



# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

## **CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**REINGENIERÍA DEL PROCESO DE FABRICACIÓN, REDISEÑO DE  
MATRICES Y SIMULACIÓN DEL PROCESO DE EMBUTICIÓN DE  
LA VAJILLA DE CAMPAÑA DE LÁMINA DE ALUMINIO TEMPLE  
H0 TIPO BANDEJA DE CAPACIDAD DE UN LITRO DE LA E.M.  
SANTA BÁRBARA E.P.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
MECÁNICO**

**FRANKLIN GIOVANNY AGUAIS GUACHAMIN**

**DIRECTOR: ING. PABLO FIGUEROA**

**CODIRECTOR: ING. PATRICIO QUEZADA**

**SANGOLQUÍ, JUNIO DEL 2013**

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

## **CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **A U T O R I Z A C I Ó N**

**Yo, FRANKLIN GIOVANNY AGUAIS GUACHAMIN**

Autorizo a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del proyecto de grado titulado **“REINGENIERÍA DEL PROCESO DE FABRICACIÓN, REDISEÑO DE MATRICES Y SIMULACIÓN DEL PROCESO DE EMBUTICIÓN DE LA VAJILLA DE CAMPAÑA DE LÁMINA DE ALUMINIO TEMPLE H0 TIPO BANDEJA DE CAPACIDAD DE UN LITRO DE LA E.M. SANTA BÁRBARA E.P.”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 19 de Junio del 2013.

---

FRANKLIN GIOVANNY AGUAIS GUACHAMIN

C.I.: 172181640-1

## **CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

**El proyecto “REINGENIERÍA DEL PROCESO DE FABRICACIÓN, REDISEÑO DE MATRICES Y SIMULACIÓN DEL PROCESO DE EMBUTICIÓN DE LA VAJILLA DE CAMPAÑA DE LÁMINA DE ALUMINIO TEMPLE H0 TIPO BANDEJA DE CAPACIDAD DE UN LITRO DE LA E.M. SANTA BÁRBARA E.P.” fue realizado en su totalidad por Franklin Giovanni Aguais Guachamin, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.**

---

**Ing. Pablo Figueroa**

**DIRECTOR**

---

**Ing. Patricio Quezada**

**CODIRECTOR**

**Sangolquí, 2013-06-19**

## **LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO**

**REINGENIERÍA DEL PROCESO DE FABRICACIÓN, REDISEÑO DE MATRICES Y SIMULACIÓN DEL PROCESO DE EMBUTICIÓN DE LA VAJILLA DE CAMPAÑA DE LÁMINA DE ALUMINIO TEMPLE H0 TIPO BANDEJA DE CAPACIDAD DE UN LITRO DE LA E.M. SANTA BÁRBARA E.P.**

**ELABORADO POR:**

---

**Franklin Giovanni Aguais Guachamin**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

---

**Ing. Angelo Villavicencio**

**DIRECTOR**

**Sangolquí, 2013-06-19**



## **DEDICATORIA**

**A Dios quien jamás me ha abandonado, a mi abuelito Antonio que con su ejemplo y consejo fue, es y será el motor de mi crecimiento desde temprana edad; sus ideas y su legado vivirán por siempre, a mi abuelita Manuela quien con cariño me guio, a mis padres Manuel y Consuelo quienes con su esfuerzo, paciencia y amor me enseñaron que no existen imposibles; a mi hermana que con su cariño siempre me ha acompañado; a mis tíos y primos de los cuales aprendí que poseo más de un tesoro y los cuales me brindan confianza y cariño.**

**Para mis amigos que en los momentos buenos y malos han estado acompañándome como hermanos.**

## **AGRADECIMIENTOS**

**Agradezco a Dios, quien todos los días me dio razones para no rendirme.**

**A mis padres, quienes me han apoyado en todos los aspectos durante mi realización.**

**A mi amada hermana quien alegra mis razones para seguir adelante.**

**A mi director el Ing. Pablo Figueroa y codirector Ing. Patricio Quezada; los cuales ayudaron a pulir este proyecto y ha sido parte fundamental en el desarrollo del mismo.**

**A mis amigos del colegio Don Bosco, Diego, Francisco, Danilo, Ricardo, Cesar de quienes guardo gratos recuerdos.**

**A mis amigos de la ESPE, Iván, Ricardo, Henry, Andrés, Pablo, Daniel, Diego y tantos otros que a lo largo de mi estadía en la Universidad supieron compartir buenos y malos momentos apoyándonos y dándonos coraje para lograr nuestras metas.**

**Finalmente agradezco a todas aquellas personas que durante mi crecimiento pusieron su confianza, me dieron apoyo y muchas veces esperanza en actos tan cotidianos.**

**Gracias.**

# ÍNDICE

| <b>Contenido</b>                                   | <b>Pág.</b> |
|----------------------------------------------------|-------------|
| <b>CAPÍTULO 1: GENERALIDADES</b>                   |             |
| 1.1 ANTECEDENTES .....                             | 1           |
| 1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....                   | 2           |
| 1.3 OBJETIVOS .....                                | 2           |
| 1.3.1 Objetivo General .....                       | 2           |
| 1.3.2 Objetivos Específicos.....                   | 2           |
| 1.4 ALCANCE .....                                  | 3           |
| 1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....              | 3           |
| <b>CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL</b>      |             |
| 2.1 PRODUCCIÓN DE LOS COMPONENTES.....             | 4           |
| 2.1.1. Materiales para chapa .....                 | 4           |
| 2.1.1.1. Aluminio.....                             | 5           |
| 2.1.1.2. Chapas de latón.....                      | 5           |
| 2.1.1.3 Chapas de cobre .....                      | 6           |
| 2.1.1.4 Aleaciones de Níquel.....                  | 6           |
| 2.1.1.5 La Alpaca.....                             | 6           |
| 2.1.2. Procesos de producción metalmeccánica ..... | 6           |
| 2.1.2.1. Por arranque de Viruta .....              | 6           |
| 2.1.2.2. Sin arranque de Viruta.....               | 30          |
| 2.1.3 Lubricación .....                            | 37          |

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2 REINGENIERÍA DE PROCESOS .....                                            | 37 |
| 2.2.1 Concepto .....                                                          | 37 |
| 2.2.2 Metodología esquemática de reingeniería de procesos.....                | 37 |
| 2.2.3 Análisis de línea de producción. ....                                   | 42 |
| 2.2.4 Proceso de fabricación .....                                            | 42 |
| 2.2.5 Tiempos de producción.....                                              | 42 |
| 2.2.6 Medición del proceso. ....                                              | 42 |
| 2.2.7 La simulación en procesos de manufactura usando elementos finitos. .... | 43 |
| 2.3 DISEÑO DE MATRICES .....                                                  | 44 |
| 2.3.1. Definiciones .....                                                     | 44 |
| 2.3.2. Juegos para el Punzón y Matriz.....                                    | 44 |
| 2.3.4. Tolerancias de Fabricación.....                                        | 45 |
| 2.3.5. Presión de Aplastamiento .....                                         | 47 |
| 2.3.6. Matriz de Corte .....                                                  | 48 |
| 2.3.7. Matriz de Embutición .....                                             | 51 |
| 2.3.8. Mecanismo de Acoplamiento. ....                                        | 53 |
| 2.3.9. Dimensionamiento. ....                                                 | 53 |
| 2.3.10. Capacidad de Producción.....                                          | 54 |

### **CAPÍTULO 3: REINGENIERÍA DEL PROCESO DE FABRICACIÓN**

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| 3.1 REINGENIERÍA DEL PROCESO FABRICACIÓN .....         | 56 |
| 3.2 ANÁLISIS DE LÍNEA DE PRODUCCIÓN. ....              | 58 |
| 3.3 PROCESO DE FABRICACIÓN.....                        | 60 |
| 3.4 PROPUESTA DE REINGENIERÍA .....                    | 63 |
| 3.5 MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE TIEMPOS DE PRODUCCIÓN. .... | 67 |

## **CAPÍTULO 4: REDISEÑO DE LAS MATRICES**

|                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1 TIRA DEL MATERIAL .....                                  | 77  |
| 4.1.1. Chapa metálica .....                                  | 77  |
| 4.1.2. Pieza recortada.....                                  | 77  |
| 4.1.2.1. Recorte de embutición.....                          | 77  |
| 4.2. CÁLCULO DE FUERZAS PRODUCIDAS PARA EL CORTE DE LA CHAPA | 80  |
| 4.2.1 Esfuerzo de corte.....                                 | 80  |
| 4.2.2 Fuerza de extracción y expulsión.....                  | 82  |
| 4.3. MATRIZ DE CORTE .....                                   | 83  |
| 4.3.1. Placa matriz .....                                    | 83  |
| 4.3.2. Base.....                                             | 87  |
| 4.3.3. Punzón.....                                           | 89  |
| 4.3.4. Placa porta punzón .....                              | 94  |
| 4.3.5. Placa pisador .....                                   | 95  |
| 4.3.6. Casquillos .....                                      | 97  |
| 4.3.7. Columnas.....                                         | 99  |
| 4.3.8. Muelles .....                                         | 101 |
| 4.3.9. Vástago.....                                          | 103 |
| 4.3.10. Elementos de unión .....                             | 104 |
| 4.4. MATRIZ DE EMBUTICIÓN .....                              | 107 |
| 4.4.1. Matriz .....                                          | 107 |
| 4.4.2. Punzón de embutición .....                            | 111 |
| 4.4.3. Placa expulsora .....                                 | 113 |

|                                                   |     |
|---------------------------------------------------|-----|
| 4.4.5. Elementos de unión .....                   | 114 |
| 4.4.6. Fuerzas de embutición.....                 | 114 |
| 4.4.7. Presión del prensa chapas .....            | 116 |
| 4.4.8. Velocidad de embutición.....               | 118 |
| 4.4.9. Lubricación.....                           | 118 |
| 4.4.10. Propuesta de método de centramiento ..... | 120 |
| 4.5. MATRIZ CORTE DE ALETA .....                  | 124 |
| 4.5.1. Fuerza de corte.....                       | 124 |
| 4.5.2. Placa matriz .....                         | 125 |
| 4.5.3. Base inferior.....                         | 127 |
| 4.5.3. Base superior.....                         | 129 |
| 4.5.4. Punzón de corte.....                       | 129 |
| 4.5.6. Muelles .....                              | 132 |

## **CAPÍTULO 5: SIMULACIÓN DE LA LÁMINA DE ALUMINIO**

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| 5.1 PREPARACIÓN DE LA GEOMETRÍA. ....     | 135 |
| 5.2 SIMULACIÓN EN WORKBENCH .....         | 136 |
| 5.2.1. Selección de tipo de análisis..... | 136 |
| 5.2.2. Selección del material .....       | 137 |
| 5.2.3. Importar geometría .....           | 139 |
| 5.2.4. Configuración del modelo. ....     | 140 |
| 5.2.5. Contactos.....                     | 141 |
| 5.2.6. Mallado. ....                      | 143 |
| 5.2.7. Configuración del análisis. ....   | 144 |
| 5.2.8. Condiciones de contorno. ....      | 145 |

|                                                      |     |
|------------------------------------------------------|-----|
| 5.3 SOLUCIÓN Y RESULTADOS.....                       | 146 |
| 5.3.1. Deformación total.....                        | 146 |
| 5.3.2. Deformación direccional .....                 | 147 |
| 5.3.3. Esfuerzo equivalente máximo (von mises) ..... | 148 |

## **CAPÍTULO 6: ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO**

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 6.1 ANÁLISIS ECONÓMICO.....        | 149 |
| 6.1.1. Costos directos .....       | 149 |
| 6.1.2. Costos indirectos .....     | 151 |
| 6.1.3. Costos total matrices ..... | 152 |
| 6.2 ANÁLISIS FINANCIERO.....       | 152 |

## **CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 7.1 CONCLUSIONES .....   | 157 |
| 7.2 RECOMENDACIONES..... | 158 |
| BIBLIOGRAFÍA .....       | 159 |
| ANEXOS .....             | 162 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| <b>Contenido</b>                             | <b>Pág.</b> |
|----------------------------------------------|-------------|
| Figura 2.1 Torneado.....                     | 6           |
| Figura 2.2 El torno y sus partes.....        | 7           |
| Figura 2.3 Cilindrado.....                   | 9           |
| Figura 2.4 Refrentado.....                   | 9           |
| Figura 2.5 Ranurado.....                     | 10          |
| Figura 2.6 Roscado.....                      | 10          |
| Figura 2.7 Moleteado.....                    | 11          |
| Figura 2.8 Torno Paralelo.....               | 12          |
| Figura 2.9 Torno Copiador.....               | 13          |
| Figura 2.10 Torno Copiador.....              | 14          |
| Figura 2.11 Torno Copiador.....              | 15          |
| Figura 2.12 Torno Automático.....            | 15          |
| Figura 2.12 Torno CNC.....                   | 16          |
| Figura 2.13 Fresadora Horizontal.....        | 19          |
| Figura 2.14 Fresadora Vertical.....          | 20          |
| Figura 2.15 Fresadora Universal.....         | 21          |
| Figura 2.16 Máquina Fresadora de roscas..... | 21          |
| Figura 2.16 Fresas de Forma.....             | 23          |
| Figura 2.17 Máquina Rectificadora.....       | 24          |
| Figura 2.18 Rectificadora Plana.....         | 25          |
| Figura 2.19 Rectificadora Centerless.....    | 26          |
| Figura 2.20 Rectificadora Universal.....     | 27          |



|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2.21 Rectificadora Cilíndrica.....                       | 27 |
| Figura 2.22 Muelas .....                                        | 28 |
| Figura 2.23 Proceso de cizallado.....                           | 30 |
| Figura 2.24 Proceso de troquelado.....                          | 31 |
| Figura 2.25 Doblado entre formas .....                          | 33 |
| Figura 2.26 Doblado Deslizante.....                             | 33 |
| Figura 2.27 Dado y lámina de doblado.....                       | 34 |
| Figura 2.28 Embutición de Simple Efecto.....                    | 35 |
| Figura 2.29 Embutición de Doble Efecto.....                     | 36 |
| Figura 2.30 Juego de embutición.....                            | 46 |
| Figura 2.31 Juego de embutición.....                            | 47 |
| Figura 2.32 Matriz de Corte.....                                | 48 |
| Figura 2.33 Postizos.....                                       | 50 |
| Figura 2.34 Postizos compuestos.....                            | 50 |
| Figura 2.34 Pastillas compuestas.....                           | 51 |
| Figura 2.35 Matriz de Embutición.....                           | 51 |
| Figura 2.36 tornillo-placa.....                                 | 53 |
| Figura 2.37 Bridas-tornillos.....                               | 53 |
| Figura 3.1 Diagrama del ISHIKAWA.....                           | 59 |
| Figura 3.2 Diagrama del proceso de fabricación.....             | 60 |
| Figura 3.3 Diagrama del proceso de fabricación en análisis..... | 61 |
| Figura 3.4 LAYOUT del proceso de fabricación en análisis.....   | 63 |
| Figura 3.5 Diagrama de Pareto.....                              | 66 |
| Figura 3.6 Observación de Tiempos.....                          | 73 |
| Figura 3.7 Hoja Estándar.....                                   | 75 |

|                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 4.1 Trazado teórico del desarrollo del recorte.....        | 79  |
| Figura 4.2 Trazado práctico del desarrollo del recorte.....       | 80  |
| Figura 4.3 Dimensiones para cálculo de perímetro del recorte..... | 81  |
| Figura 4.4 Dimensiones de vida de la placa matriz.....            | 85  |
| Figura 4.5 Forma y Dimensiones de la placa matriz.....            | 87  |
| Figura 4.6 Dimensiones de la placa de base inferior.....          | 88  |
| Figura 4.7 Ángulo de evacuación.....                              | 89  |
| Figura 4.8 Porta punzón y cuchilla del punzón.....                | 89  |
| Figura 4.9 Cuchilla del punzón.....                               | 90  |
| Figura 4.10 Sección1 de la cuchilla del punzón.....               | 91  |
| Figura 4.11 Sección 2 de la cuchilla del punzón.....              | 91  |
| Figura 4.12 Esquema para cálculo de la inercia.....               | 93  |
| Figura 4.13 Placa porta punzón.....                               | 95  |
| Figura 4.14 Placa Pisador.....                                    | 96  |
| Figura 4.15 Sujeción y Montaje.....                               | 97  |
| Figura 4.16 Buje móvil.....                                       | 98  |
| Figura 4.17 Buje fijo.....                                        | 99  |
| Figura 4.18 Grado de Ajuste del sistema guía por columnas.....    | 100 |
| Figura 4.19 Disposición del sistema de guiado.....                | 100 |
| Figura 4.20 Dimensiones de la columna.....                        | 101 |
| Figura 4.21 Posición de los muelles sobre la placa pisador.....   | 102 |
| Figura 4.22 Separación entre agujeros.....                        | 105 |
| Figura 4.23 Ubicación de agujero con respecto al borde.....       | 105 |
| Figura 4.24 Huelgo de embutición.....                             | 110 |
| Figura 4.25 Matriz de embutición.....                             | 111 |

|                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 4.26 Macho de embutición.....                                    | 111 |
| Figura 4.27 Pedestal del punzón.....                                    | 112 |
| Figura 4.28 Base del punzón.....                                        | 113 |
| Figura 4.29 Conjunto placa Expulsora.....                               | 113 |
| Figura 4.30 Disposición del lubricante.....                             | 118 |
| Figura 4.31 Disposición de agujero con respecto al borde.....           | 120 |
| Figura 4.32 Ubicación de ejes centradores.....                          | 121 |
| Figura 4.33 Juego y centramiento con galgas entre macho y hembra.....   | 121 |
| Figura 4.34 Juego y centramiento con galgas entre macho y expulsor..... | 122 |
| Figura 4.35 Posicionamiento del sistema centrador.....                  | 123 |
| Figura 4.36 Conjunto centrado.....                                      | 123 |
| Figura 4.37 Bandeja con Aleta.....                                      | 124 |
| Figura 4.38 Vida útil.....                                              | 125 |
| Figura 4.39 Forma y Dimensiones de la placa matriz.....                 | 127 |
| Figura 4.40 Placa base inferior.....                                    | 127 |
| Figura 4.41 Forma y dimensión de la base inferior.....                  | 128 |
| Figura 4.42 Forma y dimensión de la base superior.....                  | 129 |
| Figura 4.43 cuchilla del punzón.....                                    | 130 |
| Figura 4.44 Expulsor del punzón.....                                    | 130 |
| Figura 4.45 Punzón.....                                                 | 131 |
| Figura 4.46 Expulsor.....                                               | 132 |
| Figura 4.47 Muelles.....                                                | 133 |
| Figura 5.1 Conjunto de embutición.....                                  | 135 |
| Figura 5.2 Conjunto de embutición simplificado.....                     | 136 |
| Figura 5.3 Selección de Sistema de Análisis.....                        | 137 |

|                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 5.4 Engineering Data.....                                | 137 |
| Figura 5.5 Selección de Material.....                           | 138 |
| Figura 5.6 Propiedades del Aluminio Temple H0.....              | 139 |
| Figura 5.7 Importar geometría.....                              | 139 |
| Figura 5.8 Modelo.....                                          | 140 |
| Figura 5.9 Configuración del material en la geometría.....      | 140 |
| Figura 5.10 Frictional Contact.....                             | 141 |
| Figura 5.11 Configuración Avanzada para Frictional Contact..... | 142 |
| Figura 5.12 Bonded Contacts.....                                | 143 |
| Figura 5.13 Mallado General.....                                | 143 |
| Figura 5.14 Mallado específico en la chapa.....                 | 144 |
| Figura 5.15 Configuración del Análisis.....                     | 145 |
| Figura 5.16 Fixed support.....                                  | 145 |
| Figura 5.17 Condiciones de contorno.....                        | 146 |
| Figura 5.18 Deformación Total.....                              | 147 |
| Figura 5.19 Deformación Direccional Eje Y.....                  | 147 |
| Figura 5.20 Esfuerzo equivalente máximo.....                    | 148 |

## ÍNDICE DE TABLAS

| <b>Contenido</b>                                                                                                               | <b>Pág.</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| TABLA 2.1. Características y propiedades de chapas metálicas .....                                                             | 5           |
| TABLA 2.2. Listado de posibles procesos.....                                                                                   | 38          |
| TABLA 2.3. Matriz de priorización de procesos .....                                                                            | 39          |
| TABLA 2.4. Ficha de proceso .....                                                                                              | 41          |
| TABLA 2.5. Tolerancia de Corte .....                                                                                           | 45          |
| TABLA 3.1 Identificación de Procesos .....                                                                                     | 56          |
| TABLA 3.2 Priorización de procesos.....                                                                                        | 57          |
| Tabla 3.4 Tiempos de Procesamiento.....                                                                                        | 67          |
| Tabla 3.5 Calificación del operador.....                                                                                       | 69          |
| Tabla 3.6 Suplementos usados en el análisis de la línea.....                                                                   | 70          |
| Tabla 3.7 Suplemento .....                                                                                                     | 70          |
| Tabla 3.8 Tiempo Estándar del Proceso de Despunte.....                                                                         | 71          |
| Tabla 3.9 Tiempo Estándar del Proceso de Embutición de Recipiente.....                                                         | 71          |
| Tabla 3.10 Tiempo Estándar del Proceso de Corte de Exceso de Recipiente .....                                                  | 72          |
| Tabla 3.11 Tiempo Estándar del Proceso de Embutición Jarro FASE1 .....                                                         | 72          |
| Tabla 3.12 Tiempo Estándar del Proceso de Embutición Jarro FASE2 .....                                                         | 72          |
| Tabla 3.13 Tiempo Estándar del Proceso de Corte de Exceso de JARRO.....                                                        | 73          |
| TABLA 4.1 Resumen de Esfuerzos.....                                                                                            | 83          |
| TABLA 4.2 Distancia mínima de las perforaciones al borde en función del espesor de la placa matriz y del tipo de contorno..... | 86          |

|            |                                                                          |     |
|------------|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| TABLA 4.3  | Cálculo de inercia total.....                                            | 93  |
| TABLA 4.4  | Características de los muelles V26x45 .....                              | 103 |
| TABLA 4.5  | Diámetro recomendado para el vástago.....                                | 104 |
| TABLA 4.6  | Separación mínima de agujeros de acuerdo al material .....               | 105 |
| TABLA 4.7  | Separación mínima de agujero-borde de acuerdo al material .....          | 105 |
| TABLA 4.8  | Longitud mínima de roscado dependiendo del material.....                 | 106 |
| TABLA 4.9  | Cargas máximas de pernos allen en función a su diámetro .....            | 106 |
| TABLA 4.10 | Cargas admisible del pasador en función a su diámetro .....              | 107 |
| TABLA 4.11 | Determinación del radio de la matriz según el espesor del material ..... | 108 |
| TABLA 4.12 | Juego entre matriz/punzón según el espesor del materia.....              | 109 |
| TABLA 4.13 | Factor de relación de embutición .....                                   | 115 |
| TABLA 4.14 | Presión practico del pisador.....                                        | 117 |
| TABLA 4.15 | Presiones específicas. ....                                              | 117 |
| TABLA 4.16 | Características de los muelles V16x25 .....                              | 134 |
| TABLA 6.1  | Costo de Materiales de Matriz de Corte.....                              | 149 |
| TABLA 6.2  | Costo de Materiales de Matriz de Embutición.....                         | 150 |
| TABLA 6.3  | Costo de Materiales de Matriz de Corte de Aleta.....                     | 150 |
| TABLA 6.4  | <i>Costo de Diseño e Ingeniería.</i> ....                                | 151 |
| TABLA 6.5  | Costo de Mano de Obra.....                                               | 151 |
| TABLA 6.6  | Costos Indirectos .....                                                  | 151 |
| TABLA 6.7  | Costos Total Matrices .....                                              | 152 |
| TABLA 6.8  | Análisis de Ingresos.....                                                | 152 |
| TABLA 6.9  | Análisis de Egresos .....                                                | 153 |
| TABLA 6.10 | Periodo de recuperación de la Inversión.....                             | 153 |
| TABLA 6.11 | Flujo de Caja Neto .....                                                 | 154 |

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| TABLA 6.12 TIR .....                      | 155 |
| TABLA 6.13 VAN .....                      | 156 |
| TABLA 6.13 Relación costo beneficio ..... | 156 |

## RESUMEN

El presente proyecto se enfoca en desarrollar un método de reingeniería para mejorar técnicas de producción de la fábrica EM Santa Bárbara EP, a través de un control y registro de datos documentados, el rediseño de sus matrices y mediante la simulación del proceso de embutición en un programa de elementos finitos.

Dicho proyecto ha sido desarrollado en siete capítulos que se detallan a continuación:

El capítulo uno describe el problema, los objetivos a alcanzar, la justificación e importancia y el alcance.

El capítulo dos muestra de manera rápida los procesos de conformado mecánico con y sin arranque de viruta, formas de medición y conceptos de reingeniería de procesos, parámetros y nociones de diseño de matrices.

En el capítulo tres se desarrolla la investigación y aplicación del método de reingeniería que será utilizado para el mejoramiento del proceso de producción, medición e identificación de posibles causas, análisis de resultados, propuesta de soluciones, selección de la mejor alternativa y finalmente un procedimiento para obtener los mejores resultados.

El capítulo cuatro contempla el rediseño de las matrices propiamente dicho; haciendo un análisis desde el inicio de la línea de producción, se justifica la forma y medidas del recorte de la materia prima; se realiza un cálculo matemático de fuerzas de corte y embutición, juegos, radios, dimensiones y selección de los elementos que conforman cada una de las tres matrices, se justifica cada material utilizados en los conjuntos mecánicos.

En el capítulo cinco describe de manera detallada las condiciones, propiedades, método de mallado y análisis que se utilizó para el desarrollo de la simulación del proceso de embutición en el paquete Structural Analysis del programa Workbench y finalmente se hace una interpretación de sus resultados.



El capítulo seis muestra de manera detallada el análisis financiero y económico que asegura la completa viabilidad del proyecto y garantiza su rentabilidad.

En el capítulo siete se encuentran las conclusiones y recomendaciones a las que se ha llegado luego del desarrollo del proyecto.

Ya que se ha logrado cumplir los objetivos deseados se puede decir que la utilidad de este proyecto pretende solidificarse como apoyo ingenieril en futuros procesos que emprenda la fábrica, principalmente los que tengan que ver con la embutición.

# **CAPÍTULO I**

## **GENERALIDADES**

### **1.1 ANTECEDENTES**

La E.M. Santa Bárbara E.P. incursiona en varios campos de la industria metalmecánica, siendo un apoyo técnico valioso para el Ejército Ecuatoriano y para la industria nacional.

Dentro de la empresa se realizan varios proyectos para satisfacer las necesidades existentes en la Fuerza Terrestre, lo que conlleva a incursionar en el diseño de productos en varias áreas, siendo entre otras, matricería, balística, estructuras, etc.

Se presta un especial interés en la producción en serie de artículos como vajillas, hebillas y cubiertos.

La Fuerza Terrestre ha visto la necesidad de manufacturar vajilla de campaña, ya que las mismas se entregarán en dotación al personal militar.

Las tropas militares del ejército ecuatoriano utilizan en sus movimientos de patrullaje, implementos necesarios para su óptima alimentación lo cual dará como resultado el óptimo desempeño del personal.

La empresa EM SANTA BÁRBARA E.P. lleva 30 años fabricando la vajilla de campaña dentro de este tiempo ha mantenido el mismo proceso de manufactura, por lo cual es necesario actualizar sus métodos a fin de mejorar costos y calidad de producto.

Mediante la aplicación de ingeniería mecánica se persigue un desarrollo tecnológico para realización de trabajos que parecen difíciles o de exactitud, que es capaz de realizar el ser humano con la herramienta apropiada, pero que todavía no se han creado o no se han desarrollado lo suficiente.

## **1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

La E.M. Santa Bárbara E.P., siempre se ha caracterizado por proveer de equipo y armamento a las Fuerzas Armadas con eficiencia y buena calidad, pero en los últimos años no se han realizado proyectos que evalúen u optimicen el proceso de fabricación de la vajilla de campaña o que den solución a posibles inconvenientes causadas por falta de un rediseño de las matrices que conforman la línea de producción que asegurara reducir el número de elementos que presenten fallas.

La industria del Ecuador no dispone de la herramienta adecuada durante la fase de diseño de la vajilla de campaña de chapa de aluminio embutido, para la elaboración de prototipos se utiliza el método de prueba y error.

Las empresas dedicadas a la embutición de chapa metálica y que conocen de la simulación virtual, invierten grandes cantidades económicas en la capacitación del personal para el manejo de estos paquetes computacionales.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo General**

Realizar la reingeniería del proceso de fabricación, rediseño de las matrices y simulación del proceso de embutición de la vajilla de campaña de lámina de aluminio temple H0 tipo bandeja de capacidad de un litro que produce la E.M. SANTA BÁRBARA E.P.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Realizar la reingeniería del proceso productivo total.
- Rediseñar las matrices de fabricación de la vajilla de campaña.
- Simular el proceso de fabricación por embutición de la vajilla de campaña mediante software basado en elementos finitos.

## **1.4 ALCANCE**

En el presente proyecto se realizara el estudio del actual proceso de fabricación, al cual se le aplicará reingeniería para su análisis, mejoras, reducción el porcentaje de piezas desechadas y optimización del mismo por medio de un rediseño y simulación con herramientas CAD CAM CAE.

## **1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

En la actualidad no se han desarrollado proyectos de mejora en la E.M. SANTA BARBARA E.P. con el fin de mejorar los procesos de fabricación o modernizarlos.

