0,10%	$ 13.379,60
Costo Salarios Indirectos	$ 10,97	$ 175.500	10,21%	
Costo de Edificio	$ 0,05	$ 792,00	0,05%	$ 3.300.000,00
Costo de Instalación	$ 4,47	$ 231.570,00	13,47%	$ 231.570,00
Costos de Equipo Auxiliar	$ 7,24	$ 115.785,00	6,74%	$ 578.925,00
Costos de Mantenimiento	$ 1,85	$ 29.654,83	1,73%	
Costos de Capital	$ 3,92	$ 62.787,98	3,65%	
TOTAL DE COSTOS FIJOS	$ 67,56	$ 1.092.609,41	62,881%	
TOTAL DEL COSTO	$ 107,44	$ 1.730.700,86	100%	$ 5,281.724,60

Modelo de Costos de Corte por Láser

COSTOS VARIABLES	Por Pieza	Por Año	%	Inversión
Costos de Material	$ 24,77	$ 49.540,43	8,17%	
Costos de Servicio	$ 7,68	$ 15.359,36	2,53%	
Salarios de Directo	$ 3,65	$ 7.304,43	1,21%	
T COSTOS VARIABLES	$ 36,10	$ 72.204,22	11,91%	
COSTOS FIJOS				
Costo de Máquina	$ 90,06	$ 180.110,00	29,7%	$ 900.550,00
Costos de Herramientas	$ 0,02	$ 66.317,79	0,01%	$ 66.317,79
Costos de Salarios Indirectos	$ 87,75	$ 175.500,00	29,0%	
Costo de Edificio	$ 0,93	$ 1.865,82	0,3%	$ 3.300.000,00
Costo de Instalación	$ 45,03	$ 90.055,00	14,9%	$ 90.055,00
Costos de Equipo Auxiliar	$ 22,51	$ 45.027,50	7,4%	$ 225.137,50
Costos de Mantenimiento	$ 7,33	$ 14.666,06	2,4%	
Costos de Capital	$ 13,34	$ 26.681,35	4,4%	
T COSTOS FIJOS	$ 266,97	$ 600.223,52	88,088%	
TOTAL DE COSTO	$ 303,08	$ 672.427,74	100%	$ 4.582.060,29

Modelo de Costos Corte por Punzonado.

COSTOS VARIABLES	Por Pieza	Por Año	Porcentaje	Inversión
Costos de Material	$ 24,77	$ 49.540,43	3,8%	
Costos de Servicio	$ 2,07	$ 4.148,69	0,3%	
Salarios de Trabajo Directo	$ 3,95	$ 7.892,82	0,6%	
TOTAL DE COSTOS VARIABLES	$ 30,79	$ 61.581,95	4,7%	
COSTOS FIJOS				
Costo de Máquina	$ 354,43	$ 708.861,50	54,4%	$ 3.544.307,50
Costos de Herramientas	$ 2,61	$ 7.345,92	0,40%	$ 7.345,92
Costos de Salarios Indirectos	$ 87,75	$ 175.500,00	13,5%	
Costo de Edificio	$ 0,59	$ 1.174,80	0,1%	$ 3.300.000,00
Costo de Instalación	$ 88,61	$ 177.215,38	13,6%	$ 177.215,38
Costos de Equipo Auxiliar	$ 35,44	$ 70.886,15	5,4%	$ 354.430,75
Costos de Mantenimiento	$ 19,71	$ 39.413,42	3,0%	
Costos de Capital	$ 31,63	$ 63.252,17	4,9%	
TOTAL DE COSTOS FIJOS	$ 620,76	$ 1.243.649,33	95,3%	
COSTO DE FABRICACIÓN	$ 651,56	$ 1.305.231,27	100%	$ 7.383.299,54

Apéndice C. Tablas de Comparación entre Procesos.

Producción anual y sus costos en equipos dedicados y no dedicados.