Con el presente proyecto se busca optimizar el proceso de fabricación de la vajilla de campaña que se produce en la EM SANTA BARBARA E.P.

Actualmente la fábrica tiene una tasa de producción de 1000 vajillas mensuales, de las cuales se tiene un porcentaje de pérdidas del 3%, esta cifra incluye fallas debidas principalmente al tipo de laminación del aluminio usado como materia prima ya que este material al momento de su respectiva manufactura se rasga y se daña, incrementando de esta manera los índices de pérdida, por esta razón es necesario realizar por medio de una reingeniería del proceso mejoras que ayudarán a la línea de producción lo cual logrará reducir pérdidas y tiempos de transformación mecánica, enfocándose en el diseño de nuevas matrices y respaldando el estudio en una simulación del método que está involucrado en la obtención de este producto el cual es de vital importancia para incursiones militares, alimentación y buen desempeño del personal.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

#### **2.1 PRODUCCIÓN DE LOS COMPONENTES**

##### **2.1.1. Materiales para chapa**

Se denomina chapa a una lámina delgada de metal que se utiliza para las construcciones mecánicas tales como carrocerías de automóviles, cisternas de camiones, etc.

Las chapas se construyen en varios espesores, generalmente de 1 a 12 milímetros, dependiendo del uso y del tipo de fabricación que tenga. Su mecanizado se realiza en prensas de estampación y de troquelaje mediante punzones y matrices. Las chapas no son solo de metal, sino de cualquier material que sea maleable. Para darles mayor rigidez, a menudo las chapas se pliegan formando grecas, ondas, etc., que aumentan su inercia.

Los elementos que se fabrican de chapas metálicas suelen llevar tratamientos superficiales contra la oxidación y corrosión, tales como cromados, pinturas, galvanizados, etc. La hojalata es un tipo de chapa metálica de hierro y estaño muy delgada que se utiliza para fabricar envases de conservas.

##### **2.1.1.1. Acero**

Las chapas de acero dependen principalmente del material inicial, estado de la superficie y el tratamiento aplicado, deben poseer resistencia a la rotura de 30 a 38 Kgf/m<sup>2</sup> y un porcentaje de alargamiento entre 25 a 32%. La chapa más empleada es la del tipo F-1111 (UNE-EN), para embuticiones profundas las chapas de acero tienen que poseer un contenido de carbono de 0,05 a 0,1%, en manganeso de 0,3 a 0,5%, el acero al manganeso (13 a 14%) el acero inoxidable (18Cr, 8Ni) y el acero silicio (chapas magnéticas).

### 2.1.1.2. Aluminio

Utilizadas para el trabajo de estampado en frío, por ser un material blando, debe manipularse según sus limitaciones para no deformar el fleje y la pieza terminada. Las chapas de aluminio se clasifican según su pureza y su calidad (recocido, semiduro y duro), tenemos como principales aleaciones que se en la práctica a:

Aleaciones sin tratamiento térmico:

- Aleaciones al manganeso (Al, Mn)
- Aleaciones al magnesio (AL, Mg)

Aleaciones con tratamiento térmico:

- Aleaciones sin cobre (Al, Mg, Si, Mn)
- Aleaciones con cobre (Al, Cu, Mg, Si) duraluminio.

### 2.1.1.3 Chapas de latón

Para su utilización este tipo de chapa debe pasar por un proceso térmico, y se clasifica según:

- Su contenido de cobre el cual puede ser de: 63-67-72-85 %.
- Su calidad: blando, semiduro y duro.

| METALES     |                        | Carga de rotura    | Alargamiento | Profundidad Ericksen | Presión sujetador  |
|-------------|------------------------|--------------------|--------------|----------------------|--------------------|
|             |                        | Kg/mm <sup>2</sup> | %            | mm                   | Kg/cm <sup>2</sup> |
| Acero       | Para troquelar         | 36                 | 20           | 9                    | 28                 |
|             | De embutición          | 33                 | 24           | 10                   | 25                 |
|             | De embutición profunda | 35                 | 26           | 10,4                 | 24                 |
|             | Para carrocería        | 36                 | 25           | 10,6                 | 22                 |
|             | Al silicio             | 48                 | -            | -                    | -                  |
|             | Inoxidable             | 55                 | 23           | 13                   | 20                 |
| Hojalata    |                        | 32                 | 20           | 9,5                  | 30                 |
| Cobre       |                        | 23                 | 37           | 12                   | 20                 |
| Bronce      | De estaño              | 45                 | 10           | 10                   | 25                 |
|             | De aluminio            | 35                 | 40           | 11,5                 | 20                 |
| Latón       | LT 71                  | 30                 | 45           | 14,5                 | 20                 |
|             | LT 60 a 63 Dulce       | 33                 | 45           | 13,5                 | 22                 |
|             | Semiduro               | 39                 | 25           | 12                   | 22                 |
|             | Zinc                   | 13                 | 56           | 8                    | 12                 |
| Aluminio    | Dulce                  | 9                  | 25           | 10                   | 10                 |
|             | Semiduro               | 12                 | 8            | 8,5                  | 12                 |
|             | Duro                   | 15                 | 5            | 7                    | 15                 |
| Duraluminio | Dulce                  | 20                 | 19           | 10                   | 10                 |
|             | Agrio                  | 40                 | 12           | 8                    | 12                 |
| Niquel      |                        | 47                 | 45           | 12                   | 20                 |
| Monel       |                        | 50                 | 40           | 11                   | 18                 |
| Alpaca      |                        | 40                 | 30           | -                    | -                  |

TABLA 2.1. Características y propiedades de chapas metálicas<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (DE KONINCK, J.; GUTTER, D., 1968, pág. 8)

#### 2.1.1.4 Chapas de cobre

Metal dulce: con una resistencia a la rotura de 22 a 25 Kgf/mm<sup>2</sup> y alargamiento de 31 a 42 %.

Metal agrio: Con una resistencia a la rotura de 45 Kgf/mm<sup>2</sup> y un porcentaje de alargamiento de 1 a 2 %.

#### 2.1.1.5 Aleaciones de Níquel

Monel: Ni, Cu, Mg.

Inconel: Ni, Cr, Fe, Mn.

#### 2.1.1.6 La Alpaca

Se encuentra entre otros metales más utilizados, esta es una aleación que se encuentra compuesta de: Cu, Ni, Zn, también se lo denomina como maillechort.

### 2.1.2. PROCESOS DE PRODUCCIÓN METALMECÁNICA

#### 2.1.2.1. Por arranque de Viruta

##### 2.1.2.1.1 TORNEADO

Este proceso consiste en perfilar alrededor de un eje o barra un sólido de revolución, mediante arranque de material en forma de viruta o rebaba, con la finalidad de obtener una geometría requerida y lograr al mismo tiempo tolerancias adecuadas, además de que podemos lograr una mayor calidad superficial y reducir costos cuando se trata de producción unitaria.

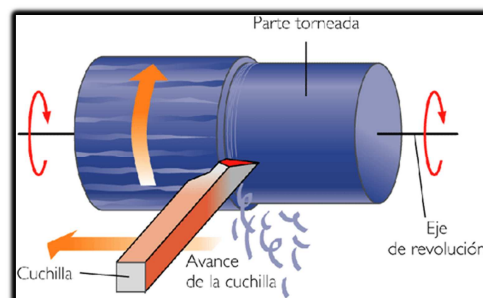


Figura 2.1 Torneado<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> (Kalipedia, 2012)

Para efectuar el torneado se requiere de accesorios adecuados para fijar las piezas en la máquina y de las herramientas adecuadas que permiten realizar todas las operaciones de torneado que cada pieza requiera.

## TORNO

El torno es una máquina que hace que la pieza sobre la que se trabaja gire sobre sí misma y mediante un instrumento cortante, se va dando la forma deseada.

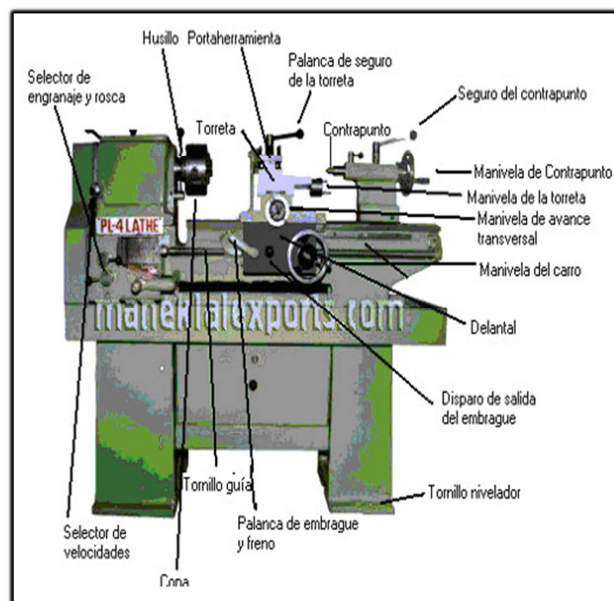


Figura 2.2 El torno y sus partes<sup>3</sup>

**Bancada:** constituye el asiento de la máquina. Suele fabricarse de aleación de hierro y carbono y sirve de apoyo y guía a las demás partes. En uno de sus extremos se sitúa el cabezal fijo.

**Cabezal fijo:** está en uno de los extremos de la bancada. En su interior se alojan el motor eléctrico que acciona la máquina y una caja de cambios, que se maneja desde el exterior y permite seleccionar la velocidad de giro del torno. En el extremo del eje que sale del cabezal, hay un plato universal que se puede abrir o cerrar para adoptarlo al grosor de la pieza que se trabaja.

<sup>3</sup> (Salvador, 2010)



**Contrapunta:** está situada en el otro extremo de la bancada y puede desplazarse sobre esta en sentido longitudinal. Consta de un cilindro terminado en punta cónica que se fija al otro extremo de la pieza. La manivela permite presionar la punta sobre la pieza y el tornillo de fijación permite inmovilizar el contrapunto sobre la bancada, una vez se encuentra en la posición adecuada.

**Carro principal:** puede deslizarse paralelamente a la pieza que se tornea y transporta los otros dos carros: el carro transversal y el carro portaherramientas.

**Carro transversal:** puede desplazarse sobre el carro principal de forma perpendicular a la pieza que se tornea, Sobre él se sitúa el carro portaherramientas.

**Carro portaherramientas:** se apoya sobre una plataforma giratoria y orientable que hay sobre el carro transversal. Este carro porta y sujeta la herramienta o cuchilla.

## **OPERACIONES DEL TORNEADO**

### **CILINDRADO**

Esta operación consiste en la mecanización exterior a la que se somete a las piezas que tienen mecanizados cilíndricos. Para poder efectuar esta operación, con el carro transversal se regula la profundidad de pasada, por tanto, el diámetro del cilindro, y con el carro paralelo se regula la longitud del cilindro. El carro paralelo avanza de forma automática de acuerdo al avance de trabajo deseado. En este procedimiento, el acabado superficial y la tolerancia que se obtenga puede ser un factor de gran relevancia. Para asegurar calidad al cilindrado el torno tiene que tener bien ajustada su alineación y concentricidad. El cilindrado se puede hacer con la pieza al aire sujeta en el plato de garras, si es corta, o con la pieza sujeta entre puntos y un perro de arrastre, o apoyada en luneta fija o móvil si la pieza es de grandes dimensiones y peso. Para realizar el cilindrado de piezas o ejes sujetos entre puntos, es necesario previamente realizar los puntos de centraje en los ejes.

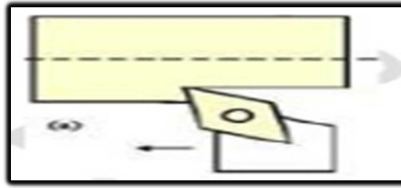


Figura 2.3 Cilindrado<sup>4</sup>

## REFRENTADO

La operación consiste en un mecanizado frontal y perpendicular al eje de las piezas que se realiza para producir un buen acoplamiento en el montaje posterior de las piezas torneadas. Esta operación también es conocida como frontado. La problemática que tiene es que la velocidad de corte en el filo de la herramienta va disminuyendo a medida que avanza hacia el centro, lo que ralentiza la operación. Para mejorar este aspecto muchos tornos modernos incorporan variadores de velocidad en el cabezal de tal forma que se puede ir aumentando la velocidad de giro de la pieza.

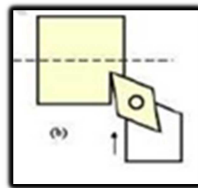


Figura 2.4 Refrentado<sup>5</sup>

## RANURADO

Consiste en mecanizar unas ranuras cilíndricas de anchura y profundidad variable en las piezas que se tornear, las cuales tienen muchas utilidades diferentes. Por ejemplo, para alojar una junta tórica, para salida de rosca, para arandelas de presión, etc. En este caso la herramienta tiene ya conformado el ancho de la ranura y actuando con el carro transversal se le da la profundidad deseada. Los canales de las poleas son un ejemplo claro de ranuras torneadas.

---

<sup>4</sup> (Slideshare, 2006)

<sup>5</sup> (Slideshare, 2006)

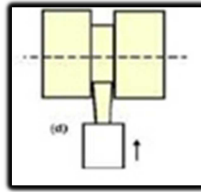


Figura 2.5 Ranurado<sup>6</sup>

## ROSCADO EN EL TORNO

Hay dos sistemas de realizar roscados en los tornos, de un lado la tradicional que utilizan los tornos paralelos, mediante la Caja Norton, y de otra la que se realiza con los tornos CNC, donde los datos de la roscas van totalmente programados y ya no hace falta la caja Norton para realizarlo. Para efectuar un roscado con herramienta hay que tener en cuenta lo siguiente:

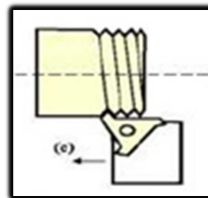


Figura 2.6 Roscado<sup>7</sup>

- Las roscas pueden ser exteriores (tornillos) o bien interiores (tuercas), debiendo ser sus magnitudes coherentes para que ambos elementos puedan enroscarse.
- Los elementos que figuran en la tabla son los que hay que tener en cuenta a la hora de realizar una rosca en un torno.
- Para efectuar el roscado hay que realizar previamente las siguientes tareas:
- Torneear previamente al diámetro que tenga la rosca
- Preparar la herramienta de acuerdo con los ángulos del filete de la rosca.
- Establecer la profundidad de pasada que tenga que tener la rosca hasta conseguir el perfil adecuado.

<sup>6</sup> (Slideshare, 2006)

<sup>7</sup> (Slideshare, 2006)

## MOLETEADO

Es un proceso de conformado en frío del material mediante unas moletas que presionan la pieza mientras da vueltas. Dicha deformación produce un incremento del diámetro de partida de la pieza, se realiza en piezas que se tengan que manipular a mano, que generalmente vayan roscadas para evitar su resbalamiento que tendrían en caso de que tuviesen la superficie lisa, se manufactura en los tornos con unas herramientas que se llaman moletas, de diferente paso y dibujo. Un ejemplo de dicho trabajo es el que tienen las monedas de 50 centavos, aunque en este caso es para que los invidentes puedan identificar mejor la moneda. El moleteado por deformación se puede ejecutar de dos maneras:

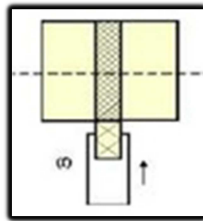


Figura 2.7 Moleteado<sup>8</sup>

- Longitudinalmente, cuando la longitud excede al espesor de la moleta. Para este segundo caso la moleta siempre ha de estar biselada en sus extremos.
- Radialmente, cuando la longitud moleteada en la pieza coincide con el espesor de la moleta a utilizar.

## TIPOS DE TORNO

### TORNO PARALELO

Lo característico de este tipo de torno es que se pueden realizar en el mismo todo tipo de tareas propias del torneado, como taladrado, cilindrado, mandrilado, refrentado, roscado, conos, ranurado, escariado, moleteado, etc. Mediante diferentes tipos de herramientas y útiles que de forma intercambiable y

---

<sup>8</sup> (Slideshare, 2006)

con formas variadas se le pueden ir acoplado. Para manejar bien estos tornos se requiere la pericia de operarios muy bien calificados, ya que el manejo manual de sus carros puede ocasionar errores a menudo en la geometría de las piezas torneadas.



Figura 2.8 Torno Paralelo<sup>9</sup>

## TORNO COPIADOR

Se llama torno copiador a un tipo de torno que operando con un dispositivo hidráulico permite el mecanizado de piezas siguiendo el perfil de una plantilla que reproduce el perfil de la pieza. Este tipo de tornos se utiliza para el torneado de aquellas piezas que tienen diferentes escalones de diámetros, que han sido previamente forjadas o fundidas y que tienen poco material excedente.

Los tornos copiadores modernos están muy sofisticados ya que permiten variar la velocidad de giro del cabezal así como el avance del carro portaherramientas. Al mismo tiempo algunos copiadores incorporan más de una cuchilla, lo que, al poder dar más de una pasada, les permite realizar las operaciones de desbaste y acabado sin necesidad de sacar la pieza de la máquina. Todo esto se programa en la unidad de control de la máquina.

---

<sup>9</sup> (Mecánica Unipaz, 2012)



**Figura 2.9 Torno Copiador<sup>10</sup>**

El principio de funcionamiento es que un palpador muy sensible que va siguiendo el contorno de la pieza patrón al avanzar el carro principal y transmite su movimiento por un mecanismo hidráulico o magnético a un carro que lleva un movimiento independiente del husillo transversal. Lo más corriente es que el sistema copiador no esté unido fijamente al torno sino que constituya un aparato aparte que se puede poner o no poner en el torno. Igualmente hay en el mercado copiadores que se pueden adaptar a casi cualquier torno de precisión para convertirlo en torno copiador.

La preparación para el mecanizado en un torno copiador es muy sencilla y rápida y por eso estas máquinas son muy útiles para mecanizar lotes o series de piezas que no sean muy grandes.

## TORNO REVÓLVER

El torno revólver es una variedad de torno diseñado para mecanizar piezas en las que sea posible que puedan trabajar varias herramientas de forma simultánea con el fin de disminuir el tiempo total de mecanizado. Las piezas que tienen esa condición son aquellas que partiendo de barras, tienen una forma final de casquillo o parecido, donde partiendo de una barra se van taladrando, mandrinando, roscando o escariando la parte interior mecanizada y a la vez se pueden ir cilindrando, frenteando, ranurando, roscando y cortando con herramientas de torneado exterior.

---

<sup>10</sup> (Mecánica Unipaz, 2012)

La característica principal del torno revólver, es que lleva un carro con una torreta giratoria de forma hexagonal que ataca frontalmente a la pieza que se quiere mecanizar, donde se insertan las diferentes herramientas que conforman el mecanizado de la pieza. Cada una de estas herramientas está controlada con un tope de final de carrera. También dispone de un carro transversal, donde se colocan las herramientas de segar, perfilar, ranurar, etc.

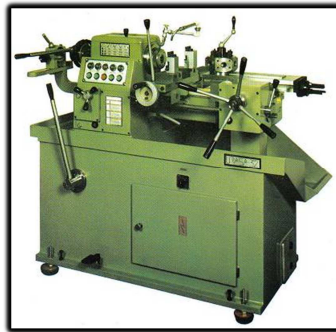


Figura 2.10 Torno Copiador<sup>11</sup>

## TORNO VERTICAL

El torno vertical es una variedad de torno diseñado para mecanizar piezas de gran tamaño, que van sujetas al plato de garras u otros operadores, y que por sus dimensiones o peso harían difícil su fijación en un torno horizontal.

Los tornos verticales tienen el eje dispuesto verticalmente y el plato giratorio sobre un plano horizontal, lo que facilita el montaje de las piezas voluminosas y pesadas. Es pues el tamaño lo que identifica a estas máquinas, permitiendo el mecanizado integral de piezas de gran tamaño.

En los tornos verticales no se pueden mecanizar ejes que vayan fijados entre puntos, porque carecen de contrapunto, así que solamente se mecanizan aquellas piezas que van sujetas al aire con un plato de garras adecuado u otros sistemas de fijación en el plato. La manipulación de las piezas para fijarlas en el plato se hace mediante grúas de puente o polipastos.

---

<sup>11</sup> (Mecánica Unipaz, 2012)



Figura 2.11 Torno Copiador<sup>12</sup>

## TORNO AUTOMÁTICO

Se llama torno automático a un tipo de torno donde está automatizado todo su proceso de trabajo, incluso la alimentación de la pieza que se puede ir obteniendo de una barra larga que se inserta por un agujero que tiene el cabezal y se sujeta mediante pinzas de apriete hidráulico. La alimentación de la barra necesaria para cada pieza se hace de forma automática.

Estos tornos pueden ser de un solo husillo o de varios husillos:

Los de un solo husillo se emplean básicamente para el mecanizado de piezas pequeñas que requieran grandes series de producción. Cuando se trata de mecanizar piezas de dimensiones mayores se utilizan los tornos automáticos multihusillos donde de forma programada en cada husillo se va realizando una parte del mecanizado de la pieza, y como van cambiando de posición los husillos, resulta el mecanizado final de la pieza muy corto, porque todos los husillos están mecanizando la misma pieza de forma simultánea.



Figura 2.12 Torno Automático<sup>13</sup>

<sup>12</sup> (SJR MACHINERY CO, LTD, 2007)

<sup>13</sup> (Mecánica Unipaz, 2012)



La atención que requieren estos tornos por parte de los operarios, es sustituir las herramientas cuando el filo de corte está deteriorado, controlar la evacuación de viruta así como la refrigeración correcta del aceite de corte o taladrina que se utilice.

### TORNO CONTROL NUMÉRICO (CNC)

El torno de control numérico, también conocidos como torno CNC actúa guiado por una computadora que ejecuta programas controlados por medio de datos alfa-numéricos, teniendo en cuenta los ejes cartesianos X,Y,Z.

Se caracteriza por ser una máquina herramienta muy eficaz para mecanizar piezas de revolución. Ofrece una gran capacidad de producción y precisión en el mecanizado por su estructura funcional y porque los valores tecnológicos del mecanizado están guiados por el ordenador que lleva incorporado, el cual procesa las órdenes de ejecución contenidas en un software que previamente ha confeccionado un programador conocedor de la tecnología de mecanizado en torno.



**Figura 2.12 Torno CNC<sup>14</sup>**

#### 2.1.2.1.2 FRESADO

Es un proceso de mecanizado de superficies, que consiste en el eliminando progresivo de una determinada cantidad de material de la pieza de trabajo con un valor de avance relativamente bajo y con una alta velocidad de rotación. Con el uso creciente de las fresadoras de control numérico están aumentando las operaciones de fresado que se pueden realizar con este tipo de máquinas, siendo

---

<sup>14</sup> (V.M.V MAQUINARIA, 2010)

así que el fresado se ha convertido en un método polivalente de mecanizado. El desarrollo de las herramientas ha contribuido también a crear nuevas posibilidades de fresado además de incrementar de forma considerable la productividad, la calidad y exactitud de las operaciones realizadas.

## FRESADORA

La fresadora es una de las máquinas más empleadas en los talleres mecánicos debido a su gran versatilidad y posibilidades que ofrece.

La fresadora, dotada de una herramienta característica denominada fresa, que animada de un movimiento de rotación, mecaniza superficies en piezas que se desplazan con movimiento rectilíneo bajo la herramienta. Cuando el eje de la fresa es perpendicular a la superficie de la pieza que se mecaniza, el fresado se llama frontal.

Debido a la variedad de mecanizados que se pueden realizar en las fresadoras actuales, al amplio número de máquinas diferentes entre sí, tanto en su potencia como en sus características técnicas, a la diversidad de accesorios utilizados y a la necesidad de cumplir especificaciones de calidad rigurosas, la utilización de fresadoras requiere de personal cualificado profesionalmente, ya sea programador, preparador o fresador.

Los movimientos de trabajo de la fresadora son:

- Movimiento de corte: Por rotación de la fresa.
- Movimiento de avance: Por desplazamiento rectilíneo de la pieza.
- Movimiento de profundidad de pasada: Por desplazamiento vertical de la pieza.

Durante el fresado cada filo no está nada más que durante una parte de la revolución de la fresa, dedicado al arranque de viruta. El resto del tiempo el diente gira en vacío y puede refrigerarse. El trabajo del útil no es, por lo tanto, tan fuerte como en el caso del útil de torno cuyo filo está continuamente cortando.

Las partes que conforman una fresadora

**Base:** permite un correcto apoyo de la fresadora en el suelo.

**Cuerpo de la Fresadora o Bastidor:** Soporta el husillo de fresar horizontalmente dispuesto, los accionamientos principales y de avance, la mesa de consola móvil con carro transversal y mesa de sujeción y el brazo superior que frecuentemente se descarga, apoyándolo en un soporte.

**Husillo de fresar:** Es soportado por cojinetes de deslizamiento o por cojinetes de rodadura. Para garantizar un funcionamiento silencioso se realiza en dimensiones que le den robustez. Para sujetar el útil de fresar, la cabeza del husillo tiene un cono exterior y un cono interior.

**Consola:** Esta parte de la fresadora realiza un movimiento vertical sobre las guías del cuerpo y sirve de sujeción para la mesa.

**Mesa:** Está formada por varias ranuras sobre las que se sujetan las piezas a conformar. La mesa esta apoya sobre dos carros que permiten el movimiento longitudinal y transversal de la mesa sobre la consola.

**Puente:** Esta sección está apoyada en voladizo sobre el cuerpo de la fresadora el cual aloja el portaherramientas.

### **Clasificación de las fresadoras**

Se clasifican según la orientación del eje de giro o el número de ejes de operación.

#### **LAS FRESADORAS HORIZONTALES**

Constan de una columna donde una fresa cilíndrica es sobrellevada en un extremo y en el otro por un rodamiento. La función importante de este aparato es la producción de ranuras de diferente grosor, como así también varias de aquellas al mismo tiempo con fresas especiales paralelas, que se conocen como “tren de fresado”, mejorando de esta manera la productividad del trabajo. La mesa es una bancada fija, sobre la que se desliza un carro de gran longitud (muy similar a los de las máquinas de cepillado), en dos movimientos automáticos: transversal y longitudinal.



Figura 2.13 Fresadora Horizontal<sup>15</sup>

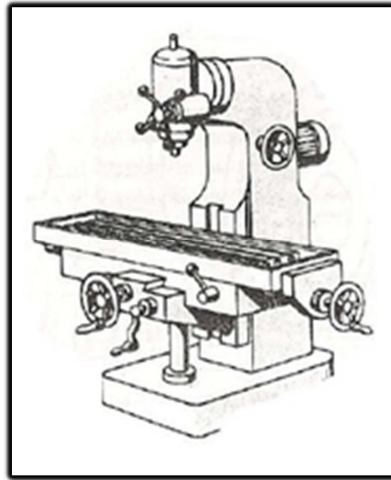
#### FRESADORA VERTICAL.

Con este artefacto se realiza especialmente trabajos de fresado frontal. El husillo de fresar está ubicado perpendicularmente en el cabezal porta fresas. Este cabezal puede girar de tal modo que el usillo puede adoptar también una posición inclinada. Cuenta con la posibilidad de realizar un pequeño desplazamiento tipo axial, ideal para facilitar el labrado escalonado o en escalada. Algunos tipos de fresadoras verticales cuentan con la posibilidad de adaptarles piezas giratorias o mesas de trabajo giratorias. Con estos añadidos, es posible el fresado continuo de piezas, en trabajos de baja producción, y el labrado de ranuras o hendiduras circulares.

Los mecanismos de accionamiento principal y de avance no se diferencian del de la máquina de fresar horizontal.

---

<sup>15</sup> ( Aquí todo vale, 2009)



**Figura 2.14 Fresadora Vertical<sup>16</sup>**

## FRESADORA UNIVERSAL

La característica principal de esta máquina es la de que la mesa de fresar puede girar hacia la derecha o hacia la izquierda. Con esto se hace posible la ejecución de muchos más trabajos, como por ejemplo, el fresado de ranuras en espiral.

Las fresadoras universales, tienen como particularidad dos portaherramientas: el primero se halla en el cabezal, donde se encuentra el husillo para la fresa, con un amplio rango de movimientos en distintas direcciones, tanto horizontales como verticales. El segundo está en su mesa con el parecido de un torno, donde se coloca la pieza a mecanizar. Con ambos portaherramientas juntos funcionando, se puede crear piezas de una complejidad asombrosa. Se destaca esta fresadora por su versatilidad a la hora del trabajo.

---

<sup>16</sup> (Colegio Técnico Don Bosco, 1999, pág. 116)



Figura 2.15 Fresadora Universal<sup>17</sup>

### FRESADORA PARALELA

Se utiliza para trabajar piezas pesadas.

### FRESADORA DE PLANEAR

Se presta para trabajos en serie. El cabezal con el husillo de fresar es desplazable en altura. El movimiento de avance se realiza con la mesa. Las grandes fresadoras de planear tienen frecuentemente varios husillos de fresar.

### MÁQUINA DE FRESAR ROSCAS

Se construyen en diversos tipos y se emplean, como su nombre indica, para fresar roscas.

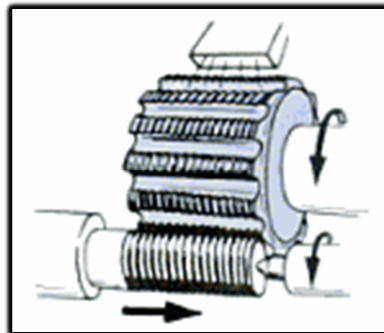


Figura 2.16 Máquina Fresadora de roscas<sup>18</sup>

---

<sup>17</sup> (CEMIOPERU, 2008)

<sup>18</sup> (Gerling, Heinrich, 1986, pág. 244)

## PARÁMETROS EN EL PROCESO DE FRESADO

### VELOCIDAD DE CORTE (m/min)

La velocidad de corte en el fresado viene dada en m/min. Se calcula exactamente igual que en el torneado. Cuando se fresa con filos de metal duro pueden obtenerse velocidades de corte de ocho a diez veces mayores que con las fresas de acero rápido.