	Chorro de Agua		Láser		Punzonado	
Producción	Dedicado	No Dedicado	Dedicado	No Dedicado	Dedicado	No Dedicado
2	$ 348,20	$ 147,37	$ 569,45	$ 233,80	$ 651,56	$ 177,07
4	$ 192,54	$ 103,71	$ 303,08	$ 144,07	$ 342,88	$ 134,30
6	$ 140,65	$ 89,37	$ 169,89	$ 99,40	$ 239,99	$ 120,79
8	$ 114,70	$ 82,36	$ 125,49	$ 84,68	$ 188,53	$ 114,60
10	$ 99,13	$ 78,29	$ 103,30	$ 77,45	$ 157,66	$ 111,34
12	$ 88,76	$ 75,67	$ 89,98	$ 73,21	$ 137,09	$ 109,55
14	$ 81,34	$ 73,90	$ 81,10	$ 70,47	$ 122,36	$ 108,61
16	$ 107,44	$ 71,38	$ 74,76	$ 68,59	$ 165,02	$ 95,86
18	$ 100,02	$ 70,31	$ 86,73	$ 62,52	$ 150,97	$ 95,17
20	$ 94,08	$ 69,49	$ 81,58	$ 61,35	$ 146,67	$ 94,73
22	$ 91,95	$ 68,85	$ 77,47	$ 60,44	$ 139,72	$ 94,46
24	$ 85,17	$ 68,34	$ 74,10	$ 59,72	$ 122,85	$ 94,33
26	$ 81,74	$ 67,93	$ 71,29	$ 59,13	$ 116,36	$ 94,31
28	$ 78,81	$ 67,62	$ 68,92	$ 58,66	$ 10,80	$ 94,37
30	$ 76,27	$ 67,36	$ 66,88	$ 58,26	$ 136,60	$ 89,19
34	$ 88,97	$ 66,09	$ 65,12	$ 57,94	$ 125,57	$ 89,20
38	$ 84,27	$ 65,76	$ 72,05	$ 55,59	$ 116,86	$ 89,35
42	$ 80,48	$ 65,52	$ 69,11	$ 55,15	$ 109,81	$ 89,62
46	$ 90,80	$ 64,77	$ 66,73	$ 54,82	$ 139,94	$ 86,62
50	$ 87,39	$ 64,62	$ 64,77	$ 54,58	$ 119,18	$ 86,84
54	$ 84,49	$ 64,53	$ 71,00	$ 53,36	$ 113,83	$ 87,11
58	$ 81,99	$ 64,46	$ 69,28	$ 53,18	$ 127,17	$ 85,10

62	$ 90,77	$ 63,93	$ 67,80	$ 53,04	$ 122,29	$ 85,32
66	$ 88,41	$ 63,89	$ 73,59	$ 52,28	$ 117,99	$ 85,57
70	$ 86,33	$ 63,86	$ 72,26	$ 52,17	$ 114,19	$ 85,83
80	$ 91,38	$ 63,46	$ 71,07	$ 52,08	$ 120,51	$ 84,64
90	$ 87,41	$ 63,47	$ 74,95	$ 51,45	$ 126,40	$ 83,77
100	$ 92,46	$ 63,17	$ 72,77	$ 51,34	$ 131,96	$ 83,11

Comparación entre diferentes marcas de equipos y diferentes materiales para los 3 procesos.

Chorro de Agua Abrasivo				Costo por Pieza				
Marca	Precio	Precio+envío	Origen Fabricante	Acero	Aluminio	Acero Bajo Carbono	Titanio	Madera
OMAX	$140.000,00	$196.000,00	USA	$ 604,88	$ 610,60	$ 585,95	$786,10	$586,41
Calypso	$130.000,00	$182.000,00	USA	$ 570,22	$ 575,94	$ 551,30	$751,45	$551,75
Bystronic	$ 99.500,00	$139.300,00	Suiza	$ 464,52	$ 470,24	$ 445,60	$645,75	$446,05
Flow	$ 90.000,00	$ 90.000,00	USA	$ 342,47	$ 348,20	$ 323,56	$523,71	$324,01
Laser								
Han Kwang	$ 49.500,00	$ 69.300,00	Corea del Sur	$ 295,62	$ 301,34	$ 276,70	$476,85	$277,15
Mitsubishi	$ 99.500,00	$139.300,00	Japón	$ 468,90	$ 474,62	$ 449,98	$650,13	$450,43
Amada	$125.000,00	$148.500,00	USA	$ 491,68	$ 497,40	$ 472,75	$672,90	$473,21
Golden Laser	$ 50.000,00	$ 70.000,00	China	$ 297,36	$ 303,08	$ 278,43	$478,58	$278,89
Punzonadoras								
Murata Wiedaman	$129.500,00	$181.300,00	USA	$ 465,13	$ 470,85	$ 446,20	$646,36	$446,66
Trumpf	$ 39.789,00	$ 55.704,60	Alemania	$ 224,19	$ 229,91	$ 205,27	$405,42	$205,72
Nisshinbo	$ 79.500,00	$111.300,00	Japón	$ 330,85	$ 336,57	$ 311,92	$512,07	$312,37
Amada	$275.500,00	$275.500,00	USA	$ 645,82	$ 651,56	$ 626,91	$827,06	$627,36

Tablas de Volumen de Producción vs. Costos Fijos y Variables

Corte por Chorro de Agua		
Volumen de Producción	Variables	Fijos
2	$ 36,18	$ 312,02
5	$ 36,18	$ 125,22
10	$ 36,18	$ 62,95
20	$ 36,18	$ 54,20
30	$ 36,18	$ 36,39
40	$ 36,18	$ 38,70
50	$ 36,18	$ 40,11
60	$ 36,18	$ 33,58
70	$ 36,18	$ 35,35
80	$ 36,18	$ 36,71
90	$ 36,18	$ 32,74
100	$ 36,18	$ 34,09