Con objeto de poder elegir siempre una velocidad de corte apropiada al material de la pieza y al diámetro de la fresa, puede variarse el número de revoluciones del husillo portafresa entre límites muy amplios.

$$V_c = \frac{n \cdot \pi \cdot D_c}{1000} \quad (2.1)$$

**Dónde:**

**V<sub>c</sub>:** velocidad de corte (m/min)

**n :** velocidad de rotación de la herramienta (rev/min)

**D<sub>c</sub>:** es el diámetro de la pieza en mm.

### VELOCIDAD DE AVANCE (mm/min)

El avance está relacionado con la velocidad de corte cuando viene dado en mm/min. Frecuentemente también viene dado en mm/diente de la fresa. Hay que elegir el avance de tal modo que cada diente, según sea el material, arranque en el desbaste de 0,1 a 0,3 mm y en el alisado de 0,02 a 0,2 mm.

$$s' = \frac{V \cdot 1000}{a \cdot b} \quad (2.2)$$

**Dónde:**

**V:** la cantidad máxima de viruta que se obtiene.

**a:** profundidad de corte.

**b:** anchura de corte.

### APROXIMACIÓN

La aproximación depende, por ejemplo, de la capacidad de la máquina, de la clase de trabajo y de la posibilidad de sujeción de la pieza. Así, por ejemplo, en

el fresado con fresas de disco se elige un gran espesor de viruta y un avance pequeño (marcha tranquila de la máquina), en el fresado de chaveteros, por el contrario, son más ventajosos las aproximaciones pequeñas y los grandes avances.

En general, al fresar no deberá elegirse una aproximación demasiado grande. Es ventajoso y económico fresar grandes cantidades de material de varios cortes pero con avance grande.

## CLASES DE FRESAS

Según la forma de sus dientes se distingue entre fresas de dientes puntiagudos y fresas destalonadas.

### FRESAS DE DIENTES PUNTIAGUDOS

Se emplean para la ejecución de superficies planas. El reafilado de las fresas de dientes puntiagudos se realiza en la superficie de incidencia.

### FRESA DESTALONADA

Sirve como fresa de forma para redondeamientos, perfiles y formas de todas clases, ruedas dentadas, roscas, etc. No debe afilarse nada más que por la superficie de ataque. El ángulo de ataque original (generalmente de  $0^\circ$ ) debe mantenerse para que no salgan perfiles deformados.

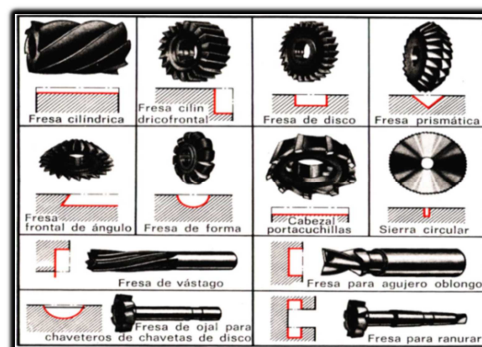


Figura 2.16 Fresas de Forma<sup>19</sup>

<sup>19</sup> (Gerling, Heinrich, 1986, pág. 235)



## PLATOS DE CUCHILLAS

Los cortes van fijados en forma de cuchillas en un cuerpo o cabezal, pudiéndose reponer por separado en caso de deterioro. Se emplean estos platos de cuchillas para el fresado frontal de grandes superficies.

### 2.1.2.3.3 RECTIFICADO

El rectificado es una operación que se efectúa en general con piezas ya trabajadas anteriormente por otras máquinas herramientas hasta dejar un pequeño exceso de metal respecto a la dimensión definitiva. El rectificado tiene por objeto alcanzar en las dimensiones tolerancias muy estrictas y una elevada calidad de acabado superficial; se hace indispensable en el trabajo de los materiales duros o de las superficies endurecidas por tratamientos térmicos. Las herramientas empleadas son muelas giratorias. En el trabajado del metal se emplean dos operaciones de acabado especiales, el rectificado y el bruñido. El rectificado mejora la precisión y el acabado de cilindros de automóvil, cilindros hidráulicos y otras piezas similares. La máquina rectificadora está formada por cuatro piedras abrasivas de grano fino fijadas a una herramienta extensible que se hace girar y oscilar lentamente dentro del cilindro hasta lograr el acabado y el diámetro deseados.

## RECTIFICADORA

Máquina herramienta que se usa para hacer el rectificado de una pieza metálica con una rectificadora se realizan operaciones de afinado, pulido y acabado de superficies metálicas que exigen un grado elevado de precisión.

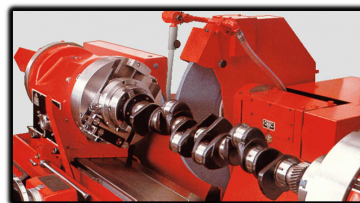


Figura 2.17 Máquina Rectificadora<sup>20</sup>

---

<sup>20</sup> (La Rectificadora, 2009)

## TIPOS DE RECTIFICADORAS

### RECTIFICADORAS PLANEADORAS

Conocidas como rectificadoras para superficies planas y tangenciales, son muy sencillas de manejar, porque consisten en un cabezal provisto de la muela y un carro longitudinal que se mueve en forma de vaivén, donde va sujeta la pieza que se rectifica. La pieza muchas veces se sujeta en una plataforma magnética. Las piezas más comunes que se rectifican en estas máquinas son, calzos y ajustes con superficies planas.

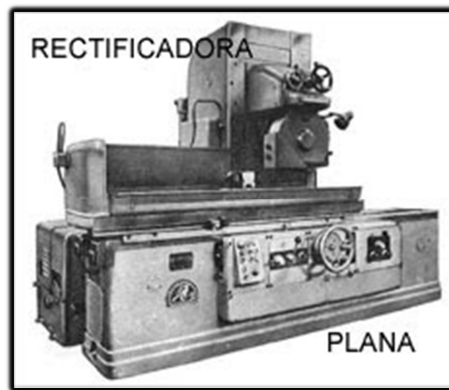


Figura 2.18 Rectificadora Plana<sup>21</sup>

### RECTIFICADORA SIN CENTROS (centerless),

Consta de dos muelas y se utilizan para el rectificado de pequeñas piezas cilíndricas, como bulones, casquillos, pasadores, etc. Son máquinas que permite automatizar la alimentación de las piezas y por tanto tener un funcionamiento continuo y por tanto la producción de grandes series de la misma pieza. La rectificación sin centros pertenece a los procesos de rectificadora cilíndrica de exteriores. Al contrario de la rectificación entre centros, la pieza no se sujeta durante la rectificación y por lo tanto no se necesita un contra taladro o un mecanismo de fijación en los extremos. En lugar de eso se apoya la pieza con su superficie sobre la platina de soporte y se coloca entre el disco rectificador que gira rápidamente y la platina regulable pequeña que se mueve lentamente. La

---

<sup>21</sup> (Mecánica 222, 2009)

platina de soporte de la rectificadora (también llamada regla de soporte o regla de dirección) está generalmente posicionada así que el centro del eje de la pieza se encuentra sobre la línea de unión entre los puntos medios del disco regulable y del disco rectificador. Más, la platina de soporte está biselada para sostener la pieza en el disco regulable y el disco rectificador. El disco regulable está hecho de un material blando, por ejemplo una mezcla de caucho que puede tener granos duros para garantizar la fuerza de acople entre la pieza y el disco regulable.



Figura 2.19 Rectificadora Centerless<sup>22</sup>

## RECTIFICADORA UNIVERSAL

Son las rectificadoras más versátiles que existen porque pueden rectificar todo tipo de rectificados en diámetros exteriores de ejes, como en agujeros si se utiliza el cabezal adecuado. Son máquinas de gran envergadura cuyo cabezal portamuelas tiene un variador de velocidad para adecuarlo a las características de la muela que lleva incorporado y al tipo de pieza que rectifica.

---

<sup>22</sup> (Mecánica 222, 2009)



Figura 2.20 Rectificadora Universal<sup>23</sup>

## RECTIFICADORAS CILÍNDRICAS

Las modernas rectificadoras cilíndricas se les exigen ser de ultra precisión, de concepción flexible para aplicaciones de rectificado de exteriores y piezas excéntricas. Las máquinas pueden realizar procesos de rectificado convencional o de alta velocidad, incorporando los últimos adelantos mecánicos, eléctricos y de software. Se establecen nuevos estándares de precisión, velocidad y flexibilidad garantizando una producción de alta fiabilidad y competitividad. Estas máquinas incluyen bancada de granito natural, motores integrados en ejes porta-piezas y husillos porta-muelas, motores de gran par y motores lineales. El diseño incluye puertas de gran accesibilidad para trabajos de preparación de máquina y de mantenimiento. El concepto modular de la máquina permite la incorporación de sistemas de carga automatizados y la concatenación de varias unidades en una célula.



Figura 2.21 Rectificadora Cilíndrica<sup>24</sup>

---

<sup>23</sup> (Wikipedia, 2009)

<sup>24</sup> (Wikipedia, 2006)

## MUELAS

Están compuestas por granos abrasivos aglomerados en dispersión en un cemento que define la forma de la herramienta. Los granos representan infinitos filos que, al actuar con elevada velocidad sobre la pieza en elaboración, arrancan minúsculas partículas de material. Este modo de trabajar indica también los requisitos que deben poseer los abrasivos: dureza, resistencia al desgaste y resistencia a la rotura. La dimensión de los granos está vinculada a la utilización de la muela: para muelas desbastadoras se emplea grano grueso; para operaciones de rectificado se pasa de los granos medianos a los finos, hasta llegar a los polvos utilizados para el pulido. El número índice del grosor de los granos expresa el número de hilos por pulgada contenido en el último cedazo separador atravesado (los granos más finos llegan hasta 240 hilos). Los aglomerantes de las muelas pueden ser cerámicos, de silicato sódico y arcilla, o elásticos.

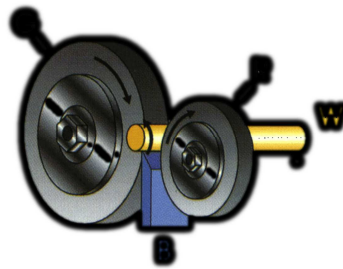


Figura 2.22 Muelas<sup>25</sup>

Los datos característicos de una muela son el tipo de abrasivo, su granulación (gruesa, mediana, fina o muy fina), su tenacidad (muy blanda, blanda, mediana, dura o muy dura), su estructura (cerrada, mediana o abierta) y el tipo de cemento aglomerante

## ABRASIVOS SINTÉTICOS

El óxido de aluminio funciona mejor en los aceros al carbono y de aleación, hierro maleable recocido, bronce duro y metales similares. Las muelas de A1203

---

<sup>25</sup> (Crystec, 2008)

no se utilizan en el esmerilado de materiales muy duros, como el carburo de tungsteno, debido a que los granos se desafilan antes de la ruptura. Algunos de los nombres comerciales comunes del óxido de aluminio son Alundum y Aloxitá.

Los cristales de carburo de silicio (SiC) son muy duros. De acuerdo con la escala, poseen un índice de 9.5; el diamante tiene una dureza de 10 en dicha escala. Los cristales de SiC son frágiles, lo que limita su utilización. Las muelas de carburo de silicio se recomiendan para materiales de baja resistencia a la tensión, como hierro colado, latón, piedra, caucho (o hule), cuero y carburos cementados.

El nitruro de boro cúbico es la segunda sustancia más dura natural o artificial. Es útil para esmerilar herramientas y troqueles de aceros de gran dureza y tenacidad.

Los diamantes pueden clasificarse como naturales y sintéticos. Los diamantes comerciales se fabrican actualmente como de alta, media y baja resistencia al impacto.

## PARÁMETROS EN EL PROCESO DE RECTIFICAR

### VELOCIDADES

La velocidad de las ruedas depende de su tipo, del material aglomerante y de las condiciones de operación. Las velocidades de las ruedas varían entre 4500 y 18000 pie/min (entre 1 400 y 5 500 m/min). Las velocidades de trabajo dependen del tipo de material, de la operación de esmerilado y de la rigidez de la máquina. Las velocidades de trabajo varían entre 15 y 200 pie/min.

### AVANCES

El avance transversal depende del ancho de la muela o rueda de amolar. Para un esmerilado de desbaste este avance varía de un medio a tres cuartos del ancho de la rueda. Para el acabado se requiere un avance más pequeño, que varía entre un décimo y un tercio del ancho de la muela.

## PROFUNDIDAD DE CORTE

Las condiciones de esmerilado de desbaste determinan la máxima profundidad de corte. En la operación de acabado la profundidad de corte suele ser pequeña, de 0.0005 a 0.001 pulg (de 0.013 a 0.025 mm). Es posible lograr buen acabado superficial y poca tolerancia mediante el “chisporroteo” o dejando que la rueda se desplace sobre la pieza de trabajo sin aumentar la profundidad de corte, hasta que se apagan o extinguen las chispas. La relación de esmerilado, o número G, es el cociente de las pulgadas cúbicas de material para labrar eliminadas, y las pulgadas cúbicas que pierde la rueda de esmeril.

### 2.1.2.2. Sin arranque de Viruta

#### 2.1.2.2.1 CIZALLADO

Es una operación de corte de láminas en la cual se disminuye la lámina a un menor tamaño. Para hacerlo el metal es sometido a dos bordes cortantes llamadas cuchillas.

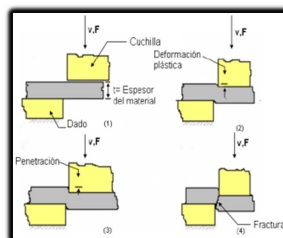


Figura 2.23 Proceso de cizallado<sup>26</sup>

#### Donde

**v**: velocidad de la cuchilla.

**F**: fuerza de la cuchilla.

En esta deformación solo intervienen fuerzas tangenciales conocidas como módulo de cizalladura, la cual es la relación entre la fuerza tangencial aplicada a un cuerpo y el ángulo de cizalladura  $\alpha$  (ángulo de deformación del cuerpo).

<sup>26</sup> (Conformado Mec, 2008)

### 2.1.2.2.2 TROQUELADO

En el troquelado se cortan láminas sometiéndolas a esfuerzos cortantes, desarrollados entre un punzón y una matriz, se diferencia del cizallado ya que este último solo disminuye el tamaño de lámina sin darle forma alguna. El producto terminado del troquelado puede ser la lámina perforada o las piezas recortadas.

Los parámetros que se tienen en cuenta en el troquelado son la forma y los materiales del punzón y la matriz, la velocidad y la fuerza de punzonado, la lubricación, el espesor del material y la holgura o luz entre el punzón y la matriz. La determinación de la luz influirá en la forma y la calidad del borde cortado. Entre mayor luz exista, el borde cortado será más burdo y provocará una zona más grande de deformación en la que el endurecimiento será mayor.

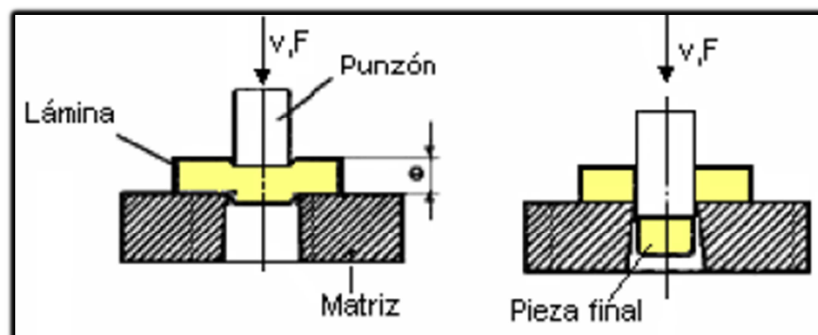


Figura 2.24 Proceso de troquelado<sup>27</sup>

La altura de las rebabas se incrementa al aumentar la luz. Los bordes de herramientas desafilados contribuyen también a la formación de rebabas, que disminuye si se aumenta la velocidad del punzón.

En algunas operaciones de troquelado la lámina perforada suele acumularse entre la porción recta de la matriz, ejerciendo una fuerza de empaquetamiento que se opone a la fuerza de troquelado. Por esta razón, la fuerza de troquelado debe ir aumentando conforme se realicen más operaciones.

<sup>27</sup> (Conformado Mec, 2008)



## CÁLCULO DE LA FUERZA DE TROQUELADO

La fuerza máxima del punzón,  $F_T$ , se puede estimar con la ecuación:

$$F_T = (0.57S_{ult})(tl)(k) \quad (2.3)$$

### Dónde:

t: es el espesor de la lámina.

l :es la longitud total que se recorta (el perímetro del orificio).

$S_{ult}$ : es la resistencia última a la tensión del material.

k: es un factor para aumentar la fuerza teórica requerida debida al empaquetamiento de la lámina recortada, dentro de la matriz. El valor de k suele estar alrededor de 1.5.

### 2.1.2.2.3 DOBLADO

El doblado de metales es la deformación de láminas alrededor de un determinado ángulo. Los ángulos pueden ser clasificados como abiertos (si son mayores a 90 grados), cerrados (menores a 90°) o rectos. Durante la operación, las fibras externas del material están en tensión, mientras que las interiores están en compresión. El doblado no produce cambios significativos en el espesor de la lámina metálica. Existen diferentes formas de doblado, las más comunes son: doblado entre dos formas y doblado deslizante.

#### DOBLADO ENTRE FORMAS:

En este tipo de doblado, la lámina metálica es deformada entre un punzón en forma de V u otra forma y un dado. Se pueden doblar con este punzón desde ángulos muy obtusos hasta ángulos muy agudos. Esta operación se utiliza generalmente para operaciones de bajo volumen de producción.



Figura 2.25 Doblado entre formas<sup>28</sup>

### DOBLADO DESLIZANTE

En el doblado deslizante, una placa presiona la lámina metálica a la matriz o dado mientras el punzón le ejerce una fuerza que la dobla alrededor del borde del dado. Este tipo de doblado está limitado para ángulos de 90°.

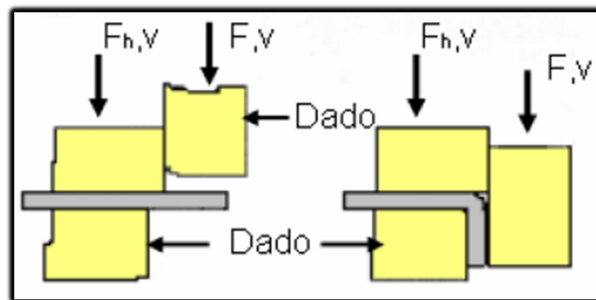


Figura 2.26 Doblado Deslizante<sup>29</sup>

Donde

**F<sub>h</sub>** = Fuerza de sujeción

**F** = fuerza de doblado aplicada

Cuando se remueve la fuerza de doblado, la lámina intenta regenerarse gracias a una propiedad elástica de los metales conocida como memoria, restitución o recuperación. Esta propiedad no sólo se observa en láminas y placas planas, sino también en varillas, alambres y barras con cualquier perfil transversal

<sup>28</sup> (The Fabricator, 2010)

<sup>29</sup> (Conformado Mec, 2008)

## CÁLCULO DE LA FUERZA PARA DOBLADO DE LÁMINAS

La fuerza de doblado es función de la resistencia del material, la longitud  $L$  de la lámina, el espesor  $T$  de la lámina, y el tamaño  $W$  de la abertura del dado. Para un dado en  $V$ , se suele aproximar la fuerza máxima de doblado,  $F_D$ , con la siguiente ecuación:

$$F_D = \frac{LT^2 S_{ult}}{W} \quad (2.4)$$

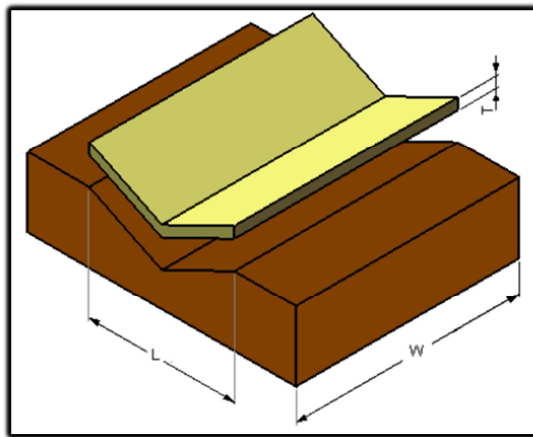


Figura 2.27 Dado y lámina de doblado<sup>30</sup>

### Dónde:

$S_{ult}$  = Esfuerzo último de tensión del material,  $[lb/plg^2]$  ó  $[Pa]$

$L$  = longitud de la lámina,  $[plg]$  ó  $[mm]$

$T$  = espesor,  $[plg]$  ó  $[mm]$

$W$  = luz entre apoyos o abertura del dado,  $[plg]$  ó  $[mm]$

### 2.1.2.2.4 EMBUTIDO

El Embutido de Chapas Metálicas es uno de los procedimientos más comunes en la elaboración de piezas huecas, para diversas aplicaciones que van desde el hogar, la oficina y en la industria en general. Esta operación consiste, en obtener una pieza hueca de superficie no desarrollable, partiendo de un recorte, sin que el espesor de la chapa pueda variar.

<sup>30</sup> (Universidad Tecnológica de Pereira, 2010)

Puede efectuarse de dos formas:

- Embutición de simple efecto: no lleva dispositivo de retención de chapa.
- Embutición de doble efecto: lleva dispositivo de retención de chapa.

El número de etapas en el proceso de embutición depende de la relación que exista entre la magnitud del material cortado y de las dimensiones de la pieza embutida, de la facilidad de embutición, del material y del espesor de la chapa. Es decir, cuanto más complicadas las formas y más profundidad sea necesaria, más etapas serán incluidas en dicho proceso.

### EMBUTICIÓN DE SIMPLE EFECTO

En este procedimiento el disco recortado a embutir se fija en su asiento, al accionarse el mecanismo (placa prensa disco), el punzón comienza a penetrar el material en la matriz en su totalidad.

A continuación se expulsa la pieza embutida por acción de un expulsor, obteniéndose una pieza de esta característica.

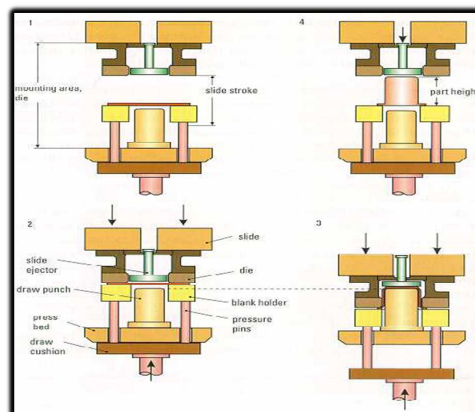


Figura 2.28 Embutición de Simple Efecto<sup>31</sup>

<sup>31</sup> (Pollaw, Herman W., 1988, pág. 48)

En este caso la altura de embutición, está limitada por la formación de pliegues. Usualmente la altura máxima posible, es igual al 15% del diámetro de embutido.

## EMBUTICIÓN DE DOBLE EFECTO

En este tipo de operación, el punzón se ubica en la parte superior de la prensa, transformando una chapa plana, en una pieza generalmente con forma cubica, la diferencia de esta operación con la de simple efecto es que se mantiene el espesor de la chapa casi constante.

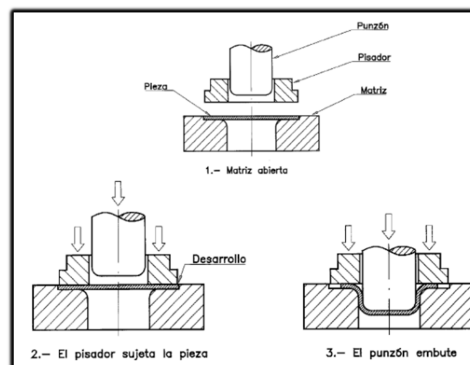


Figura 2.29 Embutición de Doble Efecto<sup>32</sup>

Este procedimiento dispone de un accionador llamado pisador el cual ayuda a evitar la formación de pliegues.

El pisador actúa antes de comenzar la operación y se mantiene su presión (adecuada), a lo largo de toda la operación.

La placa a ser embutida se coloca sobre la matriz la cual está provista de un dispositivo llamado centrador, el cual está constituido por un alojamiento torneado que permite el centraje correcto de la pieza a desarrollar. Mientras el pisador sujeta la pieza, el punzón desciende y la embute.

En la embutición de doble efecto, todas las alturas son teóricamente realizables.

<sup>32</sup> (Scribd, 2010)

### **2.1.3 LUBRICACIÓN**

Para evitar un estiramiento excesivo o ruptura de las fibras del material, producidas por el deslizamiento opuesto de la chapa durante el proceso de embutición, se debe lubricar abundantemente en el proceso de embutición por medio de sustancias que fluyan por toda las superficies de frotamiento de la estampa con la chapa. La lubricación permite la disminución en el esfuerzo de embutido y obtenemos un menor desgaste de la herramienta

## **2.2 REINGENIERÍA DE PROCESOS**

### **2.2.1 CONCEPTO**

Se trata de una herramienta gerencial moderna, alineada al mejoramiento de los procesos; determina principalmente que es lo que debe hacer una empresa y como debe hacerlo. Su adecuada aplicación seguida de innovación y mejoramientos continuos permitirá la competitividad; siempre y cuando no se realicen cambios superficiales, sino más bien llegar a encontrar una manera distinta de reinventar las cosas.

De esta forma se lograra centrar a la organización en los procesos; en vez de desarrollar tareas aisladas, así se proyectaría desarrollar procesos que integren varias tareas pasando de la teoría a la acción y de una organización por departamentos a funciones integradas.

### **2.2.2 METODOLOGÍA ESQUEMÁTICA DE REINGENIERÍA DE PROCESOS**

#### **IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS ACTUALES DE LA EMPRESA**

##### **IDENTIFICACIÓN**

El primer paso para la reingeniería de procesos es el análisis de la situación inicial de la empresa. De los siguientes procesos, se identifica aquellos que existan en la empresa y tengan una entidad suficiente como para ser considerados (que impliquen a más de una persona).

| <b>PROCESOS</b>                     | <b>S/N</b> |
|-------------------------------------|------------|
| Fabricación de productos en serie   |            |
| Fabricación de productos especiales |            |
| Mantenimiento preventivo            |            |
| Mantenimiento correctivo            |            |
| Control de calidad                  |            |
| Ensayos de laboratorio              |            |
| Compras                             |            |
| Planificación de la producción      |            |
| Planificación de los acopios        |            |
| Logística                           |            |
| Atención al cliente                 |            |
| Presentación de ofertas             |            |
| Asistencia técnica                  |            |
| Captación de clientes               |            |
| Mantenimiento de clientes           |            |
| Gestión de pedidos                  |            |
| Diseño de nuevos productos          |            |
| Contabilidad                        |            |
| Gestión de nóminas                  |            |
| Selección de personal               |            |
| Otros (indicar)                     |            |

**TABLA 2.2. LISTADO DE POSIBLES PROCESOS<sup>33</sup>**

Dependiendo de la actividad de la empresa habrá unos procesos que resulten ser los principales y otros serán complementarios.

## PRIORIZACIÓN

Una vez identificados los procesos presentes en la empresa, existe la necesidad de realizar una priorización del estudio; es decir resolver cuáles son los procesos con mayor necesidad de ser rediseñados por razones de coste, calidad, capacidad de fabricación, tiempos de servicio u otras.

---

<sup>33</sup> (CEEI Comunidad Valenciana, 2010, pág. 8)

Se debe estudiar con mayor detenimiento aquellos procesos que requieren de mayores recursos, puesto que el esfuerzo de análisis debe ser compensado con una mejora económica.

|           | Coste <sup>1</sup> | Tiempo de realización <sup>2</sup> | Costes de calidad <sup>3</sup> | Cuello de botella <sup>4</sup> | Otros <sup>5</sup> | Promedio |
|-----------|--------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------|----------|
| Proceso 1 |                    |                                    |                                |                                |                    |          |
| Proceso 2 |                    |                                    |                                |                                |                    |          |
| Proceso 3 |                    |                                    |                                |                                |                    |          |

TABLA 2.3. MATRIZ DE PRIORIZACIÓN DE PROCESOS<sup>34</sup>

**DONDE:**

- 1 Coste del proceso / costes totales de la empresa o departamento.
- 2 Tiempo de realización del proceso / tiempo total de procesado.
- 3 Costes de calidad / costes totales de calidad de la empresa o Dpto.
- 4 Capacidad / capacidad del proceso más capaz.
- 5 Otros criterios que se consideren relevantes.

Es preciso identificar los cuellos de botella del proceso, pues el aumento de la capacidad de producción de un cuello de botella se traduce automáticamente en el aumento de capacidad de todo el sistema.

Para la correcta aplicación de la tabla de priorización se debe tener en cuenta las respectivas ponderaciones es decir. (1 poco interesante, 5 muy interesante)

**ANÁLISIS DEL ALCANCE. GRADO DE FORMALIZACIÓN. RESPONSABLES**

Para iniciar el trabajo sobre un proceso, es de gran utilidad tenerlo descrito de forma clara y precisa. Una descripción adecuada al estudio incluiría los siguientes puntos:

- **Inputs** (entradas) de materiales, servicios e información.

Incluyendo qué departamento es el suministrador (o indicar “proveedor externo” en su caso).

<sup>34</sup> (CEEI Comunidad Valenciana, 2010, pág. 9)



- **Outputs** (salidas) de materiales, servicios e información.

Indicando el destino de la misma forma.

- **Alcance del proceso:** descripción de cuándo el proceso es de aplicación y cuándo no. (Por ejemplo: “Este procedimiento de compras se aplica únicamente al acopio de materiales estándares para producción”).

- **Responsable del proceso:** cada proceso tiene una persona responsable de su desarrollo, independientemente de que cada una de sus partes pueda ser dejada en manos de otras personas. Es recomendable expresarlos por el cargo que representa, y no por el nombre de la persona (puesto que con el tiempo puede cambiar).

- **Clientes** de cada uno de los outputs, que se pueden considerar “*clientes internos*” del proceso en caso de ser parte de la misma empresa o “*clientes externos*” cuando son ajenos a la misma.

- **Proveedores** de inputs proceso. En el caso de ser parte de la propia organización, se considerarán “*proveedores internos*”

- **Actividades** que se incluyen en cada proceso, esquemáticamente y de forma secuencial.

Esta nomenclatura será ya de uso habitual en la empresa en el caso de que tenga implantado un sistema de gestión de calidad basado en ISO-9000. Incluso es posible que ya exista un procedimiento o instrucción de trabajo sobre el procedimiento en estudio, con lo cual bastará con repasarlo desde el punto de vista de la reingeniería.

Para realizar un estudio adecuado de reingeniería es necesario documentar en lo posible cada uno de los procesos en estudio, usando un modelo de ficha como la mostrada, en la tabla 2.4.

|                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Nombre del proceso:</b>                                                                                  |
| <b>Objetivos del proceso:</b>                                                                               |
| <b>Requisitos del cliente:</b>                                                                              |
| <b>Qué es lo primero que hacemos:</b><br>Indicar qué acción hace que se “dispare” la ejecución del proceso. |
| <b>Inputs del proceso:</b><br>Materiales, servicios e información.                                          |
| <b>Responsable del proceso:</b><br>Todo proceso debe tener un “propietario” responsable de su ejecución.    |
| <b>Participantes en el proceso:</b><br>Otros participantes distintos del responsable del proceso.           |
| <b>Otras persona interesadas:</b><br>Clientes y proveedores de servicios, bienes e información.             |
| <b>Proveedores del proceso:</b><br>Resultado del proceso:                                                   |
| <b>Qué es lo último que hacemos:</b><br>Acción que determina la terminación del proceso                     |
| <b>Descripción del proceso:</b><br>Descripción detallada de las acciones que se realizan.                   |
| <b>Diagrama de flujo del proceso:</b><br>Según indicación de los siguientes capítulos                       |
| <b>Indicadores del proceso:</b><br>Elementos de medición. Ver explicación en siguientes capítulos           |

TABLA 2.4. FICHA DE PROCESO<sup>35</sup>

## ANÁLISIS DEL PROCESO. INTERACCIÓN ENTRE PROCESOS DE LA EMPRESA

Se trata de realizar el estudio del proceso de forma simplificada para facilitar su estudio, pero con suficiente detalle para no dejar sueltas cuestiones significativas. En cada estudio es necesario definir hasta qué nivel de detalle conviene llegar.

<sup>35</sup> (CEEI Comunidad Valenciana, 2010, pág. 11)

### **2.2.3 ANÁLISIS DE LÍNEA DE PRODUCCIÓN.**

Para realizar un debido análisis de la línea de producción se debe observar y analizar los procedimientos de acuerdo al proceso de producción, así se podrá lograr una perspectiva general de lo que vendría a conformar una estructura organizacional, la forma en la que se lleva a cabo y el impacto que causa en la productividad de la empresa.

### **2.2.4 PROCESO DE FABRICACIÓN**

El éxito del desarrollo y aplicación de la herramienta de gestión llamada reingeniería, también consta sin duda en el conocimiento y descripción del proceso en estudio, es decir previamente se debe tener la debida información

### **2.2.5 TIEMPOS DE PRODUCCIÓN.**

Son los tiempos que ocupa un servicio o materia prima en su debida transformación.

Principalmente se analizará tres tipos de tiempos:

- Tiempo-preparación ( $T_p$ ): tiempo sobre la unidad de trabajo previo y posterior a la elaboración.
- Tiempo-transformación ( $T_t$ ): tiempo empleado en trabajar sobre los materiales.
- Tiempo complementario ( $T_c$ ): tiempo indirecto a la transformación y el producto.

### **2.2.6 MEDICIÓN DEL PROCESO.**

Toda acción de mejora necesita partir de una cuantificación de sus parámetros representativos con los siguientes objetivos:

- Para poder proponer objetivos y medir si se han alcanzado, es necesario partir de datos numéricos.

- Proponer la realización de inversiones y analizar su rendimiento requiere también de valores numéricos.
- El uso de indicadores numéricos elimina la subjetividad en la evaluación del estado previo y de los resultados.
- Para conocer los puntos débiles del proceso (excesos de inventario, cuellos de botella, baja productividad, mala calidad, etc.)

En resumen: para realizar cualquier tipo de mejora es más que recomendable partir de elementos medibles.

### **2.2.7 LA SIMULACIÓN EN PROCESOS DE MANUFACTURA USANDO ELEMENTOS FINITOS.**

Mucho se ha hablado sobre programas que proporcionan el servicio de análisis de datos. Antes de escoger o utilizar un tipo de programa, deberemos evaluar las necesidades que tenemos que llenar y la clase de análisis que necesitamos.

Hoy en día es muy común utilizar programas de diseño que van complementadas con paquetes que interactúan con el modelo y geometría, esto para evitar extensas pruebas físicas que significan inversión a veces innecesaria y gran uso de recursos.

Entre los programas de ingeniería de evaluación y análisis de datos tenemos programas completos como el Ansys, el cual posee herramientas como el Workbench.

#### **PROGRAMA DE ELEMENTOS FINITOS ANSYS**

Está dividido en tres herramientas principales llamados módulos: pre-procesador (creación de geometría y mallado), procesador y post-procesador. Tanto el pre-procesador como el post-procesador están previstos de una interfaz gráfica. Este procesador de elemento finito para la solución de problemas mecánicos incluye: análisis de estructuras dinámicas y estáticas (ambas para problemas lineales y no-lineales), análisis de transferencia de calor y fluido

dinámica, y también problemas de acústicas y de electromagnetismo. Usualmente el uso de estas herramientas se utiliza simultáneamente logrando mezclar problemas de estructuras junto a problemas de transferencia de calor como un todo. Este software es usado también en ingeniería civil y eléctrica, física y química.

## **HERRAMIENTA WORKBENCH**

Se centra básicamente en el análisis estructural, térmico, de fluidos, y electromagnético.

Es un producto de Ansys que interactúa directamente con geometrías creadas en Inventor, Catia, Proenginner y Solid Works, es decir no es necesario transformarlo a extensión (.igs)

Igual que el Ansys usa métodos de elementos finitos, mallado y análisis de los mismos, una de las diferencias y ventajas comparándolo con Ansys es que es no solo recibe simulaciones de 2D, sino que lo hace en forma de volúmenes es decir en 3D.

## **2.3 DISEÑO DE MATRICES**

### **2.3.1. Definiciones**

Antes del diseño de los componentes que conforman una matriz se debe tener un previo conocimiento sobre algunos parámetros que influyen directamente en la funcionalidad de estos.

Anteriormente ya se habló sobre procesos de conformado mecánico y deformación en frío. Esto va a ser de gran ayuda para poder comprender la importancia que tiene cada teoría en el desarrollo de este documento.

### **2.3.2. Juegos para el Punzón y Matriz**

La construcción de las matrices es el punto determinante de la exactitud de las piezas obtenidas en cualquier proceso de conformado.

El juego entre el punzón y la matriz dependerá de dos factores fundamentales, que son: el grueso o espesor de la chapa y la calidad del material. De acuerdo a estos parámetros se puede obtener el valor de juego en tablas. O por medio de las fórmulas que en los capítulos próximos se detallaran.

### 2.3.4. Tolerancias de Fabricación

#### - Tolerancia de Corte

El valor de la tolerancia de corte, no sólo afecta directamente a la calidad de las piezas cortadas sino también a la vida de los útiles. En la práctica, la tolerancia de corte siempre se debe aplicar tomando como referencia dos valores fundamentales:

- 1) *El espesor del material*
- 2) *Su resistencia al corte en Kg. mm<sup>2</sup>.*

| Resistencia al corte(Kg.mm <sup>2</sup> ) | Factor de Tolerancia |
|-------------------------------------------|----------------------|
| <10                                       | 0.01*s               |
| al corte                                  | 0.03*s               |
| 26-39                                     | 0.05*s               |
| 40-59                                     | 0.07*s               |
| 60-90                                     | 0.09*s               |
| >100                                      | 0.10*s               |

TABLA 2.5. Tolerancia de Corte.<sup>36</sup>

En resumen como se puede observar en la tabla 2.5 entre mayor sea la resistencia de los materiales ira aumentando progresivamente el factor de tolerancia.

#### - Tolerancia de Embutición

En general está entre 1.1 y 1,4 veces el espesor de la chapa. El especialista observa a menudo que, con la misma chapa y la misma matriz, algunas piezas se

---

<sup>36</sup> (ASCAMM, 2007)

rompen debido a que el huelgo es demasiado estrecho, mientras que, al mismo tiempo, en otras piezas se forman pliegues al embutir debido a que el huelgo es demasiado grande.

En lo concerniente a la distribución del huelgo respecto al aro de embutición y al diámetro del punzón, se recomienda que sea constante en toda su longitud vertical, sin tener en cuenta las variables de espesor que pueda presentar la pieza en sus paredes verticales.

Las piezas embutidas con exactitud, únicamente pueden conseguirse mediante una embutición con alargamiento, a base de disminuir el espesor de la pared lateral. Entonces, el diámetro del aro de embutición coincide con la dimensión nominal y su pared interior se realiza exactamente cilíndrica; por otra parte, para facilitar el desprendimiento de la pieza terminada, la altura de dicho aro, hasta el canto inferior circular, es notablemente menor que la altura de la pared lateral de la pieza a embutir.

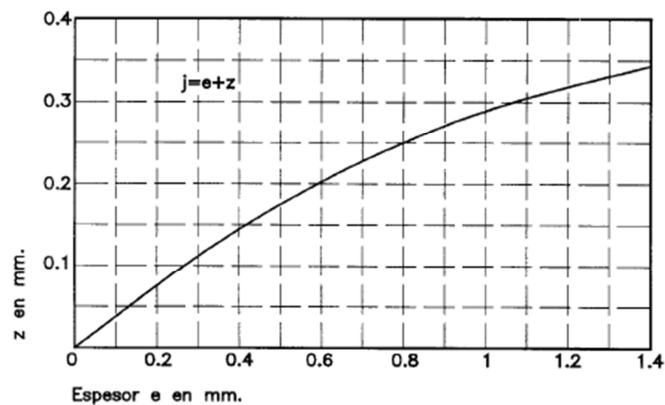


Figura 2.30 Juego de embutición.

En el caso de la figura 2.30, la tolerancia de embutición nos lo da en su totalidad, es decir, la diferencia total que debe existir entre la medida del punzón y la medida de la matriz.

### 2.3.5. Presión de Aplastamiento

#### - Presión del prensa chapas

La presión que debe ejercer el pisador sobre la chapa (figura 2.31) en el momento de ser embutida, se considera muy importante, sin embargo, se debe aclarar que dicha presión no guarda ninguna relación con la que se emplea para casos de corte o doblado. (Fundación ASCAMM/Centre Tecnologic, 2009, pág. 77)

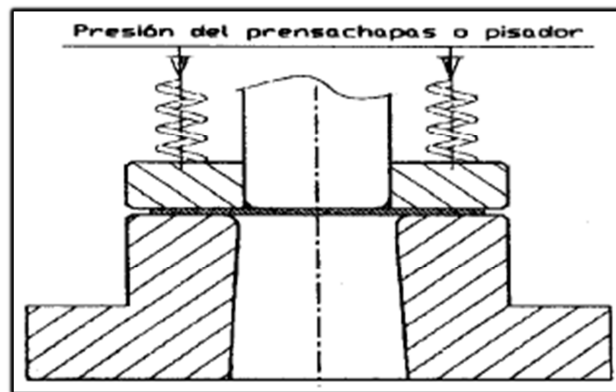


Figura 2.31 Juego de embutición.

En el caso de embuticiones rectangulares, el pisador debe ejercer su presión sobre la chapa de manera que permita su deslizamiento regular y uniforme sobre los radios de la matriz puesto que una presión insuficiente provocaría la formación de arrugas y en cambio, una presión excesiva impediría la fluidez del material provocando su alargamiento y rotura.

En los casos en que la prensa con la cual se va a trabajar disponga de medios de regulación de la presión del pisador, siempre será más conveniente escoger esta opción puesto que nos permitirá hacerlo de una forma práctica partiendo de la mínima y aumentándola hasta conseguir una pieza embutida de paredes perfectamente lisas.



### 2.3.6. Matriz de Corte

Es un conjunto de elementos que son adaptados para realizar una operación determinada generalmente en chapas con el fin de una producción de piezas en serie. (Figura 2.32)

El punzonado o corte es una operación mecánica con la cual mediante herramientas especiales aptas para el corte se consigue separar una parte metálica de otra obteniéndose una figura determinada.

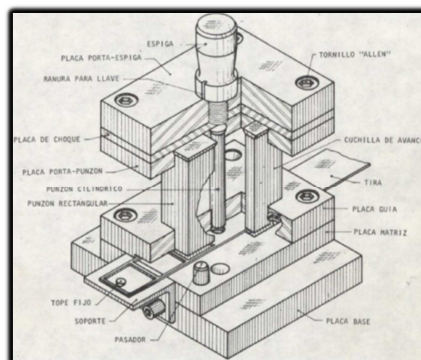


Figura 2.32 Matriz de Corte.<sup>37</sup>

El producto obtenido de la matriz se denomina pieza, y las sobras de la tira retal. Están formadas por dos conjuntos de piezas o placas denominadas superior e inferior.

#### - Conjunto Superior

En la parte superior móvil de la matriz que se fija al cabezal de la prensa por la espiga realizando movimientos verticales que descienden o ascienden.

#### -Conjunto Inferior

Esta parte de la matriz se fija a la mesa de la prensa o al balancín por medio de tornillos y bridas.

<sup>37</sup> (Scribd, 2010)

## **-Clasificación**

Se clasifican según

### ***SU FORMA:***

Descubierta.- De bajo costo y fácil fabricación, para su funcionamiento requiere una prensa con buena precisión en la guía del cabezal.

Cubierta.- Es más cara que la descubierta, posee una placa que guía al punzón el operador no tiene contacto visual con la pieza cuando trabaja.

Con columnas.- Ayudan a guiar de forma precisa al conjunto superior, de larga vida útil, por tener más exactitud su costo es mas elevado.

Con guía cilíndrica.- Guía con precisión tanto a los punzones como a las placas de la matriz, por su contextura ocupa una mayor altura incrementando el costo de fabricación.

### ***MANERA DE TRABAJAR:***

-Corte sencillo.- Como su nombre lo indica permite cortes de discos y piezas sencillas, según su función puede tener uno o varios punzones, de bajo costo de fabricación.

-Corte Progresivo.- Aumenta la velocidad de producción ya que al trabajar la pieza por etapas combina varias herramientas sencillas, es típico que sea fabricada con columnas y varias veces sea cubierta, tiene un precio medio de fabricación.

- Corte Total.- A diferencia de las anteriores, este tipo de matriz realiza los cortes de la pieza de un solo corte de forma precisa, disminuyendo tiempos de producción pero aumentando costes de fabricación, generalmente utiliza guías cilíndricas y columnas de precisión.

### -Placa matriz

Cuando las dimensiones son muy pequeñas o la forma de la pieza presenta dificultades de construcción se optan por fabricar los llamados postizos los cuales irán encajados en la placa matriz.

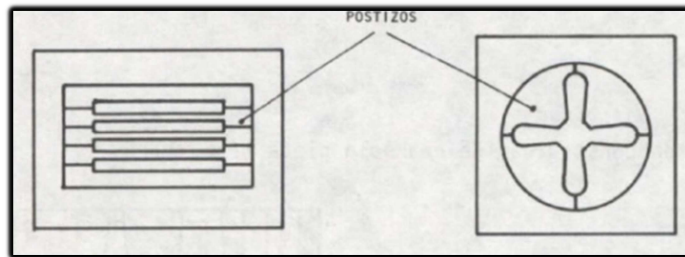


Figura 2.33 Postizos.<sup>38</sup>

Cuando se necesita fabricar una pieza de forma compleja es común construirla por partes, a este tipo de placas se las conoce como compuestas y se clasifica en:

-Con piezas postizas. (Figura 2.34)

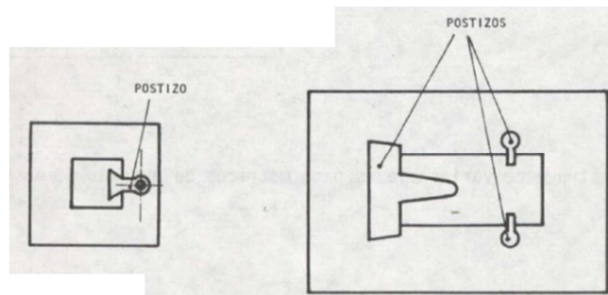


Figura 2.34 Postizos compuestos.<sup>39</sup>

- Con pastillas embutidas en material de bajo contenido de carbono, para reducir el costo. (Figura 2.35)

<sup>38</sup> (Scribd, 2010)

<sup>39</sup> (Scribd, 2010)

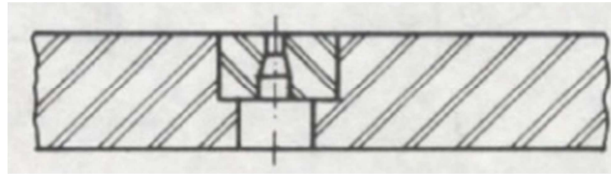


Figura 2.34 Pastillas compuestas.<sup>40</sup>

### 2.3.7. Matriz de Embutición

A diferencia de la matriz de corte q obtenía piezas venciendo la resistencia a la rotura del material, este proceso consiste en obtener elementos huecos de superficie no desarrollable, partiendo de un corte, es decir generalmente se realiza un proceso de corte o formado de lámina para el desarrollo de la embutición, este proceso se realiza sin que el espesor de chapa varié.

La mayoría de matrices de embutición se diferencia de las matrices de embutición solamente por el útil o herramienta usada para obtener el trabajo deseado, en la figura 2.35 podemos observar las distintas partes q conforman una matriz de embutición.

- A. Punzón
- B. Portapunzón
- C. Matriz
- D. Casquillo
- E. Resorte
- F. Base
- G. Prensachapa.

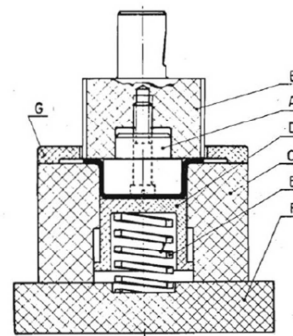


Figura 2.35 Matriz de Embutición.<sup>41</sup>

Uno de los factores a tomarse en cuenta al momento del diseño de la matriz es la fricción, por cuanto el material se deslizará entre la abertura entre el punzón y la matriz en resumen esta área debe estar pulida y lapeada; esto y la adecuada

<sup>40</sup> (Scribd, 2010)

<sup>41</sup> (Rossi, Mario, 1979, pág. 71)

lubricación de los elementos reduce la carga necesaria para el desarrollo del embutido, el achaflanado de los bordes de la matriz ayuda a la chapa a resbalar por la pared del agujero.

El correcto recorte del disco y el diseño de la herramienta en conjunto determinaran el éxito de la operación y la calidad del producto.

Existen varias formas de describir una matriz de embutición esto debido al diseño que se requiera para obtener el producto final y a la experiencia del diseñador; sin embargo se las puede clasificar en tres grandes grupos:

#### **Matriz de embutición con columnas:**

A menudo suelen ser matrices de una sola etapa, de diseño y construcción sencillos, por sus dimensiones, tolerancias y facilidad de fabricación se puede decir que tiene un costo medio; sus tolerancias están enfocadas principalmente en las columnas ya que de estas depende principalmente la calidad del producto final, apta para producciones de volúmenes medianos.

#### **Matriz de embutición Autoguiada:**

Utiliza pilotos guías, ya que requiere una embutición precisa su diseño y construcción son relativamente sencillos, de bajo costo de fabricación debido a sus reducidas dimensiones; no posee columnas guías ya que se guía mediante el punzón de embutición, esto debido a que generalmente la prensa posee sus propias columnas, se la utiliza comúnmente en producciones de baja producción y de una sola etapa.

#### **Matriz Progresiva Compuesta**

Su costo es alto debido a la cantidad de elementos que conforman su diseño y construcción ya que son de nivel complejo y mínimas tolerancias, principalmente se debe a que se trata de generar productos de difícil forma en una sola etapa, mejorando de esta forma la producción y calidad de las piezas obtenidas a la que a su vez sirve para grandes volúmenes de producción.

### 2.3.8. Mecanismo de Acoplamiento.

Para fijar la placa base a la mesa de la prensa se lo hace de dos formas:

Por medio de tornillos, directamente a la placa. (Figura 2.36)

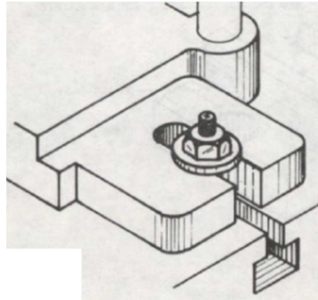


Figura 2.36 tornillo-placa<sup>42</sup>

Por medio de bridas y tornillos. (Figura 2.37)

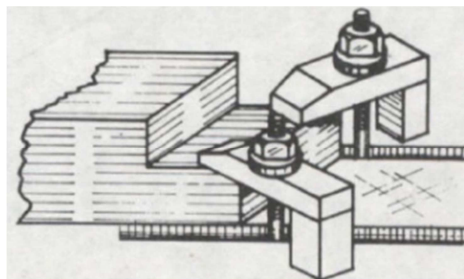


Figura 2.37 Bridas-tornillos<sup>43</sup>

Este sistema se puede utilizar tanto en matrices de corte como en las de embutición. Es muy útil y fácil de montar y desmontar por lo que su uso es adecuado en procesos donde se deben realizar un rápido mantenimiento.

### 2.3.9. Dimensionamiento.

Para el dimensionamiento de los elementos de cada matriz algunos autores recomiendan seleccionar cualquier tipo de alternativa basándose siempre en las

---

<sup>42</sup> (Blanco, J., 98, pág. 346)

<sup>43</sup> (Blanco, J., 98, pág. 346)

medidas y posibilidades que existan en el mercado metalmecánico nacional, además J. Blanco siempre en su libro “Profundos conocimientos de matricería” a menudo menciona el apoyo en la experiencia del diseñador y lo que esto significa para el éxito tanto en el funcionamiento del útil, como en la obtención del producto final. Es así como entre algunos de los parámetros a tener en cuenta para el correcto funcionamiento de nuestra matriz tenemos los siguientes:

- La fuerza de la prensa expresada en toneladas.
- La disponibilidad en el mercado de los distintos aceros especiales o sus equivalentes en el mercado nacional.
- Dimensiones de la mesa de la prensa para el correcto montaje de las matrices.
- Medidas, características y presentación de los aceros.
- Costos de material.
- Costo de diseño, fabricación y tecnología.

### **2.3.10. Capacidad de Producción**

Se va considerar criterios para producción industrial sabiendo que la capacidad de producción está definida por el grado de precisión requerido y la tecnología disponible para alcanzar el producto final.

#### **Para matrices de Corte**

Dependiendo la cantidad de piezas que se vayan a producir se puede dejar cierta altura de material para rectificar, la misma que puede ser calculada teniendo en cuenta el material que se pierde entre afilados. La capacidad de producción para una matriz de corte está directamente ligada al desgaste que sufre.

$$H = \frac{0,15 * N}{n} \quad (2.5)^{44}$$

Dónde:

H= Demasía o altura para rectificar.

---

<sup>44</sup> (Blanco, J., 98, pág. 25)

0,15= factor de espesor que se elimina en cada rectificado.

N= número de piezas que se desean rectificar.

n= (entre 30000-50000), número de piezas recortadas entre afilados.



# CAPÍTULO III

## REINGENIERÍA DEL PROCESO DE FABRICACIÓN

### 3.1 REINGENIERÍA DEL PROCESO FABRICACIÓN.

#### IDENTIFICACIÓN

En el siguiente cuadro se identifican los procesos que forman parte en la cadena de formación del producto.

| <b>PROCESOS IDENTIFICADOS</b> |
|-------------------------------|
| <b>Despunte</b>               |
| <b>Embutido</b>               |
| <b>Corte Aleta</b>            |
| <b>Perforado</b>              |
| <b>Sello</b>                  |
| <b>Pulido</b>                 |
| <b>Corte Chapeta</b>          |
| <b>Remachado</b>              |
| <b>Anodizado</b>              |
| <b>Corte mango</b>            |
| <b>Doblez mango 1</b>         |
| <b>Doblez mango 2</b>         |
| <b>Doblez mango 3</b>         |
| <b>Ensamblaje y embalaje</b>  |

TABLA 3.1 Identificación de Procesos

## PRIORIZACIÓN

|                          | Coste <sup>1</sup> | Tiempo de realización<br>(seg) | Costes de<br>calidad <sup>3</sup> | Cuello de<br>botella <sup>4</sup> | Promedio    |
|--------------------------|--------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------|
| Despunte                 | 4                  | 3                              | 1                                 | 2                                 | 2.5         |
| <b>Embutido</b>          | <b>4</b>           | <b>3</b>                       | <b>5</b>                          | <b>3</b>                          | <b>3.75</b> |
| Corte Aleta              | 4                  | 2                              | 3                                 | 4                                 | 3.25        |
| Perforado                | 3                  | 2                              | 3                                 | 2                                 | 2.5         |
| Sello                    | 4                  | 2                              | 3                                 | 2                                 | 2.75        |
| Pulido                   | 3                  | 5                              | 2                                 | 2                                 | 3           |
| Corte Chapeta            | 3                  | 1                              | 2                                 | 2                                 | 2           |
| Remachado                | 3                  | 4                              | 2                                 | 2                                 | 2.75        |
| <b>Anodizado</b>         | <b>5</b>           | <b>5</b>                       | <b>2</b>                          | <b>2</b>                          | <b>3.5</b>  |
| Corte mango              | 2                  | 3                              | 1                                 | 1                                 | 1.75        |
| Doble mango<br>1         | 2                  | 2                              | 1                                 | 1                                 | 1.5         |
| Doble mango<br>2         | 2                  | 2                              | 1                                 | 1                                 | 1.5         |
| Doble mango<br>3         | 2                  | 2                              | 1                                 | 1                                 | 1.5         |
| Ensamblaje<br>y embalaje | 4                  | 4                              | 1                                 | 1                                 | 2.5         |

TABLA 3.2 Priorización de procesos

Para la priorización de cada proceso se ha tenido en cuenta parámetros como costo de fabricación, tiempo de realización, costo de calidad, y se ha tomado en cuenta posibles o visibles cuellos de botella pues el aumento de producción se traduce automáticamente en el aumento de capacidad de todo el sistema.

La forma de ponderación de datos se ha realizado de la siguiente forma:

1: poco interesante

5: muy interesante

Y los valores medios entre el máximo y mínimo del rango antes descrito. Los resultados de la tabla han revelado que se debe prestar mayor atención a los procesos de embutición y de anonizado.

### **3.2 ANÁLISIS DE LÍNEA DE PRODUCCIÓN.**

Para empezar el análisis de la línea de producción lo primero que debemos hacer es identificar las falencias que posee; se ha realizado una entrevista a operarios y al jefe de producción, y basándose en los resultados de la tabla 3.2, podemos decir que entre los factores que afectan a la eficiencia son los siguientes:

#### **FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCCIÓN**

Los factores que afectan a la eficiente producción de vajilla militar son:

- La calidad de la materia prima que llega desde Cuenca la cual al parecer no es inspeccionada siguiendo algún tipo de parámetro para verificar si cumple con el control de calidad.
- La falta de coordinación en el área de producción, dificultando el desempeño de los trabajadores para cumplir con las órdenes de trabajo.
- Los retrocesos generados por desconocimiento de métodos.
- Problemas de comunicación entre el área de producción y los trabajadores que dificulta el aprovechamiento correcto de los recursos disponibles.
- La falta de un plan de trabajo coordinado.
- El bajo número de vajilla solicitado, genera demoras puesto que los parámetros de producción deben ser cambiados continuamente.
- Las máquinas se descalibran debido a los grandes lapsos de tiempo que deben pasar antes de un nuevo pedido.
- Falta de mantenimiento de maquinaria y matrices.
- La falta de documentación y registro de detalles u notas de fabricación.

Una vez identificados los elementos que causan retrasos y la ineficiencia en la producción debemos usar una de las herramientas del control de calidad para mostrar de manera más puntual y objetiva estas primeras investigaciones; es así

como la herramienta de mayor eficacia es el diagrama de ISHIKAWA conocido también como el de espina de pescado.