Corte por Láser		
Volumen de Producción	Variables	Fijos
2	$ 36,10	$ 107,97
5	$ 36,10	$ 54,44
10	$ 36,10	$ 37,11
15	$ 36,10	$ 31,76
20	$ 36,10	$ 24,37
30	$ 36,10	$ 21,88
40	$ 36,10	$ 18,96
50	$ 36,10	$ 17,38
60	$ 36,10	$ 17,03
70	$ 36,10	$ 16,16
80	$ 36,10	$ 15,56
90	$ 36,10	$ 15,48
100	$ 36,10	$ 15,07

Punzonado		
Producción	Variables	Fijos
2	$ 30,79	$ 620,76
5	$ 30,79	$ 250,34
10	$ 30,79	$ 126,87
20	$ 30,79	$ 104,99
40	$ 30,79	$ 74,47
60	$ 30,79	$ 78,07
80	$ 30,79	$ 69,99
100	$ 30,79	$ 73,54
120	$ 30,79	$ 69,23
140	$ 30,79	$ 66,23
160	$ 30,79	$ 69,38
180	$ 30,79	$ 67,23
200	$ 30,79	$ 69,89

Desglose del Porcentaje del Total sobre la Pieza			
	AWJ	Laser	Punzonado
Material	5,10%	8,17%	3,84%
Servicio	2,26%	2,53%	0,32%
Salarios Directos	1,09%	1,21%	0,60%
Máquina	33,99%	29,71%	54,4%
Herramientas	0,03%	0,01%	0,4%
Salarios Indirectos	25,76%	28,95%	13,5%
Edificio	0,12%	0,31%	0,1%
Instalación	16,99%	14,86%	13,6%
Equipo Auxiliar	8,50%	7,43%	5,4%
Mantenimiento	2,18%	2,42%	3,0%
Costos de Capital	4,00%	4,40%	4,9%
Total	100,00%	100,00%	100,00%

Desglose del Costo de la Pieza			
	AWJ	Laser	Punzonado
Material	$ 17,38	$ 24,77	$ 25,03
Servicio	$ 7,71	$ 7,68	$ 2,06
Salarios Directos	$ 3,70	$ 3,65	$ 3,93
Máquina y Mantenimiento	$ 123,20	$ 97,39	$ 374,14
Herramientas	$ 0,11	$ 0,02	$ 2,61
Salarios Indirectos	$ 87,75	$ 87,75	$ 87,75
Edificio	$ 0,40	$ 0,93	$ 0,59
Instalación y Equipo Auxiliar	$ 86,84	$ 67,54	$ 124,05
Costos de Capital	$ 13,61	$ 13,34	$ 31,63
TOTAL	$ 340,69	$ 303,07	$ 651,79

Proceso	Inversión Inicial	Costo Anual
Chorro de Agua	$ 4.869.401,35	$ 702.496,02
Laser	$ 4.582.060,29	$ 672.427,74
Punzonado	$ 7.383.299,54	$ 1.305.231,27

Apéndice D. Comparación de Propiedades y Costos

Chorro de Agua Abrasivo:

Máquina	Flow	Bystronic	Calypso	OMAX
Bomba	50 HP	50 HP	30 HP	40 HP
Salida	55,000 PSI	55,000 PSI	50,000 PSI	55,000 PSI
Area de corte	50"x 50"	60"x 120"	60"x 120"	55"x 55"
Presición	.005"	.003"	.003"	.002"
Costo	$ 90.000,00	$ 99.500,00	$ 130.000,00	$ 140.000,00

Láser:

Máquina	Mitsubishi	Amada Laser-Punzonadora	Han Kwang	Golden Laser
Potencia	2 KW	1.5 KW	2 KW	1 KW
Pieza máxima	48"x 96"	50"x 72"	48"x 96"	60"x 118"
Costo	$ 99.500,00	$ 125.000,00	$ 49.500,00	$ 50.000,00

Punzonadora:

Máquina	Nishibo	AC255NT	Trumph	Murata
Tonelaje	22	22	15	22
Espesor máximo de hoja	.25"	0.12"	.18"	.25"
Intervalo de viaje	40"x 50"	50"x 50"	40"x 40"	50"x 50"
Máxima razón de golpes	240 gpm	Eje X 390 gpm Eje Y 275gpm	300 gpm	220 gpm
Precisión	.003"	0.003"	.004"	.004"
Costo	$ 79.500,00	$ 275.500,00	$ 39.789,00	$ 129.500,00

Tecnológico de Monterrey, Campus Monterrey

30002007287709

http://biblioteca.mty.itesm.mx