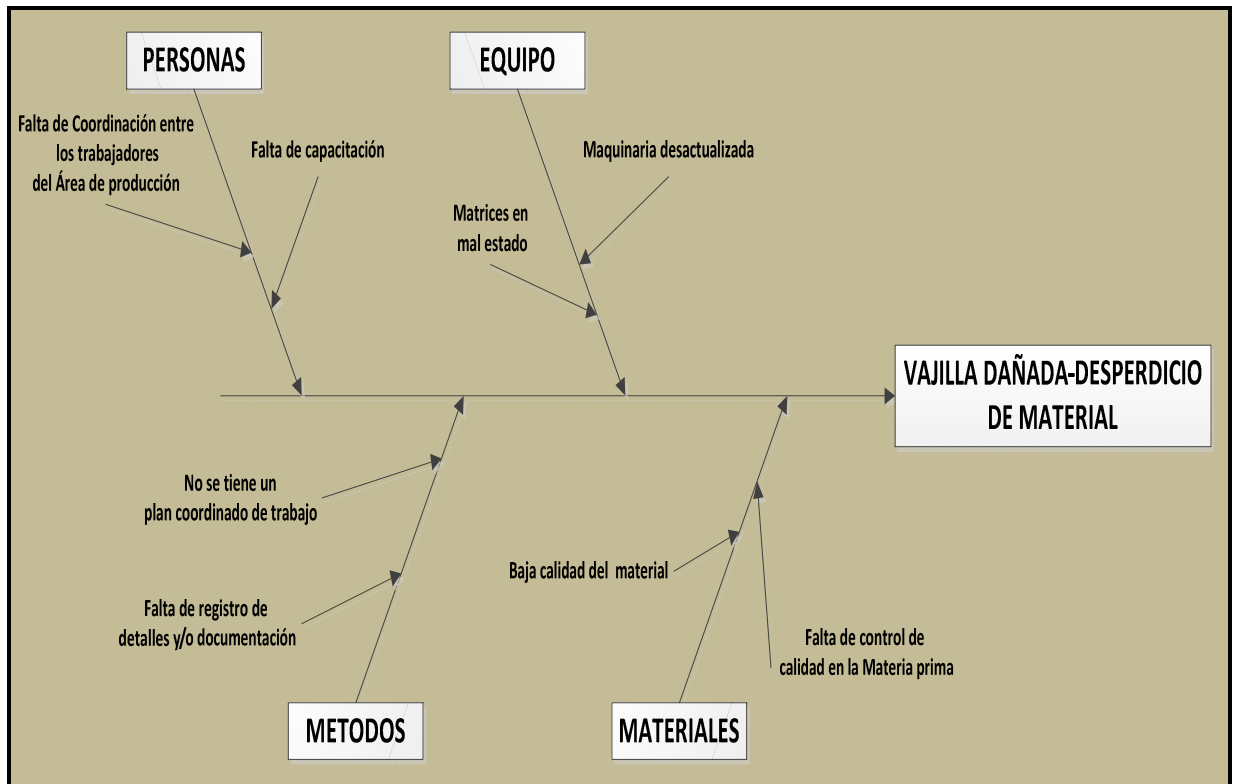


Figura 3.1 Diagrama del ISHIKAWA

### ANÁLISIS DEL DIAGRAMA CAUSA-EFECTO (ISHIKAWA)

El Proceso de Producción actual se identifica con el proceso tipo intermitente, pues se fabrica el producto bajo pedido, todos los modelos necesitan montajes, por lo que pueden obtenerse unidades de mayor magnitud por adición de pequeñas.

La Distribución de Planta actual se asocia directamente con el tipo de producción existente, así, la Distribución es Funcional, y es la mejor para procesos de producción del tipo intermitente.

### 3.3 PROCESO DE FABRICACIÓN

La siguiente grafica describe a manera de flujograma el proceso entero de fabricación de la vajilla.

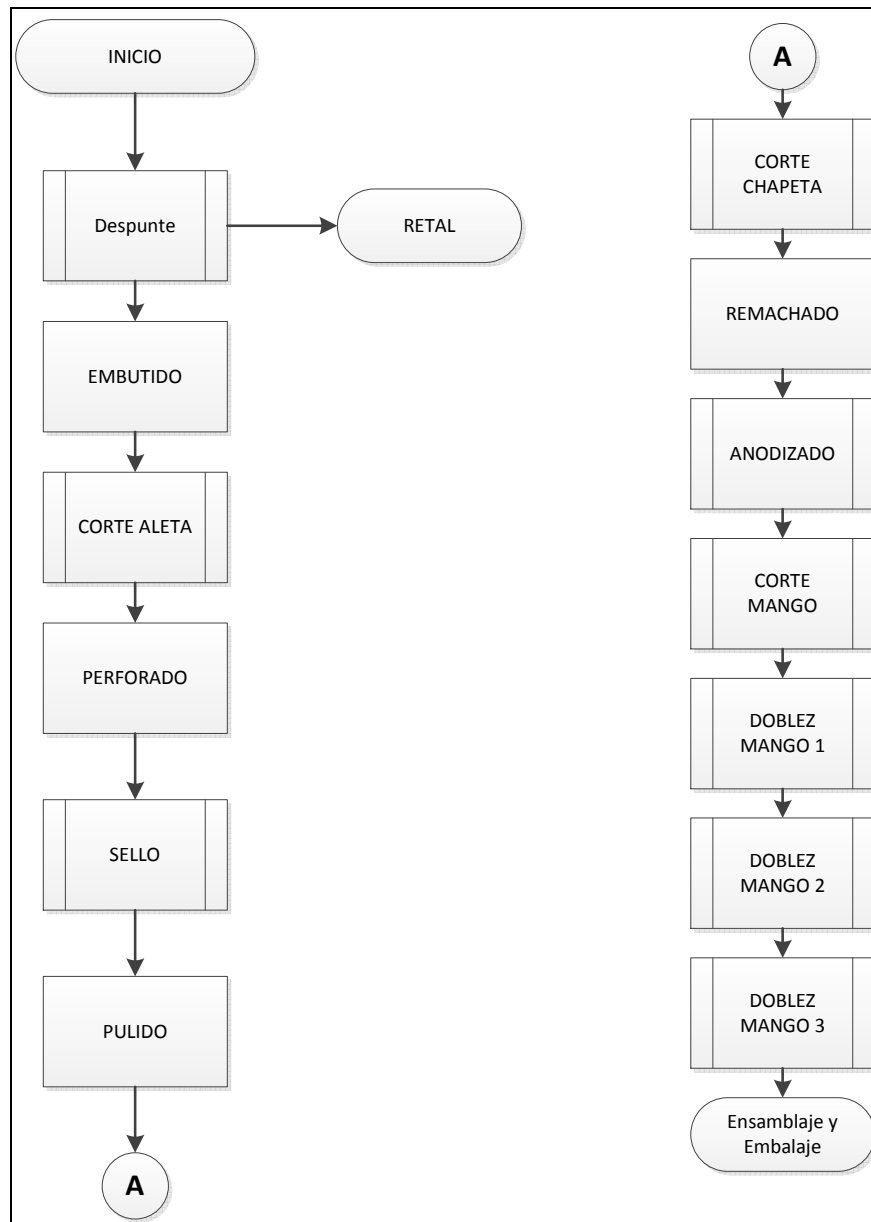


Figura 3.2 Diagrama del proceso de fabricación

Para los fines de análisis de esta tesis deberemos desatender algunos procesos externos que no están dentro de nuestra línea de análisis, como es el anodizado, sello, remachado, corte y doblez del mango.

Así es como en este proceso como producto final se desea obtener vajillas de campaña, que en este caso se describe el proceso de producción de recipientes a continuación:

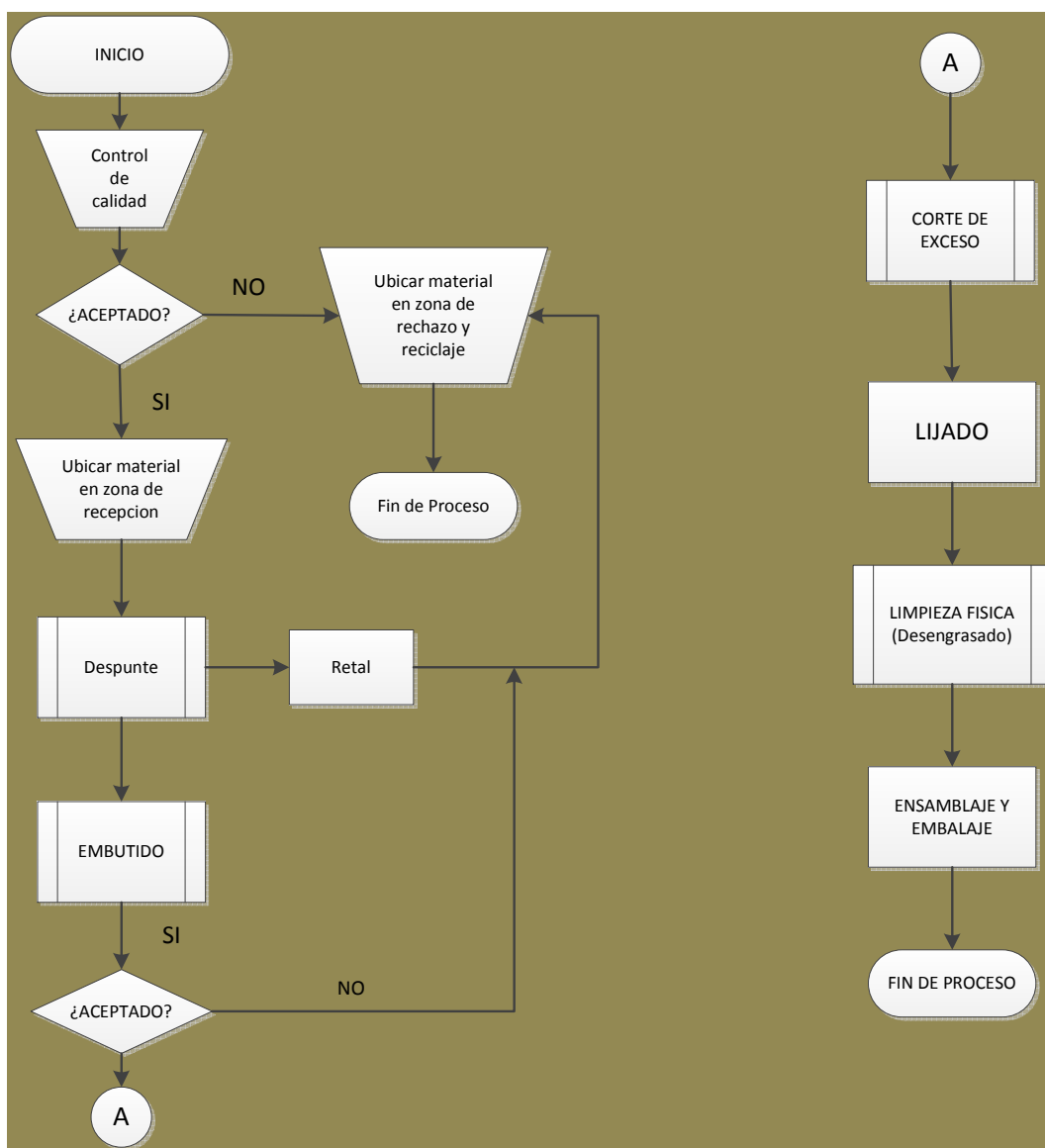


Figura 3.3 Diagrama del proceso de fabricación en análisis.

**Despunte:** Se corta las láminas que ya vienen de fábrica con una medida de 265X235X 1.5; para la bandeja pequeña o de 280X245X1,5; para la bandeja grande, según la forma del producto que se desee obtener, para los recipientes se realiza el corte en forma rectangular.

**Embutido:** Se coloca las láminas en la prensa de 40 Tons. en la que la lámina es embutida por matrices de diferentes tamaños según la profundidad que el producto requiera, para que el proceso se puede lograr con éxito se utiliza una mezcla entre la grasa MULTIFAK EP2 y aceite SAE EP140.

**Corte de Exceso:** Se colocan las bandejas embutidas en la prensa de 35 toneladas y se eliminan los bordes que quedan luego del proceso de embutición por medio de una matriz diseñada para este trabajo.

**Lijado:** Se realiza un posterior lijado de las rebabas del material.

**Limpieza Física (Desengrasado):** Se realiza una limpieza con gasolina para quitar los residuos que queden del lijado y la embutición.

**Embalaje y Almacenamiento:** El producto terminado es colocado en cajas para la protección del mismo.

Por consiguiente el flujograma a analizar sería el de la Figura 3.3.

## **DESCRIPCIÓN DE LOS RECURSOS UTILIZADOS**

Los recursos utilizados en la empresa para la fabricación de la vajilla son:

- Mano de obra directa e indirecta: 6 personas como mano de obra directa que ejecutan el proceso de fabricación y de 2 a 3 personas como mano de obra indirecta que ayudan en tareas como ensamblaje y embalaje.
- Materiales de fabricación: gasolina, grasa multifack, lija fandely # 80, pega blanca, cemento de contacto, remaches de aluminio 5/32 x 3/8, guantes de cuero de napa, guantes de hilo, guantes de nitrilo, gafas transparentes, plástico stretch.

- Maquinaria: se dispone para el proceso de fabricación las siguientes máquinas como Troqueladora, prensas y matrices.
- Insumos: Como energía eléctrica y agua.

### 3.4 PROPUESTA DE REINGENIERÍA

#### ANTECEDENTES

Un antecedente a considerar antes de proponer mejoras al sistema, es que su layout es rígido y asentado dentro de la cultura organizacional, lo que imposibilita evaluar formas más innovadoras de trabajo. Además no existen procedimientos escritos, las personas realizan las operaciones de acuerdo a su experiencia en el oficio y no son solidarios con sus conocimientos, lo que dificulta el trabajo en equipo y el balanceo de línea.

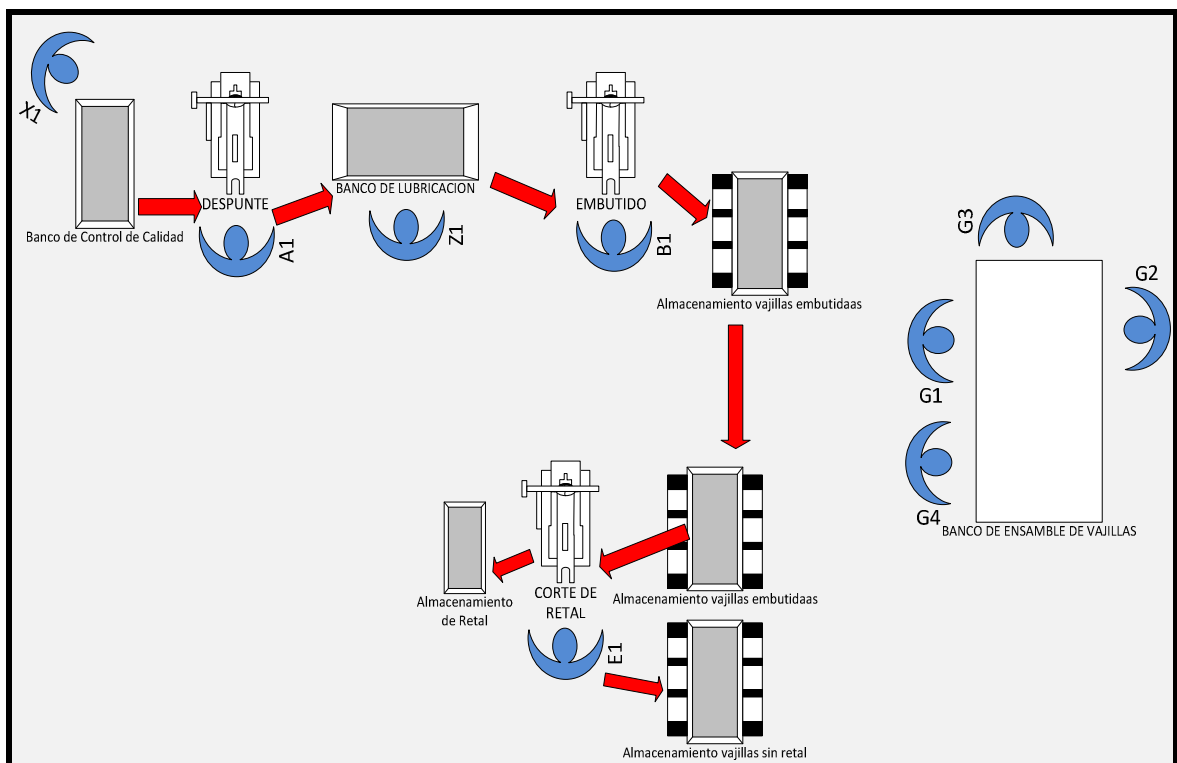


Figura 3.4 LAYOUT del proceso de fabricación en análisis



El sistema también presenta deficiencias de liderazgo, que impide que la línea gestione sus propias soluciones. No hay planteamientos de objetivos y metas, que incentiven a los trabajadores, aportando a la entropía general que presenta la organización, la que se ve acentuada por la inexistencia de un buen flujo de información, como también un desaprovechamiento de la misma, lo que genera descoordinación, dificulta el trabajo en equipo, afecta la calidad del producto, la productividad e incumplimiento de tiempos de entrega, incidiendo en una mala gestión.

El criterio de atención que se otorga a cada lote depende del operador de cada puesto de trabajo, el que decide, de acuerdo a como avanza la línea o acorde a lo que es más fácil para él. Esta forma de trabajo provoca descoordinación, cuellos de botella, incumplimiento de plazos e aislamiento de cada puesto.

En conclusión las razones mencionadas antes provocan un alto grado de entropía en el sistema y una deficiente comunicación que implica que esta línea no alcance los objetivos productivos exigidos por gerencia.

Para la aplicación de reingeniería y con fines de mejoramiento al proceso de fabricación en estudio se ha buscado entre los diferentes métodos que puedan ser fácilmente aplicables en pro de encontrar áreas de oportunidad que permitan aumentar la producción del sistema, pero que sean abordables en el corto plazo, incurriendo en un mínimo costo se ha optado por incurrir en el principio de administración de Taylor el cual a continuación se explicara.

## **PROPUESTA DE MEJORA**

### **PRINCIPIOS DE LA ADMINISTRACIÓN CIENTÍFICA DE TAYLOR**

***Principio de Planeamiento:*** Sustituir en el trabajo, el criterio individual del obrero, la improvisación y la actuación empírica, por los métodos basados en procedimientos científicos (Hoja de Método de la Operación OMS).

**Principio de Preparación:** Seleccionar a los trabajadores de acuerdo a sus aptitudes, prepararlos y entrenarlos para una mejor producción, de acuerdo con el método planeado, además preparar también las máquinas y equipos de producción, como también la distribución física y la disposición racional de las herramientas y materiales.

**Principio de Control:** Controlar el trabajo para certificar que el mismo está siendo ejecutado de acuerdo con las normas establecidas y según el plan previsto.

**Principio de Ejecución:** La ejecución del trabajo debe ser disciplinada.

### EJECUCION DEL DIAGRAMA DE PARETO

Para poder determinar de forma correcta fallas y/ o procesos causantes, se deberá recurrir a cualquier herramienta de análisis que nos ayuden a mejorar la calidad, de esta manera se ha propuesto el siguiente grafico valiéndose en datos de la tabla 3.2 en donde he priorizado los procesos por medio de una cuantificación de características y evaluación de fallas.

Como nuestro análisis es rápido y tan solo se limita al análisis de los procesos que ocurren internamente el grafico y los datos se tomaron y quedaron de la siguiente manera. Tabla 3.3.

| causa                   | frecuencia | % Acumulados |
|-------------------------|------------|--------------|
| <b>Embutido</b>         | 3.75       | 22%          |
| <b>Corte de Excesos</b> | 3.25       | 41%          |
| <b>Lijado</b>           | 3          | 59%          |
| <b>Despunte</b>         | 2.5        | 74%          |
| <b>Ensamblaje</b>       | 2.5        | 88%          |
| <b>Limpieza Física</b>  | 2          | 100%         |

Tabla 3.3 Priorización de datos de la línea de producción en análisis

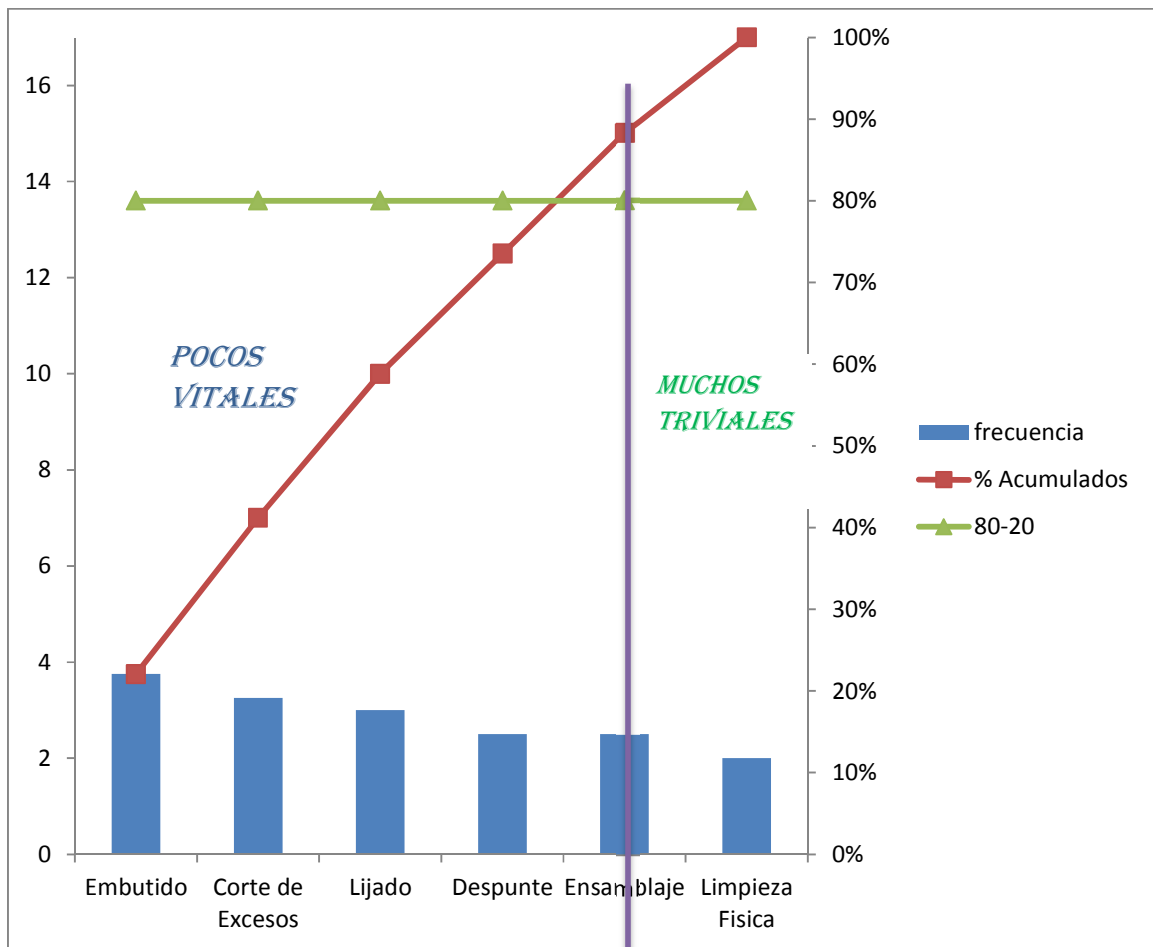


Figura 3.5 Diagrama de Pareto

## ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DEL DIAGRAMA

El diagrama nos muestra de forma clara la distinción entre los elementos de más peso e importancia dentro del grupo; es decir, nos ayuda a priorizar, enfocar y dirigir nuestro esfuerzo en el análisis de procesos como el Embutido, Corte de excesos; lijado, y el despunte; los cuales según la gráfica aparecen como elementos "POCO VITALES".

Además nos entrega una clara percepción de la gran necesidad en aplicar rápidas soluciones por medio de la reingeniería del proceso.

### 3.5 MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE TIEMPOS DE PRODUCCIÓN.

El tiempo de procesamiento es distinto al tiempo de ciclo ya que dicho tiempo casi siempre es un tiempo calculado y rara vez coincide con el tiempo de ciclo; además representa el 1% del valor real del ciclo. En la siguiente tabla se muestra el tiempo de procesamiento que se maneja en la fábrica E.P. Santa Bárbara.

|                                  | <b>Tiempo</b><br><i>(seg)</i> |
|----------------------------------|-------------------------------|
| <b>Despunte</b>                  | 0.369                         |
| <b>Embutido</b>                  | 0.4                           |
| <b>Corte Aleta</b>               | 0.32                          |
| <b>Perforado</b>                 | 0.32                          |
| <b>Sello</b>                     | 0.32                          |
| <b>Pulido</b>                    | 1.2                           |
| <b>Corte Chapeta</b>             | 0.15                          |
| <b>Remachado</b>                 | 0.7                           |
| <b>Anodizado</b>                 | 1.2                           |
| <b>Corte mango</b>               | 0.48                          |
| <b>Doblez mango<br/>1</b>        | 0.32                          |
| <b>Doblez mango<br/>2</b>        | 0.32                          |
| <b>Doblez mango<br/>3</b>        | 0.32                          |
| <b>Ensamblaje<br/>y embalaje</b> | 0.8                           |

Tabla 3.4 Tiempos de Procesamiento.

#### Tiempo Ciclo

Que tan seguido una parte o un producto es completado en un proceso, como tiempo de observación. Este tiempo incluye el tiempo de operación además del tiempo que se requiere para la preparación del producto el tiempo de carga y el tiempo de descarga.

El cálculo apropiado del tiempo ciclo depende de lo que se quiera medir. Por ejemplo, si un proceso de pintura completa un lote de 22 piezas cada 5 minutos, el tiempo ciclo de ese lote es de 5 minutos. Sin embargo el tiempo ciclo de un pieza en particular es 13.6 segundos (5 minutos x 60 segundos = 300 segundos, divididos entre 22 piezas = 13.6 segundos).

### **MEDICIÓN DE TIEMPOS REALES DE LOS PROCESOS**

Las siguientes tablas muestran la medición y cálculo de los llamados tiempos Estándar, los cuales según el método usado servirán para regular y controlar la eficiencia de cada operario.

A continuación se describirá la forma y el modo que se empleó cada tipo de tiempo en esta tesis.

#### **Tiempo Medio Observado (TMO)**

El tiempo medio observado es el promedio de todos y cada uno de los tiempos medidos de una tarea, también conocido como ciclo promedio.

Y se calcula de la siguiente manera:

$$TMO = \text{promedio de ciclos} \quad (3.1)$$

#### **Tiempo Normal (TN)**

Fundamentalmente se califica la velocidad útil basada en la experiencia y dominio de la técnica por el operario, ya que un trabajador puede realizar movimientos muy rápidos pero no útiles porque no corresponden al método estándar y los de otros pueden ser lentos pero en realidad ahorran movimientos al ejecutar los necesarios.

Para poder hacer este cálculo es necesario otorgar una calificación al operador; en la siguiente tabla se muestra dicha ponderación.

| <b>CALIFICACION %</b> | <b>DESCRIPCION</b>                                            |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------|
| 80                    | EL OPERADOR TRABAJA MAS LENTO QUE EL RITMO NORMAL DE TRABAJO  |
| 100                   | RITMO OPTIMO DE TRABAJO                                       |
| 120                   | EL OPERADOR TRABAJA MAS RAPIDO QUE EL RITMO NORMAL DE TRABAJO |

Tabla 3.5 Calificación del operador

Ecuación de cálculo del Tiempo Normal:

$$T.N = TMO * Calificacion\ del\ operario / 100 \quad (3.2)$$

### Tiempo Estándar

Es el tiempo requerido para que un operario, plenamente calificado y adiestrado, y trabajando a un ritmo normal, lleve a cabo el trabajo.

Lógicamente se debe tener en cuenta que ningún operario puede mantener el mismo ritmo de trabajo durante la jornada; es por eso que para el cálculo del tiempo estándar se debe tener en cuenta los suplementos, los cuales deben ser aplicados según el área de trabajo y la actividad realizada.

Para el análisis y cálculo de esta tesis se ha tomado los suplementos que se detallan en la tabla 3.7 y se los ha expresado en la tabla 3.6 de la siguiente manera:

| Suplemento % | Razón y/o actividad        |
|--------------|----------------------------|
| 5            | Por necesidades personales |
| 2            | tensión visual             |
| 2            | tensión auditiva           |
| 1            | monotonía mental           |
| 2            | postura incomoda           |
| 12           | SUMATORIA                  |

Tabla 3.6 Suplementos usados en el análisis de la línea.

$$\text{Tiempo Estandar} = T.N.* \left( 1 + \frac{\text{Suplemento}}{100} \right) \quad (3.3)$$

|                                                                          |      |                                          |   |
|--------------------------------------------------------------------------|------|------------------------------------------|---|
| <b>1.-Suplementos Constantes.</b>                                        |      | <b>6.-Tencion visual</b>                 |   |
| Por necesidades personales                                               | 5    | Trabajos de cierta precision             | 0 |
| Basico por Fatiga                                                        | 0    | Trabajos de precision o fatigosos        | 2 |
|                                                                          |      | Trabajos de gran precision o fatigosos   | 5 |
| <b>2.-Cantidades Variables Añadidas al Suplemento Basico pos Fatiga.</b> |      | <b>7.-Tencion auditiva</b>               |   |
| Suplemento por trabajar de pie                                           | 2    | Sonido continuo                          | 0 |
| Suplemento por postura                                                   |      | Intermitente o fuerte                    | 2 |
| Ligeramente incomoda                                                     | 0    | Muy fuerte                               | 5 |
| Incomoda (Inclinado)                                                     | 2    |                                          |   |
| Muy incomoda                                                             | 7    | <b>8.-Tencion mental</b>                 |   |
| <b>3.-Levantamiento de Peso y Uso de Fuerza</b>                          |      | Proceso bastante complejo                | 1 |
| Peso levantado o Fuerza Ejercida en Kilogramos.                          |      | proceso complejo o atencion muy dividida | 4 |
| 2.5                                                                      | 0    | muy complejo                             | 8 |
| 5                                                                        | 1    | <b>9.-Monotonia mental</b>               |   |
| 7.5                                                                      | 2    | Trabajo algo monotono                    | 0 |
| 10                                                                       | 3    | Trabajo bastante monotono                | 1 |
| 12.5                                                                     | 4    | Trabajo muy monotono                     | 4 |
| 15                                                                       | 6    | <b>10.-Monotomia fisica</b>              |   |
| 17.5                                                                     | 8    | Trabajo algo aburrido                    | 0 |
| 20                                                                       | 10   | Trabajo bastante aburrido                | 2 |
| 22.5                                                                     | 12   | Trabajo muy aburrido                     | 5 |
| 25                                                                       | 14   | <b>11.-Ropa</b>                          |   |
| 30                                                                       | 19   | Ligera                                   | 0 |
| 40                                                                       | 33   | Semi ligera                              | 2 |
| 50                                                                       | 58   | Pesada                                   | 3 |
| <b>4.-Intencidad de luz</b>                                              |      | <b>12.-Temperatura</b>                   |   |
| Ligeramente por debajo de lo recomendado.                                | 0    | 34-36°C                                  | 1 |
| Bastante por debajo                                                      | 2    | 37-39°C                                  | 2 |
| Absolutamente Insuficiente                                               | 5    | 40-45°C                                  | 3 |
| <b>5.-Calidad del aire</b>                                               |      |                                          |   |
| Buena ventilacion o Aire Libre                                           | 0    |                                          |   |
| Mala ventilacion                                                         | 5    |                                          |   |
| Proximidad con ornos o calderas                                          | 5-15 |                                          |   |

Tabla 3.7 Suplementos

Luego de la previa explicación de la forma de análisis y cálculo de los tipos de tiempos se pasa a la aplicación; en las siguientes tablas se detalla de forma sistemática la aplicación de la teoría de observación de tiempos para de esta manera obtener el tiempo estándar de cada proceso que conforma la línea de fabricación de la vajilla.

**Proceso: Despunte**

| TABLA DE OBSERVACIONES DE TIEMPO |                  |                    |      |       |       |       |      |           |      |                |      |               |                      |
|----------------------------------|------------------|--------------------|------|-------|-------|-------|------|-----------|------|----------------|------|---------------|----------------------|
| Descripción de la operación      |                  | DESPUNTE           |      |       |       |       |      |           |      |                |      |               |                      |
| DESCRIPCIÓN DE LA TAREA          |                  | OBSERVACIÓN (seg.) |      |       |       |       |      | SUMATORIA | TMO  | CALIFICACIÓN % | TN   | SUPLEMENTOS % | Tiempo Estándar (TE) |
| TAREA N°                         | TAREA (ELEMENTO) | 1                  | 2    | 3     | 4     | 5     | 6    |           |      |                |      |               |                      |
| 1                                | DESPUNTE         | 9.14               | 10.8 | 10.53 | 10.66 | 13.05 | 9.05 | 63.2      | 10.5 | 90             | 9.48 | 12            | 10.62264             |

Tabla 3.8 Tiempo Estándar del Proceso de Despunte

**Proceso: Embutición Recipiente**

| TABLA DE OBSERVACIONES DE TIEMPO |                  |                       |       |       |       |       |       |           |        |                |        |               |                      |
|----------------------------------|------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|--------|----------------|--------|---------------|----------------------|
| Descripción de la operación      |                  | Embutición recipiente |       |       |       |       |       |           |        |                |        |               |                      |
| DESCRIPCIÓN DE LA TAREA          |                  | OBSERVACIÓN (seg.)    |       |       |       |       |       | SUMATORIA | TMO    | CALIFICACIÓN % | TN     | SUPLEMENTOS % | Tiempo Estándar (TE) |
| TAREA N°                         | TAREA (ELEMENTO) | 1                     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     |           |        |                |        |               |                      |
| 1                                | DESPUNTE         | 14.4                  | 11.79 | 10.79 | 12.06 | 10.26 | 10.44 | 69.74     | 11.623 | 90             | 10.461 | 12            | 11.71632             |

Tabla 3.9 Tiempo Estándar del Proceso de Embutición de Recipiente



**Proceso: Corte de Exceso**

| TABLA DE OBSERVACIONES DE TIEMPO |                  |                    |      |      |      |      |      |           |      |                |      |               |                      |
|----------------------------------|------------------|--------------------|------|------|------|------|------|-----------|------|----------------|------|---------------|----------------------|
| Descripción de la operación      |                  | Corte de Exceso    |      |      |      |      |      |           |      |                |      |               |                      |
| DESCRIPCIÓN DE LA TAREA          |                  | OBSERVACIÓN (seg.) |      |      |      |      |      | SUMATORIA | TMO  | CALIFICACIÓN % | TN   | SUPLEMENTOS % | Tiempo Estandar (TE) |
| TAREA N°                         | TAREA (ELEMENTO) | 1                  | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |           |      |                |      |               |                      |
| 1                                | DESPUNTE         | 6.26               | 6.25 | 5.58 | 6.89 | 6.88 | 5.67 | 37.5      | 6.26 | 90             | 5.63 | 12            | 6.30504              |

Tabla 3.10 Tiempo Estándar del Proceso de Corte de Exceso de Recipiente

**Proceso: Embutición Jarro FASE 1**

| TABLA DE OBSERVACIONES DE TIEMPO |                  |                         |      |       |       |       |      |           |        |                |       |               |                      |
|----------------------------------|------------------|-------------------------|------|-------|-------|-------|------|-----------|--------|----------------|-------|---------------|----------------------|
| Descripción de la operación      |                  | Embutición JARRO FASE 1 |      |       |       |       |      |           |        |                |       |               |                      |
| DESCRIPCIÓN DE LA TAREA          |                  | OBSERVACIÓN (seg.)      |      |       |       |       |      | SUMATORIA | TMO    | CALIFICACIÓN % | TN    | SUPLEMENTOS % | Tiempo Estandar (TE) |
| TAREA N°                         | TAREA (ELEMENTO) | 1                       | 2    | 3     | 4     | 5     | 6    |           |        |                |       |               |                      |
| 1                                | DESPUNTE         | 8.6                     | 17.7 | 11.11 | 12.96 | 10.03 | 9.53 | 69.93     | 11.655 | 90             | 10.49 | 12            | 11.74824             |

Tabla 3.11 Tiempo Estándar del Proceso de Embutición Jarro FASE1.

**Proceso: Embutición Jarro FASE 2**

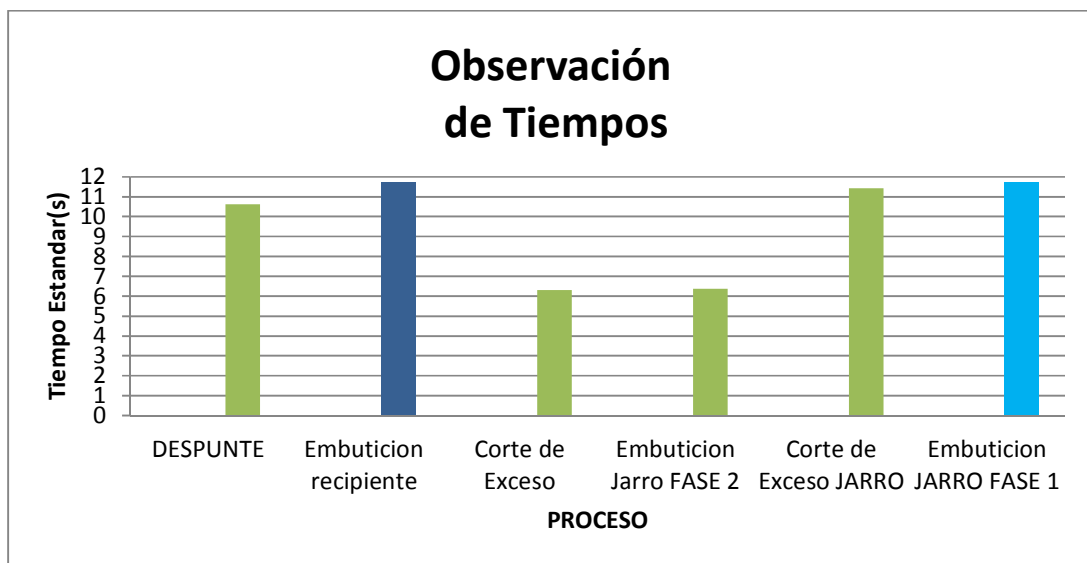
| TABLA DE OBSERVACIONES DE TIEMPO |                  |                         |      |     |      |      |      |           |        |                |       |               |                      |
|----------------------------------|------------------|-------------------------|------|-----|------|------|------|-----------|--------|----------------|-------|---------------|----------------------|
| Descripción de la operación      |                  | Embutición Jarro FASE 2 |      |     |      |      |      |           |        |                |       |               |                      |
| DESCRIPCIÓN DE LA TAREA          |                  | OBSERVACIÓN (seg.)      |      |     |      |      |      | SUMATORIA | TMO    | CALIFICACIÓN % | TN    | SUPLEMENTOS % | Tiempo Estandar (TE) |
| TAREA N°                         | TAREA (ELEMENTO) | 1                       | 2    | 3   | 4    | 5    | 6    |           |        |                |       |               |                      |
| 1                                | DESPUNTE         | 7.51                    | 4.01 | 6.4 | 8.19 | 5.12 | 6.73 | 37.96     | 6.3267 | 90             | 5.694 | 12            | 6.37728              |

Tabla 3.12 Tiempo Estándar del Proceso de Embutición Jarro FASE2

**Proceso: Corte de Exceso JARRO**

| TABLA DE OBSERVACIONES DE TIEMPO |                  |                       |       |      |       |      |       |           |      |                |      |               |                      |
|----------------------------------|------------------|-----------------------|-------|------|-------|------|-------|-----------|------|----------------|------|---------------|----------------------|
| Descripción de la operación      |                  | Corte de Exceso JARRO |       |      |       |      |       |           |      |                |      |               |                      |
| DESCRIPCIÓN DE LA TAREA          |                  | OBSERVACIÓN (seg.)    |       |      |       |      |       | SUMATORIA | TMO  | CALIFICACIÓN % | TN   | SUPLEMENTOS % | Tiempo Estándar (TE) |
| TAREA N°                         | TAREA (ELEMENTO) | 1                     | 2     | 3    | 4     | 5    | 6     |           |      |                |      |               |                      |
| 1                                | DESPUNTE         | 11.39                 | 10.89 | 11.2 | 11.22 | 12.4 | 10.93 | 68        | 11.3 | 90             | 10.2 | 12            | 11.42904             |

**Tabla 3.13 Tiempo Estándar del Proceso de Corte de Exceso de JARRO.**



**Figura 3.6 Observación de Tiempos**

Como se puede observar en la gráfica los procesos de embutición siguen siendo los principales protagonistas y a los cuales se les deberá dedicar mayor atención.

**DESCRIPCIÓN DE LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN**

La función de una empresa es la producción, por ello es vital que este cargo se administre de la mejor manera con el fin de alcanzar la superioridad competitiva.

La función operativa o de producción tiene como esencia los procedimientos físicos o de manufactura que hay que realizar para transformar las materias primas en productos, por lo tanto la administración de la producción propende por la utilización más económica de unos medios (locaciones, maquinaria o recursos de cualquier tipo) por personas (operarios, empleados) con el fin de convertir los materiales.

$$Productividad = \frac{Producción/Día}{Recurso Humano} \quad (3.4)$$

$$Recurso Humano = Mano de Obra directa + Mano de Obra Indirecta \quad (3.5)$$

Se ha investigado que en la última producción se fabricó un promedio de 5000 vajillas, y el tiempo requerido para producirlo fue de 3 meses y medio, es decir 70 días.

Además la sección que es la encargada de producirla tiene a su cargo 6 operarios como mano de obra directa, y 3 como mano de obra indirecta que son necesariamente contratados para suplir funciones secundarias como desplazamiento de material y ensamble de la vajilla.

Si utilizamos estos datos y los remplazamos con las formulas (3.1) y (3.2) obtenemos el valor numérico quedando expresado matemáticamente de la siguiente manera.

$$Producción/día = 5000/70 = 71.42$$

$$Recurso Humano = 6 + 3 = 9$$

$$Productividad = \frac{71.42}{9}$$

$$Productividad = 7.93 \text{ Vajillas/Día}$$

## HOJA DE TRABAJO ESTÁNDAR

Siguiendo con la aplicación de la metodología de trabajo estandarizado, y atendiendo uno de los factores que afectan la producción se propone la siguiente hoja de trabajo estandarizada, la cual representa el Layout del centro de trabajo así como el flujo del material, los puntos de inspección, las áreas de trabajo estándar, inventarios, etc. de esta manera se puede distribuir gráficamente al personal con cada una de sus actividades como se puede visualizar en la figura 3.7.

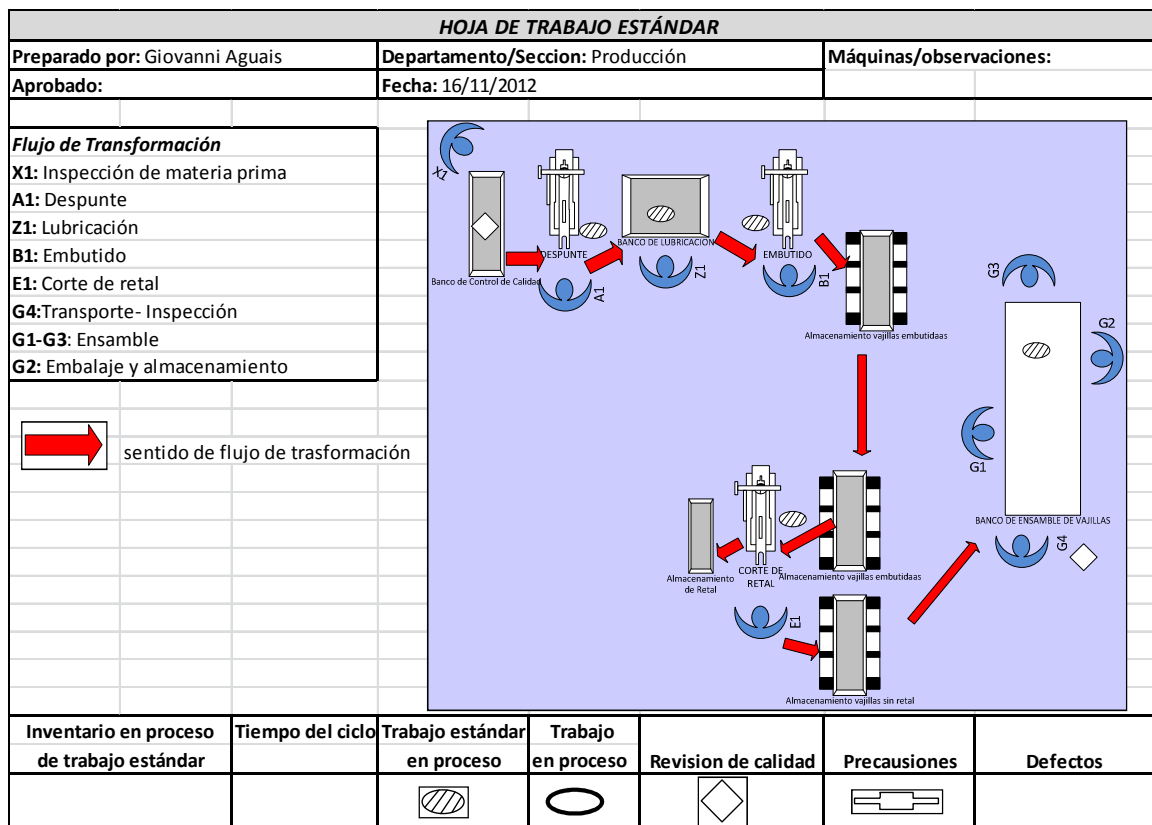


Figura 3.7 Hoja Estándar

Se ha detectado los cuellos de botella y se ha realizado el estudio del método estandarizado en la línea de producción el cual coordinará el sistema de producción que abarca esta tesis.

Además una de las propuestas claves para evitar pérdidas y/o desperdicio de materia prima es el rediseño y fabricación de nuevas matrices que aseguren la óptima producción, la cual se detalla en el siguiente capítulo.

Cada una de estas mejoras son parte del objetivo final de aumentar la producción de la línea, por ende no son excluyentes, sino más bien complementarias. Si una de ellas no se cumple, tampoco el objetivo final.

# CAPÍTULO IV

## REDISEÑO DE LAS MATRICES

### 4.1 TIRA DEL MATERIAL.

#### 4.1.1. CHAPA METÁLICA

Para realizar la bandeja y jarro se trabaja con chapas de Aluminio temple H0 (Ver Anexo F), cortado convenientemente de forma rectangular por el proveedor bajo especificaciones requeridas por el cliente, por lo que el material que se va a utilizar es de 1.5mm de espesor. El proceso para obtener el producto final tiene dos etapas, una en cada matriz:

- Corte: abarca el corte inicial de la chapa y el despunte de la bandeja luego del proceso de embutido rectangular.

- Embutición: recibe la lámina seccionada y entrega el producto terminado.

Es decir, el propósito del diseño del recorte es entregar la pieza lista para ser embutida.

#### 4.1.2. PIEZA RECORTADA

##### 4.1.2.1. Recorte de embutición

Para calcular el recorte necesitamos utilizar los criterios considerados para el diseño de cajas rectangulares con embutido en una sola fase. Los pasos a seguir para el desarrollo del recorte son:

$$a1 = a - 2r \quad (4.1)$$

$$b1 = b - 2r \quad (4.2)$$

a := 165 mm

b := 127 mm

r := 34 mm

$$r1 := 5 \cdot es \quad (4.3)$$

$$d := 68 \text{ mm}$$

$$h := 31 \text{ mm}$$

$$r1 = 7.5 \text{ mm}$$

$$a1 := a - 2r$$

$$a1 = 97 \text{ mm}$$

$$b1 := b - 2r$$

$$b1 = 59 \text{ mm}$$

$$D := 1.414 \cdot \sqrt{d^2 + 2 \cdot d \cdot h} \quad (4.4)$$

$$D = 116.601 \text{ mm}$$

$$a2 = 265.814 \text{ mm}$$

$$a2 := a1 + \pi \cdot r + 2 \cdot h$$

$$(4.5)$$

$$b2 := b1 + \pi \cdot r + 2 \cdot h$$

$$(4.6)$$

$$b2 = 227.814 \text{ mm}$$

$$As := a1 \cdot b1 + 2 \cdot h \cdot (a1 + b1) + \pi \cdot r \cdot (a1 + b1 + 2 \cdot h) + 2 \cdot \pi \cdot r^2 \quad (4.7)$$

$$As = 3.806 \times 10^4 \text{ mm}$$

$$Ar := a2 \cdot b2$$

$$(4.8)$$

$$Ar = 4.665 \times 10^4 \text{ mm}$$

$$A = A_r - A_s \quad (4.9)$$

$$A = 8.588 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

$$uv := \sqrt{A} \quad (4.10)$$

$$uv = 92.671 \text{ mm}$$

$$s := 0.707 \cdot uv \quad (4.11)$$

$$s = 65.519 \text{ mm}$$

$$t := \frac{D}{32} \quad (4.12)$$

$$t = 3.644 \text{ mm}$$

$$R := \frac{b_2 - b_1}{2} \quad (4.13)$$

$$R = 69.407 \text{ mm}$$

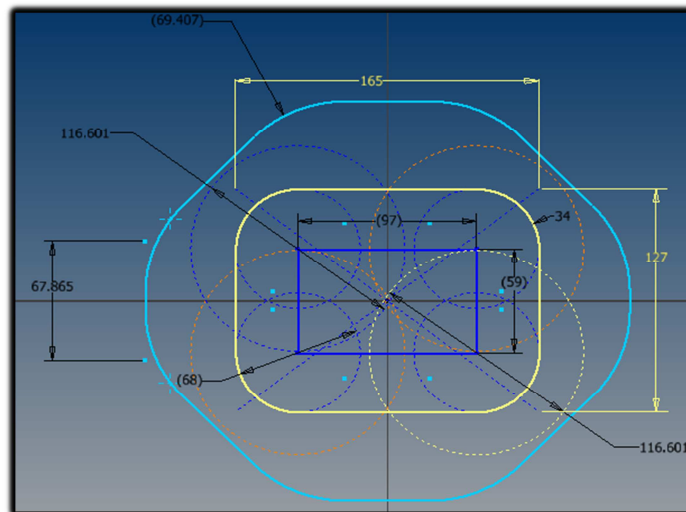


Figura 4.1 Trazado teórico del desarrollo del recorte<sup>45</sup>

<sup>45</sup> (Rossi, Mario, 1979, pág. 84)



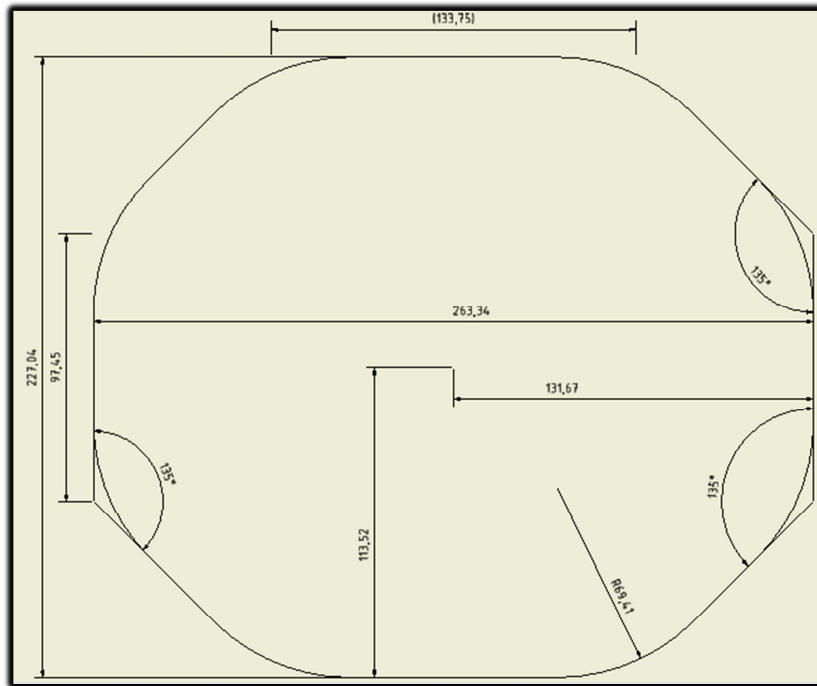


Figura 4.2 Trazado práctico del desarrollo del recorte<sup>46</sup>

## 4.2. CÁLCULO DE FUERZAS PRODUCIDAS PARA EL CORTE DE LA CHAPA

Los cálculos de los esfuerzos de corte sirven para proyectar los elementos del troquel con garantía de funcionamiento.

### 4.2.1 ESFUERZO DE CORTE

La primera fuerza que se necesitará calcular será el esfuerzo de corte necesario para cizallar el material, a continuación se describe su cálculo.

$$F = \sigma_T \cdot l \cdot e \quad (4.14)$$

Dónde:

$l$ = longitud del perímetro de corte en *mm*

<sup>46</sup> (Fundación ASCAMM/Centre Tecnologic, 2009, pág. 46)

$\sigma_T$  = resistencia del material a la cortadura  $\left(\frac{kgf}{mm^2}\right)$

e = espesor de la chapa a cortar en *mm*.

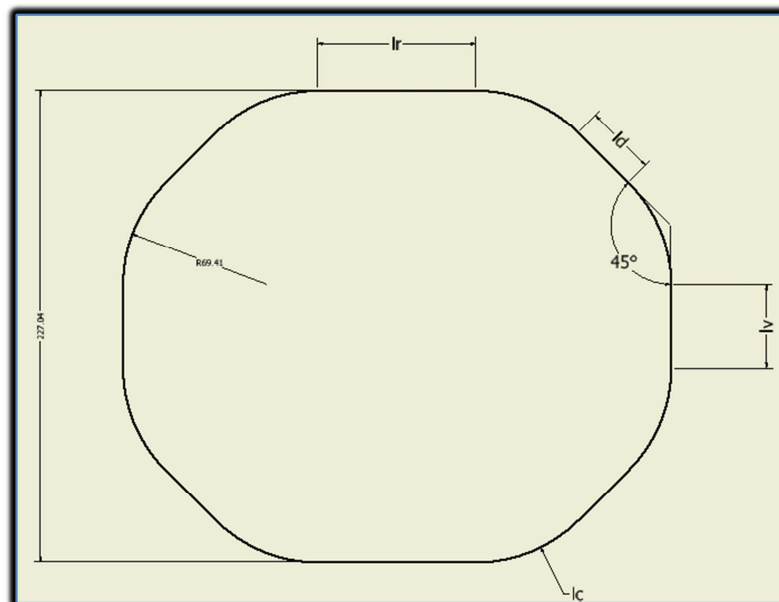


Figura 4.3 Dimensiones para cálculo de perímetro del recorte.

$$rc := 69.407 \quad \text{mm}$$

$$lr := 76.251 \quad \text{mm}$$

$$ld := 34.136 \quad \text{mm}$$

$$lv := 49.95 \quad \text{mm}$$

$$\alpha := 45^\circ$$

$$e = 1.5 \quad \text{mm}$$

$$\sigma_t := 10 \quad \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$lc := \frac{(2 \cdot \pi \cdot rc \cdot \alpha)}{360} \quad (4.15)$$

$$l_c = 54.512 \text{ mm}$$

$$l = (2 \cdot l_r) + (2 \cdot l_v) + (4 \cdot l_d) + (8 \cdot l_c)$$

$$l = 825.043 \text{ mm}$$

$$F = \sigma_t \cdot l \cdot e$$

$$F = 1.238 \times 10^4 \text{ kgf}$$

$$F_{\text{tons}} := \frac{F}{1000}$$

$$F_{\text{tons}} = 12.376 \text{ tons}$$

#### 4.2.2 FUERZA DE EXTRACCIÓN Y EXPULSIÓN

Para el diseño del corte se ha estimado el material sobrante con las dimensiones mínimas normalizadas, es así que la formula a utilizarse es:

$$F_{EX} = 2\% \cdot F \quad (4.16)$$

$$F_{ex} = 247.513 \text{ kgf}$$

$$F_{\text{extons}} := \frac{F_{ex}}{1000}$$

$$F_{\text{extons}} = 0.248 \text{ tons}$$

Hay que destacar que el cálculo de estos esfuerzos solo queda justificado, cuando, para realizar estas fuerzas se emplean resortes, bloques de caucho o goma.<sup>47</sup>

---

<sup>47</sup> (Matrices y Moldes, 2006)

$$F_{exp.} = 1,5\% \cdot F \quad (4.17)$$

$$F_{expl} = 185.635 \quad \text{kgf}$$

$$F_{expltons} := \frac{F_{expl}}{1000}$$

$$F_{expltons} = 0.186 \quad \text{tons}$$

| ESFUERZO          | Valor(TONS) |
|-------------------|-------------|
| <b>CORTE</b>      | 12.376      |
| <b>EXTRACCIÓN</b> | 0.248       |
| <b>EXPULSIÓN</b>  | 0.186       |
| <b>TOTAL</b>      | 12.81       |

**TABLA 4.1 Resumen de Esfuerzos**

Como se puede observar se necesita 12.81 ton., para realizar todo el proceso de recorte, por lo tanto no existe ningún problema ya que se dispone de una prensa de 35 ton.

## 4.3. MATRIZ DE CORTE

### 4.3.1. PLACA MATRIZ

Para el diseño de la placa matriz se han tomado en cuenta factores tanto constructivos como funcionales; entre los principales podemos mencionar la forma del contorno que posee el recorte que deseamos obtener, sus dimensiones, costos de fabricación y finalmente el tipo de matriz.

En nuestro caso se ha elegido una placa matriz partida, ya que el perfil de la pieza es algo complicado y esto ayudará a ahorrar material y facilitar el mecanizado, mantenimiento y/o sustitución de alguna de sus partes; además así se puede abaratar costos.

## **-ESPESOR**

Ya que nuestra placa se encuentra totalmente apoyada sobre una base se ha empleado la siguiente fórmula que calcula de forma práctica el espesor en función de la fuerza de corte.

$$a = 0,6 * \sqrt[3]{F} \quad (4.18)$$

Dónde:

a= espesor de la placa matriz.

F= fuerza de corte, en kgf/mm<sup>2</sup>

$$a = 13.878 \text{ mm}$$

Por lo tanto el espesor recomendado es de 14 mm, sin embargo al ser el aluminio un metal dúctil podemos dejarlo de ½” de espesor, el cual está disponible en nuestro mercado.

## **-VIDA ÚTIL**

Se utiliza la fórmula 4.19.

$$V = 3. e \quad (4.19)$$

Dónde:

e= espesor de la chapa a cortar.

Obteniendo:

$$V= 4.5 \text{ mm}$$

En lo que respecta a la medida de la “vida” se recomienda dar una medida de 4mm a la parte perpendicular, mientras el resto se da una pequeña conicidad de 2°.

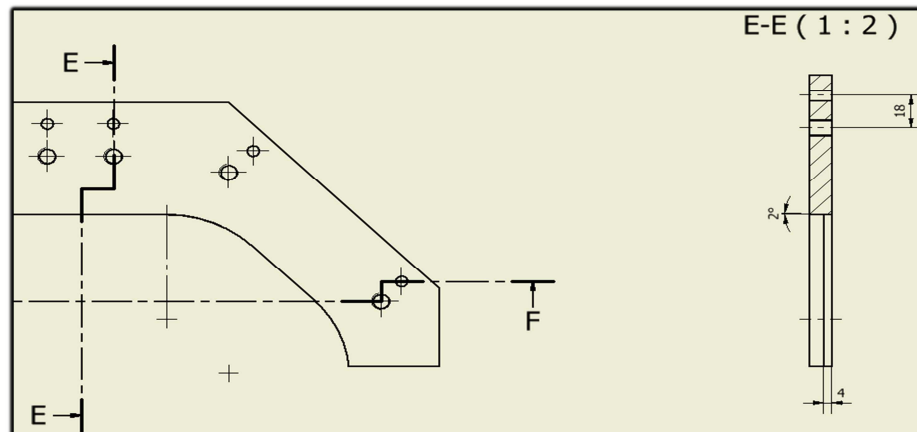


Figura 4.4 Dimensiones de vida de la placa matriz.

## - JUEGO

Para un buen funcionamiento y conservación de la matriz ha de existir un juego conveniente entre el punzón y la placa matriz, este depende directamente del espesor y dureza del material a cortar.

Es así que para cortar aluminio y aleaciones ligeras se recomienda usar la siguiente fórmula:

$$j = \frac{3+0,5 \cdot e^2}{100} \quad (4.20)$$

Dónde:

j= juego entre punzón y matriz.

e= espesor de la chapa.

$$j = 0.041 \text{ mm}$$

Así que para un espesor de chapa de 1,5 mm de Aluminio temple H0, se puede usar un juego de 0,04 mm por facilidades de construcción.

## **-MATERIAL**

Debido a los esfuerzos y trabajo que va a realizar, el material usado para su construcción debe ser de gran calidad.

Para trabajos en frío los proveedores nacionales como Böhler, recomiendan un acero K-100 (AISI D3), el cual siendo sometido a un proceso de temple adquiere una dureza entre 63 a 65 Rockwell C.

## **-FORMA Y DIMENSIONES**

Teniendo en cuenta que el tipo de placa matriz es partida, nos interesa construirla en tres partes, los cuales una vez ensamblados formaran el contorno de la figura a obtener.

Anteriormente ya se explicó su espesor, así que para ser prácticos se ha utilizado la siguiente tabla 4.2<sup>48</sup> donde se especifica las consideraciones tomadas para dimensionar las tres partes de la sección a partir de la figura de la pieza a obtener

| Espesor Placa matriz |      | Distancia mínima contorno – borde |                             |                             |
|----------------------|------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                      |      | Contorno sin ángulos              | Contorno con ángulos rectos | Contorno con ángulos agudos |
| In                   | mm   | Mm                                | Mm                          | Mm                          |
| 15/16                | 23.8 | 26.8                              | 35.7                        | 47.6                        |
| 1 1/8                | 28.6 | 32.2                              | 42.9                        | 57.2                        |
| 1 3/8                | 35   | 39.4                              | 52.5                        | 70                          |
| 1 5/8                | 41.3 | 46.5                              | 63                          | 82.6                        |
| 1 7/8                | 47.6 | 53.6                              | 71.4                        | 95.2                        |

**TABLA 4.2** Distancia mínima de las perforaciones al borde en función del espesor de la placa matriz y del tipo de contorno

Nuestro espesor entra dentro del primer rango así que se utilizará dichas direcciones para fabricarla, además J. Blanco sugiere que las medidas de longitud y anchura varían y van en función de las magnitudes y separaciones de la pieza

<sup>48</sup> (DE KONINCK, J.; GUTTER, D., 1968, pág. 145)

que se desee obtener y la figura entallada, así como los espacios libres previstos para la posición y anclaje de útiles como pasadores y pernos de sujeción.

Es así como finalmente en la Figura 4.5 se puede observar las dimensiones de la placa matriz.

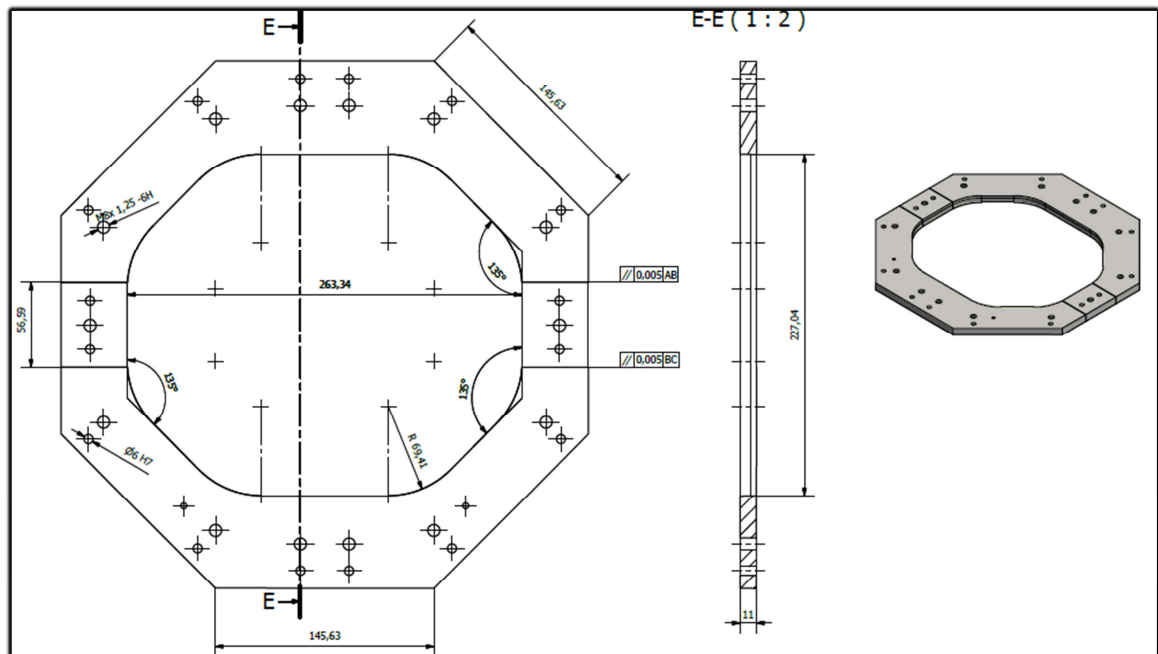


Figura 4.5 Forma y Dimensiones de la placa matriz.

#### 4.3.2. BASE

La necesidad de la base se justifica ya que la placa matriz es templada y está sometida a grandes esfuerzos, hay que tener muy en cuenta que si se la fabrica relativamente delgada y se apoya directamente sobre la prensa, existe riesgo de rotura, y si se la hace muy robusta da lugar a un excesivo empleo de acero y dinero.

Es por eso que en lo que respecta a la medida del espesor algunos técnicos matriceros como J. Blanco; recomiendan que para medianas producciones la robustez de la placa base inferior no debe ser menor a 40 mm, para nuestra tesis se ha optado por usar una plancha de 45mm, la cual luego de mecanizarla quedara de 43mm, como se muestra en la figura 4.4.



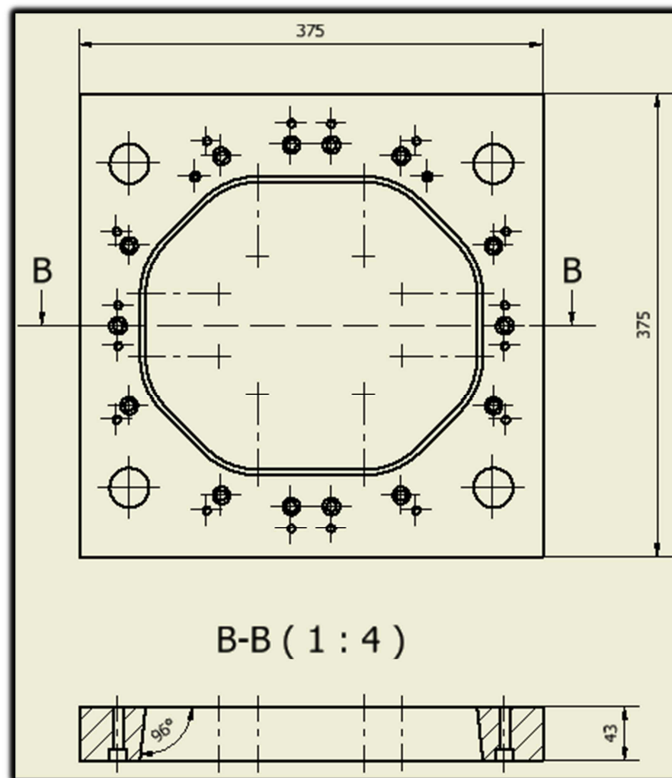


Figura 4.6 Dimensiones de la placa de base inferior.

### -DESFOGUE

Para evacuar fácilmente la chapa cortada se ha dado un ángulo de salida de  $6^\circ$ , lo cual evita cualquier riesgo de embotamiento.<sup>49</sup>

### -MATERIAL

Para la función que debe cumplir nuestra placa base se necesitara un acero suave al carbono, en el mercado local se puede contar con el ASTM-A36, el cual es un material que cumple con las características requeridas.

### -FORMA Y DIMENSIONES

Depende directamente de las medidas y dimensiones de la matriz, porque a partir de esta placa, situamos los casquillos del sistema de guiado por columnas ya que estas nos marcaran las medidas límites de estas placas, para ayudar en la

<sup>49</sup> (Curso Básico de Matricería, 2004)

evacuación de las piezas desde la placa matriz hacia la placa inferior se recomienda dar una inclinación interior de aproximadamente  $6^\circ$  como se puede ver en la Figura 4.6.



Figura 4.7 Ángulo de evacuación.

### 4.3.3. PUNZÓN

Básicamente el punzón está constituido por dos elementos; el porta punzón y la cuchilla que realizará el corte como se puede apreciar en la fig. 4.8.

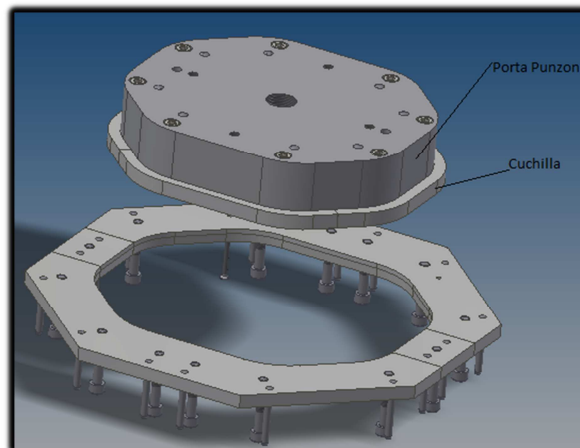


Figura 4.8 Porta punzón y cuchilla del punzón.

La cuchilla se ha construido siguiendo el principio de un punzón segmentado, ya que debemos obtener el perfil de corte que se describió en la primera parte de este capítulo. El punzón consta de dos partes ya que es un punzón partido por facilidades de mecanizado y mantenimiento.

## -MATERIAL

Al ser uno de los elementos que van a resistir grandes esfuerzos junto con la placa matriz, el punzón debe ser realizado de un acero indeformable al manganeso, de alto contenido en carbono y cromo, pero la característica más importante que debe reunir es la que presente mínimas deformaciones durante el tratamiento térmico.

Es por esta razón, que dentro del mercado local existe un tipo de aleación que cumple con las necesidades requeridas conocido como DF-2 y puede alcanzar durezas de hasta 62 HRC; en el ANEXO A, se detalla las propiedades de este material.

## -FORMA Y DIMENSIONES

Para machos de desempeño medio es recomendable una altura de 60 mm, sin embargo por costos y dificultad de maquinado se va a diseñar un punzón rebordeado, es decir se maquinara una cuchilla partida con la forma del recorte de espesor 12mm y de material DF-2; a continuación se la sujetara a la placa porta punzón utilizando 8 pernos M8\*1,25, y 8 pasadores de diámetro 8mm, como se puede apreciar en la figura Figura 4.9.

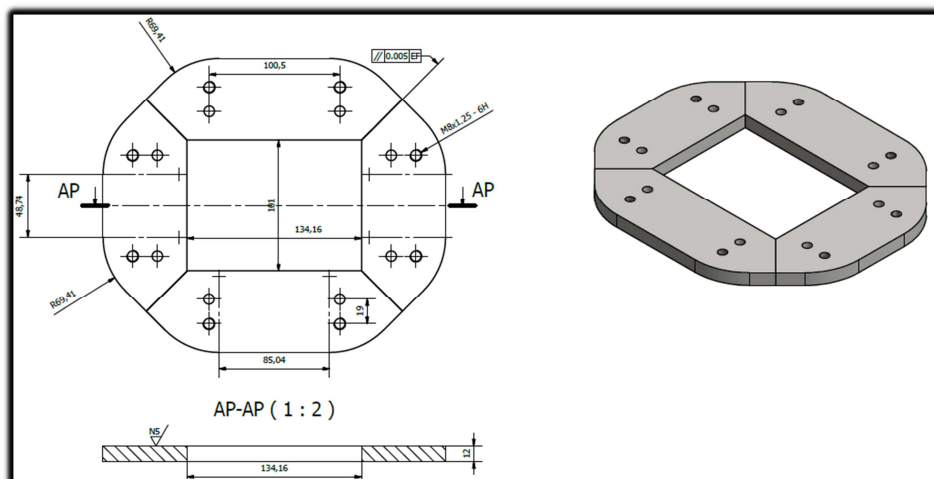


Figura 4.9 Cuchilla del punzón.

Como se dijo anteriormente la chuchilla será partida y formada por 4 partes las mismas que al ser ensambladas darán como resultado la forma de la pieza que se desea obtener, en la Figura 4.10 y Figura 4.11 se puede apreciar las partes que conforman el rebordeado.

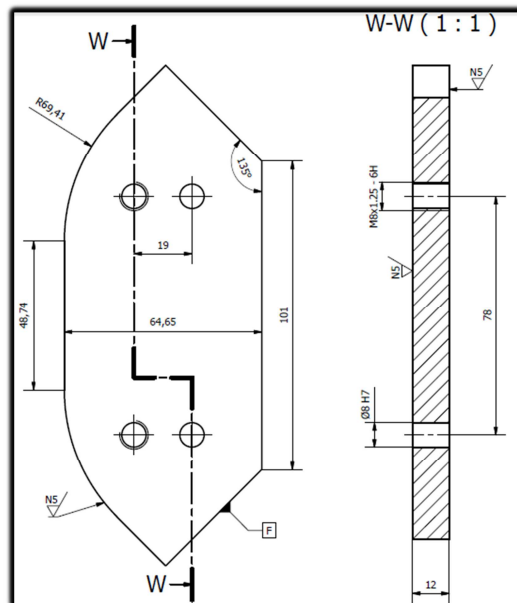


Figura 4.10 Sección 1 de la cuchilla del punzón.

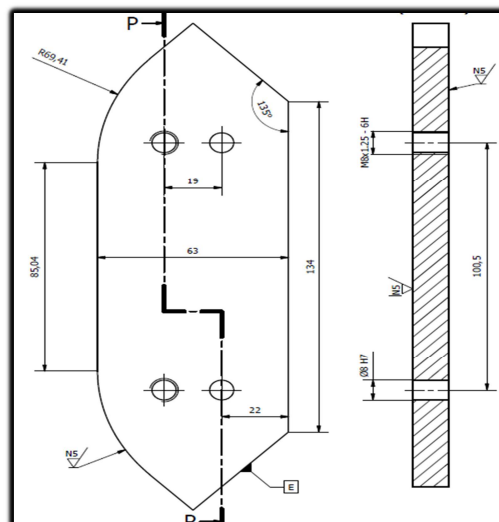


Figura 4.11 Sección 2 de la cuchilla del punzón.

## -RESISTENCIA AL PANDEO

Por el esfuerzo que realizan al trabajar el punzón está sometido a un esfuerzo de pandeo, la longitud máxima que puede tener este útil se calcula de la siguiente manera.

Partiendo de la fórmula de la resistencia la pandeo:

$$Fp = \frac{\pi^2 * E * I}{L^2} \quad (4.21)^{50}$$

Dónde:

E= módulo de elasticidad. Para el acero de herramientas templado debe tomarse como máximo 21500 kgf/mm<sup>2</sup>.

I= momento de inercia en mm<sup>4</sup>, que varía según la sección del punzón.

L= longitud del punzón en mm.

$$L = \sqrt{\frac{\pi^2 * E * I}{Fp}} \quad (4.22)^{51}$$

Para nuestros cálculos diremos que la fuerza de pandeo es igual a la fuerza de corte.

Y para el cálculo de la inercia dividiremos a la figura en varias formas básicas para facilitar el cálculo de esta se detalla en la tabla 4.3.

---

<sup>50</sup> (Valenciano, Antonio, 1968, pág. 62)

<sup>51</sup> (Valenciano, Antonio, 1968, pág. 62)

| Sección                  | cantidad | a      | b       | h      | Momento de Inercia           | Resultado                       | Total (mm <sup>4</sup> ) |
|--------------------------|----------|--------|---------|--------|------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| rectángulo 1             | 1        | 133.75 | 227.041 |        | $I = \frac{b \cdot a^3}{12}$ | 45269366.5                      | 45269366.5               |
| rectángulo 2             | 2        | 64.795 | 97.45   |        | $I = \frac{b \cdot a^3}{12}$ | 2209149.363                     | 4418298.726              |
| rectángulo 3             | 1        | 101    | 134.16  |        | $I = \frac{b \cdot a^3}{12}$ | 11518765.18                     | 11518765.18              |
| triángulo                | 4        | 64.795 |         | 64.795 | $I = \frac{a \cdot h^3}{36}$ | 489624.8777                     | 1958499.511              |
| Superficie Subparabólica | 8        | 28.749 | 28.749  |        | $I = \frac{a^3 \cdot b}{3}$  | 227703.5056                     | 1821628.044              |
|                          |          |        |         |        |                              | <b>Momento de Inercia total</b> | 38305771.51              |

TABLA 4.3 Cálculo de inercia total

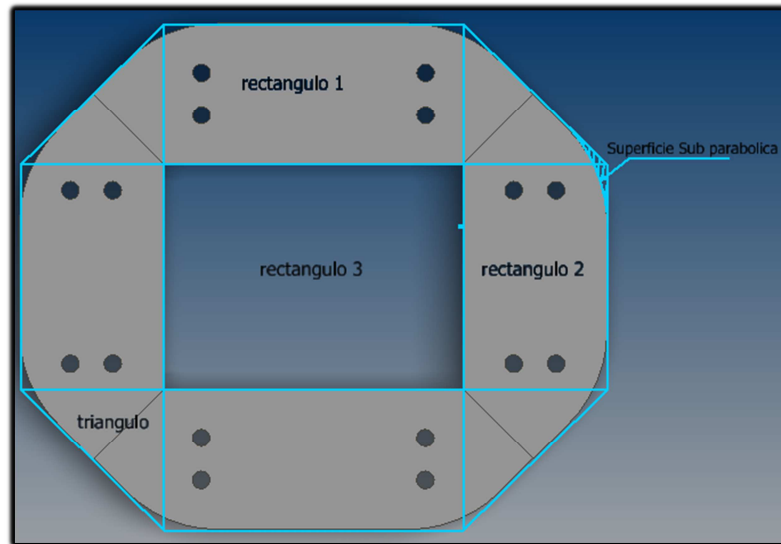


Figura 4.12 Esquema para cálculo de la inercia.

$$I := 38305771.51 \text{ mm}^4$$

$$F = 1.238 \times 10^4 \text{ kgf}$$

$$E := 21.000 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$L = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{F}}$$

$$L = 800.954 \text{ mm}$$

La longitud máxima del punzón sería  $L = 800$  mm, pero por cuestiones constructivas y económicas solo se la hará de hasta 60 mm como anteriormente se explicó

#### **4.3.4. PLACA PORTA PUNZÓN**

La función de esta placa es de portadora y sujetadora del punzón, pues tiene que contenerlos de una manera exacta para que cuando el sistema de guiado por columnas baje no haya imprecisión del macho con respecto al agujero de la placa matriz.

##### **-MATERIAL**

La función de la esta placa en nuestro diseño no requiere de aceros de alta resistencia, el material empleado para su construcción es un acero suave al carbono de construcción, de fácil soldabilidad; tampoco se necesita algún tipo de tratamiento térmico.

Por lo que se ha elegido usar un acero comercialmente común en nuestro mercado como es el AISI-1018 que cumple adecuadamente con las características técnicas y funcionales. Sus propiedades se las puede revisar en el ANEXO A.

##### **-FORMA Y DIMENSIONES**

Como anteriormente se explicó que la cuchilla y el porta punzón forman en conjunto el cuerpo del macho, las medidas que se ha dispuesto son las necesarias para comprender perfectamente los alojamientos que sostendrán en nuestro caso a la cuchilla, se cubre además por cada lado una sobredimensión de 14 mm con el único fin de dar solidez a las paredes donde se alojaran los útiles fijadores.

Dicha placa tendrá un espesor de 40.5 mm y por cuestiones de funcionalidad se seguirá la forma básica de la cuchilla obviamente reducida sus dimensiones; como se puede ver en la figura 4.13.

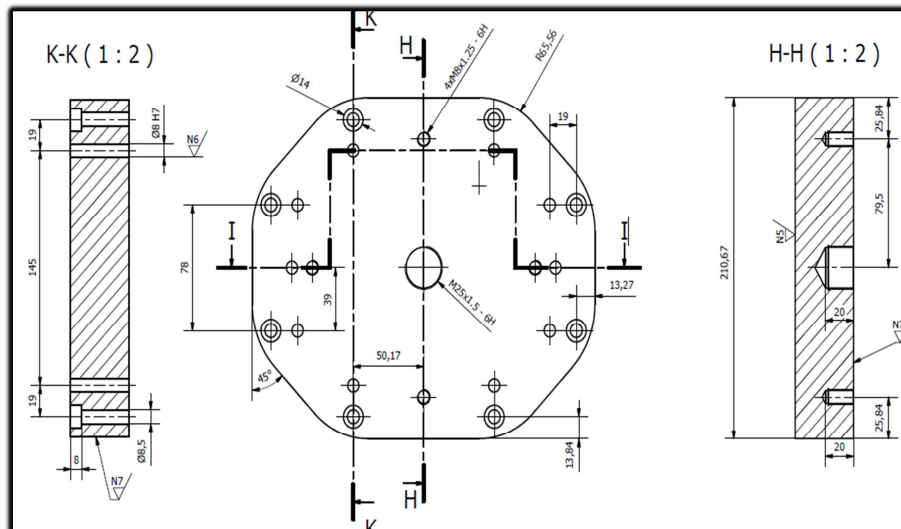


Figura 4.13 Placa porta punzón.

## -FIJACIÓN

La fijación de esta placa se ha de realizar de forma simultánea con la cuchilla y la base superior mediante pernos y pasadores para conseguir bloqueo ante posibles fuerzas transversales al punzón evitando dislocación de uno y otro elemento.

De la siguiente manera:

- ❖ 4 pernos M8\*1,25 y 2 pasadores  $\Phi$  8\* 45; los cuales servirán de unión entre el porta punzón y la base superior.
- ❖ 8 pernos M8\*1,25 y 8 pasadores  $\Phi$  8\* 55; los cuales sostendrán la cuchilla al robusto cuerpo del porta punzón.

### 4.3.5. PLACA PISADOR

Esta placa realiza la función de sujetar la chapa durante el proceso de corte, evitando que adquiera malformaciones producidas por las tensiones internas merced de la rigidez de la operación.

Dicho sistema es del tipo mecánico a base de resortes.





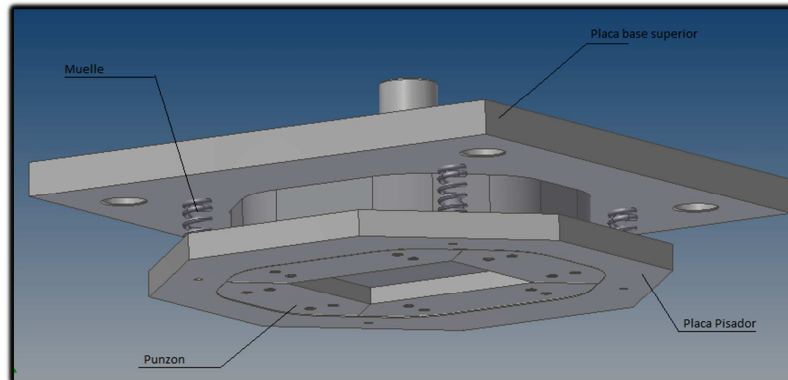


Figura 4.15 Sujeción y Montaje.

#### 4.3.6. CASQUILLOS

Los bujes o casquillos guía, se acoplan a las columnas para alinear la placa superior base, porta punzón y punzón con la placa inferior base y placa matriz. La mayoría son fabricados de acero de herramientas aunque también se los hace de bronce por tener un bajo coeficiente de rozamiento. Existen varios tipos de casquillo entre los cuales dos son los más comunes; los sencillos y con resalto, estos últimos encomendados para operaciones de corte. La longitud de los bujes dependerá de la precisión requerida por la matriz, teniendo en cuenta que mientras más largo sea el casquillo más preciso será el corte.

##### - SELECCIÓN

Teniendo en consideración que vamos a trabajar con una matriz de corte en aluminio de 1,5 mm de espesor y que el juego que manejamos para esta operación es de 0,04mm se optó por bujes con resalto de buena longitud.

##### - ENSAMBLAJE

Los casquillos son ajustados con contracción en agujeros taladrados en la placa base inferior y superior. Esto significa someterlos a un proceso de profundo enfriamiento reduciendo sus diámetros e insertarlos en los agujeros de ambas bases respectivamente, calentándolos hasta la temperatura ambiente para obtener un ajuste forzado entre los componentes.

El ajuste entre el diámetro externo de los bujes y el agujero de alojamiento de ambas placas será de H6-k7, el cual asegurara la inmovilización de estos con respecto a sus alojamientos.

#### - MATERIAL

El material seleccionado para fabricar los casquillos fijos es un acero duro AISI-1045 sometido a un proceso de templeado para alcanzar una dureza de 50 a 55 HRC, mientras que para los bujes móviles ubicados en la placa base superior se selecciona un acero de bajo carbono que pueda deslizarse con facilidad sin oponer un mayor coeficiente de rozamiento y que sea resistente a las deformaciones causadas por el desgaste, para este objetivo el acero AISI-1018 cubre las necesidades y cumple con las características requeridas.

#### -DIMENSIONES

Ambos tipos de casquillo poseen un  $\Phi 21$  mm interno para la columna, se distinguen es su tipo de ajuste pues para el buje móvil se lo ha realizado con ajuste deslizante H7, un  $\Phi 40.5$  mm de resalto y una longitud de 61mm Figura 4.16; y para el casquillo fijo un ajuste forzado N7 en la placa base inferior, un  $\Phi 32k7$ mm de resalto y una longitud de 35mm Figura 4.17.

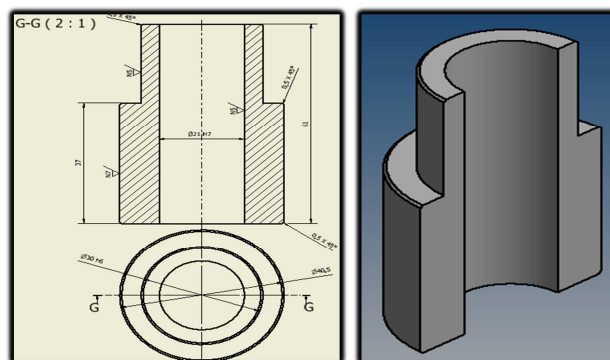


Figura 4.16 Buje móvil.

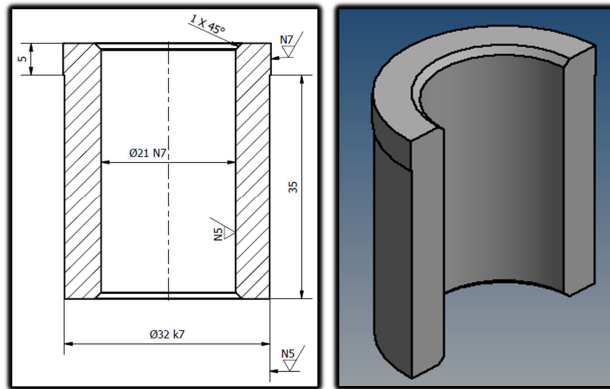


Figura 4.17 Buje fijo.

### 4.3.7. COLUMNAS

La parte superior o móvil del conjunto ha de ser guiada hacia la parte inferior o fija por medio del sistema de guiado por columnas, las cuales se introducen en los casquillos para alinear los componentes del punzón y la matriz con un alto grado de precisión. El grado de precisión requerido por la matriz y la facilidad de montaje/desmontaje son los parámetros que seleccionan el diseño y disposición de las columnas.

#### - SELECCIÓN

Conociendo que vamos a trabajar con una matriz de corte para material delgado se seleccionó un sistema de guiado con columnas por rozamiento/deslizamiento, las cuales serán rectificadas después del temple.

#### - MONTAJE

Las columnas son montadas dentro de los respectivos bujes fijos y móviles con ajuste de contracción. Esto significa someterlas a un proceso de profundo enfriamiento reduciendo sus diámetros y luego calentándolos hasta la temperatura ambiente. El grado de ajuste de ambos es forzado duro con unas características de montaje y desmontaje próximas a la utilización de prensa o maza dura. Figura 4.18.

La situación de las columnas en el útil no ha de ser arbitraria, hemos de tener en cuenta que nos permitan conseguir el mejor rendimiento del troquel y la mayor seguridad del operario. Es por este motivo que se ha situado 4 columnas en cada una de las esquinas de las placas base. Ofreciendo el mejor centraje posible; recomendada para todo tipo de matrices. Figura 4.19.

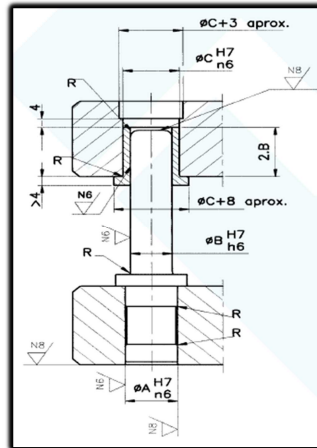


Figura 4.18 Grado de Ajuste del sistema guía por columnas.

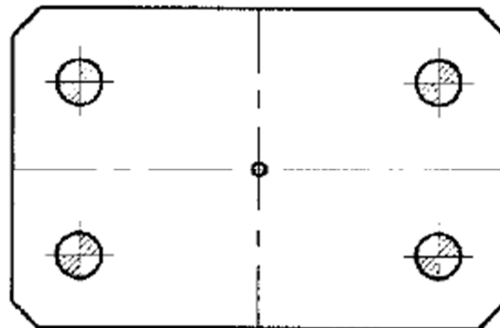


Figura 4.19 Disposición del sistema de guiado.

## - MATERIAL

El material seleccionado para fabricar las columnas es un acero de herramientas DF2 sometido a un proceso de templado para alcanzar una dureza de 50 a 55 HRC

## - DIMENSIONES

Posee un  $\Phi 21$  mm con ajuste deslizante h6 en su extremo superior, y en su extremo inferior un ajuste forzado n6 que ira ubicada en el casquillo dijo finalmente una longitud total de 248mm.

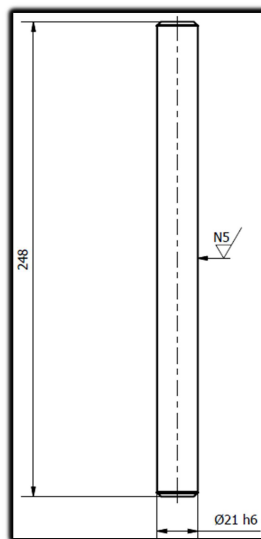
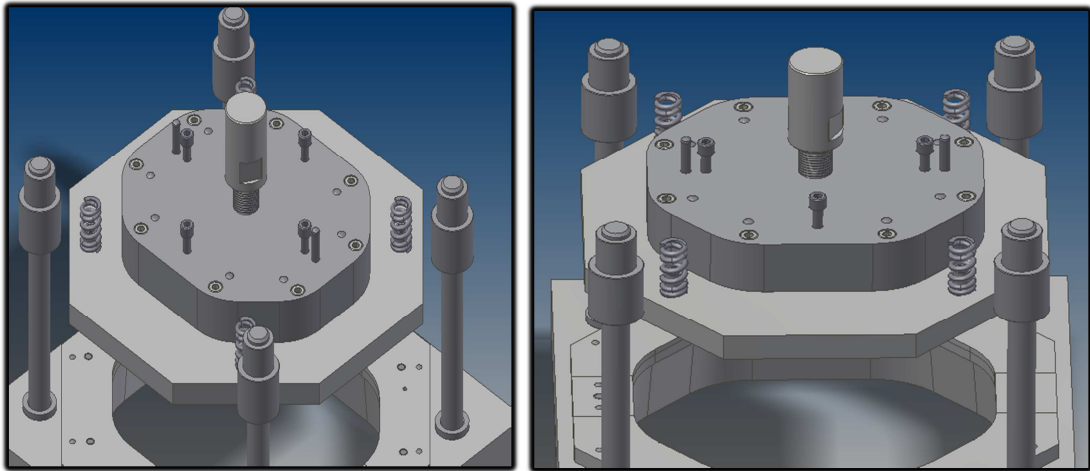


Figura 4.20 Dimensiones de la columna.

### 4.3.8. MUELLES

Se colocarán 4 muelles entre la placa base superior y la placa pisador con la finalidad de facilitar la extracción del punzón y el apriete de la chapa.

Estos muelles se colocarán de forma simétrica para distribuir uniformemente el esfuerzo que tengan que soportar.



**Figura 4.21 Posición de los muelles sobre la placa pisador.**

El esfuerzo que tienen que soportar los muelles es la fuerza de extracción del punzón, que es de  $F_{ex}=247.513 \text{ kgf}$  ( $2427.28 \text{ N}$ ).

Este esfuerzo se tendrá que repartir entre los 4 muelles, por lo tanto, cada muelle tendrá que soportar:

$$F_{muelle} = 606,82 \text{ N}$$

Los muelles tienen que tener una precarga superior al 5% de su longitud para evitar las circunstancias que pudieran adelantar considerablemente la rotura del muelle. Se necesitan unos muelles de 44mm de longitud, por lo que se considerará una precarga de 3mm.

La distancia que recorrerá la placa portapunzones respecto de la placa pisador será de 8mm, por lo que los muelles se comprimirán esa distancia más la precarga. La compresión de cada muelle será de 11mm.

Para encontrar el muelle adecuado habrá que encontrar la constante  $k$  del muelle necesaria y habrá que asegurarse que la compresión del muelle no supere la deflexión máxima establecida.

Para encontrar la constante  $k$  necesaria se utilizará la siguiente ecuación:

$$F_{muelle} = k * \Delta x \tag{4.23}$$

Dónde:

$F_{muelle}$  = fuerza que tiene que soportar cada muelle (N)

k = constante elástica del muelle

$\Delta x$  = compresión del muelle

Por lo tanto utilizando la ecuación 4.22 se obtiene:

$$k = \frac{606,82}{11}$$

$$k = 55,17 \text{ N/mm}$$

Observando las características necesarias para el muelle se opta por coger 4 muelles de sección rectangular V26x45 color verde y carga ligera de la empresa INMAC/ISA, que tienen las siguientes características:

| $\varnothing$ Externo | $\varnothing$ Interno | constante<br>(k) | sección<br>hilo | longitud | deflexión<br>máxima |
|-----------------------|-----------------------|------------------|-----------------|----------|---------------------|
| 26 mm                 | 12.5 mm               | 61.8N/mm         | 2,7x5,4         | 45mm     | 22                  |

TABLA 4.4 Características de los muelles V26x45<sup>52</sup>

#### 4.3.9. VÁSTAGO

El vástago sirve para fijar la parte móvil del utillaje al cabezal de la prensa. En las matrices grandes la placa base superior puede ir atornillada directamente al cabezal de la prensa; en nuestro caso, la matriz se puede considerar de tamaño medio-pequeño por lo que se acoplará al cabezal de la prensa mediante un vástago.

---

<sup>52</sup> Ver Anexo B, pag.16



El vástago ha de tener un diámetro igual al del correspondiente alojamiento en el cabezal de la prensa y de acuerdo con la potencia de la prensa.

A continuación se muestra una tabla con la recomendación del diámetro del vástago dependiendo de la fuerza de la prensa:

|                                  |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| <b>Fuerza de la prensa (Tn)</b>  | 5  | 8  | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 60 |
| <b>Diámetro del vástago (mm)</b> | 25 | 25 | 30 | 35 | 35 | 40 | 40 | 45 |

TABLA 4.5 Diámetro recomendado para el vástago.<sup>53</sup>

Disponemos de una prensa de 36 toneladas, por lo que se decide escoger un vástago DIN 9859 con diámetro de 40mm y rosca M25.

#### 4.3.10. ELEMENTOS DE UNIÓN

Al momento de diseñar una matriz se debe tener en cuenta la correcta selección y aplicación de los elementos de unión, muchos autores recomiendan que el buen sentido y experiencia del técnico matricero determinara el número y diámetro de elementos de fijación. Y si no son seleccionados y aplicados correctamente pueden ser causa de fractura de piezas templadas o grietas en roscas causando deficiente alineación de agujeros.

Sin embargo se ha tratado de seguir algunas recomendaciones que se encuentran descritas en las siguientes tablas:

#### - SEPARACIÓN ENTRE AGUJEROS

Los agujeros de los pernos recomendablemente pueden estar lo más próximos a los bordes para obtener una posición exacta, y los pasadores puedan estar suficientemente separados.

---

<sup>53</sup> (Curso Básico de Matricería, 2004), Tabla 19.1C.

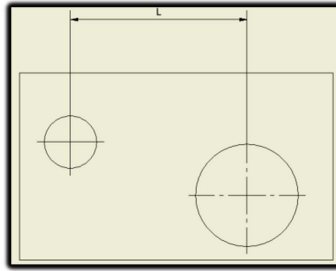


Figura 4.22 Separación entre agujeros.

| MATERIAL |                   |                       |
|----------|-------------------|-----------------------|
|          | ACERO DE MÁQUINAS | ACERO DE HERRAMIENTAS |
| L        | D                 | 1 1/8 D               |

TABLA 4.6 Separación mínima de agujeros de acuerdo al material.<sup>54</sup>

**- SEPARACIÓN ENTRE AGUJEROS Y BORDES DE LA PIEZA**

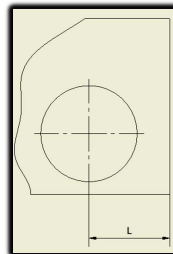


Figura 4.23 Ubicación de agujero con respecto al borde.

| MATERIAL |                   |                       |
|----------|-------------------|-----------------------|
|          | ACERO DE MÁQUINAS | ACERO DE HERRAMIENTAS |
| L        | 1 1/8 D           | 1 1/4 D               |

TABLA 4.7 Separación mínima de agujero-borde de acuerdo al material.<sup>55</sup>

<sup>54</sup> (DE KONINCK, J.; GUTTER, D., 1968, pág. 179)

<sup>55</sup> (DE KONINCK, J.; GUTTER, D., 1968, pág. 177)

## -LONGITUD DE ROSCADO

Es recomendable que se siga la siguiente tabla ya que si la distancia de roscado es muy corta es probable que los filetes se rompan en el agujero roscado.

| MATERIAL  | LONGITUD |
|-----------|----------|
| Acero     | 1 1/2 D  |
| Fundición | 2 D      |
| Magnesio  | 2 1/4 D  |
| Aluminio  | 2 1/2 D  |
| Plástico  | 3D & mas |

TABLA 4.8 Longitud mínima de roscado dependiendo del material.<sup>56</sup>

## - RESISTENCIA DE SEGURIDAD DE PERNOS

En la siguiente tabla se encuentran las resistencias efectivas de los tornillos en base a una resistencia a la rotura de 180000 lb/in<sup>2</sup>, ya que nos interesa saber su resistencia luego de ser apretados.

| Tamaño del Tornillo | CARGA |       |
|---------------------|-------|-------|
|                     | MIN   | MAX   |
| 4                   | 540   | 585   |
| 6                   | 810   | 910   |
| 8                   | 1250  | 1315  |
| 10                  | 1565  | 1790  |
| ¼                   | 2850  | 3260  |
| 5/16                | 4620  | 5200  |
| 3/8                 | 6950  | 7900  |
| ½                   | 12400 | 14000 |

TABLA 4.9 Cargas máximas de pernos allen en función a su diámetro.<sup>57</sup>

<sup>56</sup> (DE KONINCK, J.; GUTTER, D., 1968, pág. 181)

<sup>57</sup> (DE KONINCK, J.; GUTTER, D., 1968, pág. 187)

## - RESISTENCIA A LA CIZALLADURA DE LOS PASADORES

En la siguiente tabla se tiene las cargas de seguridad de pasadores trabajando bajo cortadura simple, en el caso de haber doble cortadura los valores se duplican.

| $\Phi$<br>Clavija | Carga Admisible<br>(lb) |
|-------------------|-------------------------|
| 1/8               | 164                     |
| 3/16              | 368                     |
| 1/4               | 655                     |
| 5/16              | 1022                    |
| 3/8               | 1473                    |
| 7/16              | 2004                    |
| 1/2               | 2618                    |

TABLA 4.10 Cargas admisible del pasador en función a su diámetro.<sup>58</sup>

## - SELECCIÓN

Los pernos seleccionados son los que hallamos en el mercado local, es decir se utilizaran pernos allen M8 y M6 de distintas longitudes, y pasadores de diámetro 6 y 8 mm; los cuales se ajustan correctamente a nuestras necesidades y cumplen con su función de fijar y asegurar los distintos elementos de la matriz sin problema.

## 4.4. MATRIZ DE EMBUTICIÓN

### 4.4.1. MATRIZ

El diseño de la matriz se ha considerado a partir de factores como las dimensiones de la pieza, la profundidad del embutido, su espesor, y el tipo de matriz que se va a utilizar. Como la forma de la matriz no presenta mayor dificultad al momento de mecanizarla ni mucho menos en su mantenimiento, la placa matriz se hará entera y de un solo bloque.

---

<sup>58</sup> (DE KONINCK, J.; GUTTER, D., 1968, pág. 188)

## - RADIO DE MATRIZ

Este parámetro es muy importante ya que si se lo dimensiona muy pequeño se produciría una rotura en vez de un doblez. Por otra parte si se lo realiza muy grande se producirán ondulaciones y arrugas en el disco del material a embutir ya que la acción que ejerce el sujeta chapas será nula.

Uno de los métodos prácticos para determinar el radio  $R$  es por medio del espesor del material  $e$ ; donde:

| Espesor del material         | Radio de matriz              |
|------------------------------|------------------------------|
| $e < 1\text{mm}$             | $R = 6 \text{ a } 8 \cdot e$ |
| $>1 \text{ a } < 3\text{mm}$ | $R = 4 \text{ a } 6 \cdot e$ |
| $>3 \text{ a } < 4\text{mm}$ | $R = 2 \text{ a } 4 \cdot e$ |

TABLA 4.11 Determinación del radio de la matriz según el espesor del material.<sup>59</sup>

El espesor de nuestro material es de 1.5 mm así que usaremos:

$$R = 5 \cdot e \quad (4.24)$$

Obteniendo un radio  $R$  de 7.5mm; el cual es razonable para los fines deseados.

## - JUEGO

El huelgo entre el punzón y la matriz determinara el correcto desarrollo de las piezas ya que se rompen debido a que el mismo es demasiado estrecho, mientras que, al mismo tiempo, en otras piezas se forman pliegues al embutir debido a que el juego es demasiado grande.

Tal vez los valores resultantes de una formula al momento de su aplicación no sean los óptimos por lo que se deberán ir ajustando.

---

<sup>59</sup> (Fundación ASCAMM/Centre Tecnologic, 2009, pág. 62)

Para este caso se ha optado por tomar valores prácticos que se acercan a los que han dado óptimos resultado en el taller.

Considerando que:

| Embutición Rectangular |                   |
|------------------------|-------------------|
| Zona Recta             | $j = 1.1 \cdot e$ |
| Zona angular con radio | $j = 1.2 \cdot e$ |

TABLA 4.12 Juego entre matriz/punzón según el espesor del materia.<sup>60</sup>

Como el material a embutir va a ser un Aluminio de temple H0 y de espesor 1,5; se ha optado por aproximar coherentemente las medidas utilizadas en el taller es por lo cual utilizando:

Zonas rectas..... $j = 1.1 \cdot 1,5$

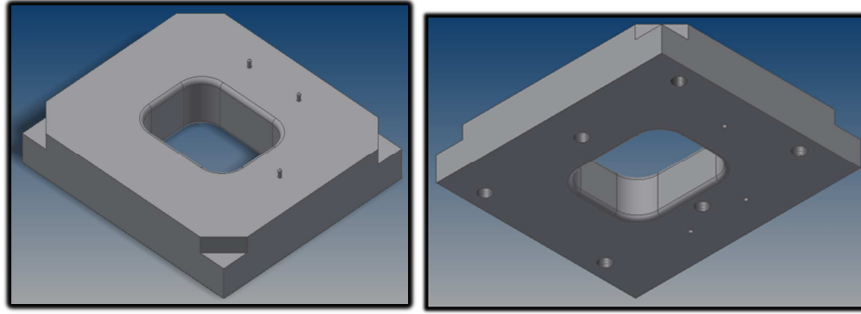
**$j = 1.65 \text{ mm}$**

Zonas angulares con radio...  $j = 1.2 \cdot 1,5$

**$j = 1.8 \text{ mm}$**

<sup>60</sup> (Fundación ASCAMM/Centre Tecnologic, 2009, pág. 69)





**Figura 4.25 Matriz de embutición.**

Como se puede observar la matriz consta de una sola fase para embutir ya que la forma que se desea obtener no representa mayor dificultad geométrica.

#### **-MATERIAL**

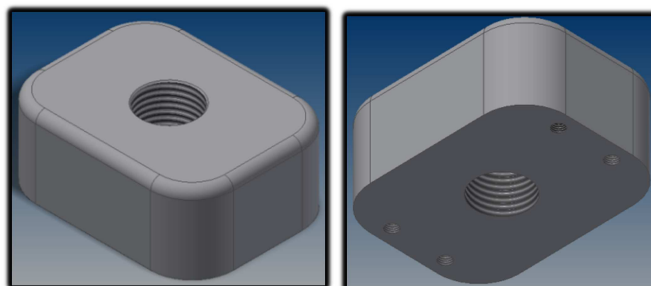
En el mercado local son varios los aceros para trabajo en frío que se disponen, entre los cuales se ha seleccionado el K-107 ya que se ajusta a la alta resistencia al desgaste que se necesita para herramientas de embutición profunda y mínima variabilidad de medidas. (Ver Anexo A)

#### **4.4.2. PUNZÓN DE EMBUTICIÓN**

Este elemento realiza la embutición propiamente dicha, dando la forma y profundidad de la pieza.

El conjunto lo conforman tres partes:

- El macho



**Figura 4.26 Macho de embutición.**

Es un bloque macizo rectangular de 162x124x64 que posee las mismas consideraciones de diseño que la matriz en cuanto a los radios, forma y función;



ya que es un elemento activo que en conjunto con la hembra desarrollarán la pieza, se ha decidido maquinarlo del mismo material para evitar fatiga o algún tipo de inconveniente es decir se lo hará de acero K107, el cual recibirá un tratamiento de temple para conseguir una dureza 62 HRC

Como ya se explicó antes en ningún caso, *“el radio mínimo “r” que se aplique al punzón será inferior a 3 - 5 veces el espesor “e” de la chapa”*<sup>61</sup> o a su vez se tendrá en consideración que este no podrá ser diferente al redondeo de las aristas de la matriz.

- El pedestal

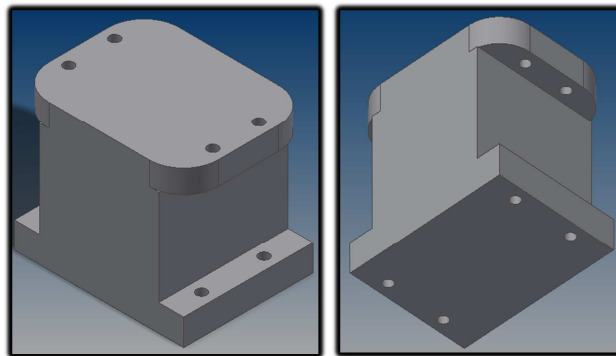


Figura 4.27 Pedestal del punzón.

Junto con la base fijan el macho a la bancada, en la parte superior se ha redondeado sus aristas para dar coherencia al diseño, además ya que es la parte que absorbe y transmite la fuerza de embutición y por economía se ha optado por fabricarlo de acero ASTM A-36 pues este material cumple con los requerimientos necesarios para esta tarea pues la función del pedestal no está directamente ligada a otra más que el de sostener y fijar.

- La base

---

<sup>61</sup> (Fundación ASCAMM/Centre Tecnologic, 2009, pág. 65)

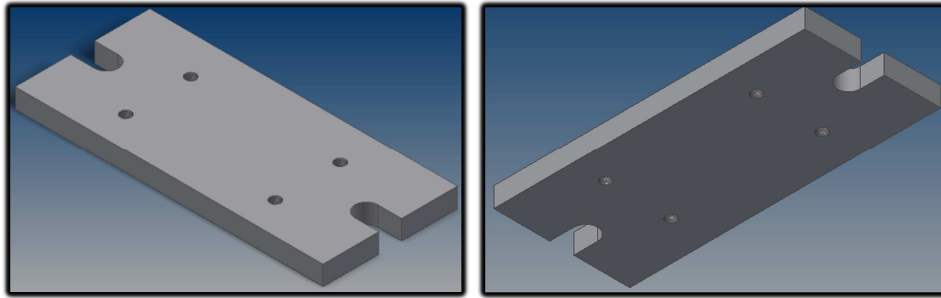


Figura 4.28 Base del punzón.

Una placa rectangular de 285x125 con un espesor de 18 mm. Es la encargada de fijar el cuerpo del punzón a la mesa de la prensa, se lo ha hecho de acero ASTM-A36 pues por cuestiones económicas y de funcionalidad este material cumple adecuadamente con las necesidades requeridas.

#### -SUJECIÓN

Se dispondrán de 8 pernos M10 de cabeza allen de la siguiente manera; cuatro para fijar el macho del punzón al pedestal y la otra mitad para asegurar la posición entre la base y el pedestal.

#### 4.4.3. PLACA EXPULSORA

Es una placa plana la cual sirve para evitar pliegues en la embutición por medio de la presión ejercida sobre el recorte por el punzón y la matriz. Por facilidad de construcción y por su bajo costo, se ha optado por el diseño más sencillo pero completamente funcional.

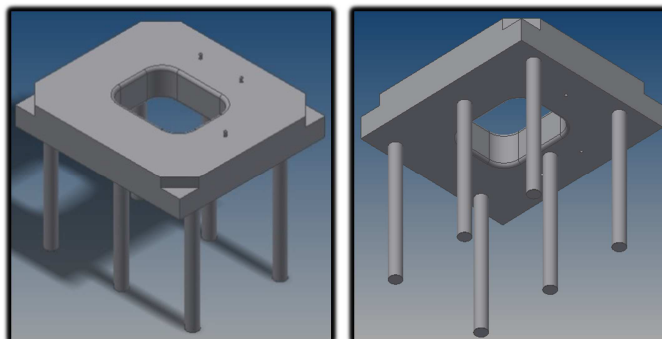


Figura 4.29 Conjunto placa Expulsora.

Posee como agujero el perfil del punzón, pues a más de servir como expulsor y prensa chapas también funciona de guía; entre el macho y este alojamiento existe un juego explicado de la siguiente manera:

Zonas rectas.....j= 1.7 mm

Zonas con radio..... j= 1.5 mm

Cabe destacar que estos valores son reales y han funcionado óptimamente al momento de su aplicación.

#### **4.4.5. ELEMENTOS DE UNIÓN**

Como ya se explicó anteriormente en el punto 4.3.10 el criterio del diseñador y su experiencia son los que seleccionaran el número y dimensiones de elementos; pero con fines investigativos seguiremos usando algunos criterios que nos comparten algunos autores en tablas.

#### **- SEPARACIÓN ENTRE AGUJEROS**

Como ya se vio anteriormente es recomendable para obtener una posición exacta, que los agujeros de los pernos estén lo más próximos a los bordes.

#### **4.4.6. FUERZAS DE EMBUTICIÓN**

La chapa de aluminio que se adquiere contiene 99% de pureza el cual comienza a doblarse y entra en la zona plástica de deformación en el valor del límite elástico  $S_y = 110 \text{ Kg/mm}^2$ . (VER ANEXO F) Este valor es el utilizado para determinar la fuerza necesaria para aplicar la embutición profunda, tomando los valores de las dimensiones del rectángulo que conforman la bandeja, y homologándolos con las formulas de la fuerza para embuticiones cilíndricas 4.24 se obtiene:

$$F_e = d * \pi * s * k * f \quad (4.25)^{62}$$

---

<sup>62</sup> (Fundación ASCAMM/Centre Tecnologic, 2009, pág. 78)

Dónde:

Fe= Fuerza de embutición

D = Diámetro del disco a embutir en mm

d = Diámetro interior de la cápsula en mm.

S = Espesor de la chapa en mm.

k = Resistencia de la chapa.

f = Factor de relación de embutición.

*Desarrollando con nuestros datos:*

D= 263,34 mm

d= 162

f= 0.8

e= 1.5

k= 17 kg/mm<sup>2</sup>

$$Fe = 162 * \pi * 1.5 * 17 * 0.8$$

$$Fe = 10382.33 \text{ kg}$$

$$Fe = 10.38 \text{ Tons}$$

|            |      |       |      |       |      |       |     |       |      |       |     |
|------------|------|-------|------|-------|------|-------|-----|-------|------|-------|-----|
| <b>d/D</b> | 0,55 | 0,575 | 0,6  | 0,625 | 0,65 | 0,675 | 0,7 | 0,725 | 0,75 | 0,775 | 0,8 |
| <b>f</b>   | 1    | 0,93  | 0,86 | 0,79  | 0,72 | 0,66  | 0,6 | 0,55  | 0,5  | 0,45  | 0,4 |

**TABLA 4.13 Factor de relación de embutición.**<sup>63</sup>

<sup>63</sup> (Fundación ASCAMM/Centre Tecnologic, 2009, pág. 78)

En conclusión la fuerza que se necesita para realizar el trabajo es de 10.5 Tons.

#### **-Número de pasadas para las embuticiones rectangulares**

Es sabido que cuando se trata de embutición rectangular es difícil determinar el número de operaciones necesario para embutir una pieza rectangular, sin embargo nos guiaremos por las recomendaciones que nos dan algunos autores; los cuales nos indican que para determinar si se puede efectuar la embutición en una sola pasada es necesario que se cumpla la siguiente ecuación.

$$h \leq 5r \quad (4.26)$$

La cual señala que la profundidad de embutición “h” debe ser igual o menor a 5 veces el radio “r”.

Entonces:

$$50 \leq 5(34)$$

Podemos justificar mediante este cálculo que efectivamente si es posible realizar la operación en una sola pasada.

#### **4.4.7. PRESIÓN DEL PRENSA CHAPAS**

Como ya se explicó el expulsor hace también las veces de pisador, este debe ejercer su presión sobre la chapa de manera que permita su deslizamiento regular y uniforme sobre los radios de la matriz puesto que una presión insuficiente provocaría la formación de arrugas y en cambio, una presión excesiva impediría la fluidez del material provocando su alargamiento y rotura.

También es importante aclarar que la prensa en la cual se va a trabajar dispone de perillas de regulación de la presión, existen medios matemáticos para determinar esta medida, pero siempre será más conveniente escoger esta opción de una forma práctica partiendo de la mínima y aumentándola hasta conseguir una pieza embutida de paredes perfectamente lisas. De dicha forma es como se ha

podido determinar los siguientes valores los mismos que han dado los mejores resultados evitando gripamiento o rotura en la chapa:

| Manómetro                  | Presión Obtenida |
|----------------------------|------------------|
| <i>Cojín de Embutición</i> | Po= 1.5 Mpa      |
|                            | Pf= 5.5 Mpa      |

TABLA 4.14 Presión practico del pisador.

### -Fuerza del pisador

De igual manera se ha calculado el valor teórico que ejerce la fuerza aplicada en el pisador sobre el área del material a embutirse, para este cálculo fue necesario usar la fórmula 4.26.

$$Pp = 0.785 * [D^2 - d^2] * p \quad (4.27)^{64}$$

Dónde:

p= Presión específica

D = Diámetro del disco a embutir en mm

d = Diámetro interior de la cápsula en mm.

| <b>PRESIONES ESPECÍFICAS</b>     |                                  |
|----------------------------------|----------------------------------|
| <i>Para chapa de Aluminio</i>    | Entre 8 y 10 Kg./cm <sup>2</sup> |
| <i>Para chapa de Hierro</i>      | Aprox. 15 Kg./cm <sup>2</sup>    |
| <i>Para chapa de Acero Dulce</i> | Aprox. 20 Kg./cm <sup>2</sup>    |

TABLA 4.15 Presiones específicas.<sup>65</sup>

$$Pp = 0.785 * [26,334^2 - 16,2^2] * 9$$

<sup>64</sup> (Fundación ASCAMM/Centre Tecnologic, 2009, pág. 77)

<sup>65</sup> (Fundación ASCAMM/Centre Tecnologic, 2009, pág. 77)

$$Pp = 3045,29 \text{ kg}$$

Por lo tanto se requerirá aplicar una fuerza de 3 ton.

#### 4.4.8. VELOCIDAD DE EMBUTICIÓN

Para aminorar el riesgo de adelgazamiento del material es preferible aplicar velocidades pequeñas al momento de embutir piezas no cilíndricas como es el caso de la fabricación de la bandeja.

Para este tipo de trabajo se dispone de una prensa hidráulica de 45 toneladas, la cual es la recomendada ya que nos ofrece un alto grado de control.

#### 4.4.9. LUBRICACIÓN

La lubricación es esencial en esta operación ya que existen zonas de generación de altas temperaturas y por lo tanto expuestas a rayaduras y desprendimientos, es debido a esta razón por la que se unta lubricante en la chapa con el fin de disminuir el rozamiento entre el macho y la matriz.

Existen varias formas de lubricar la pieza al momento de la embutición, en nuestro caso la más efectiva es la lubricación de los dos lados de la plancha procurando no lubricar la parte correspondiente a la base del punzón, llamada lubricación de contacto la cual crea una capa solida de recubrimiento con el fin de mejorar la resistencia al deslizamiento entre ellas.

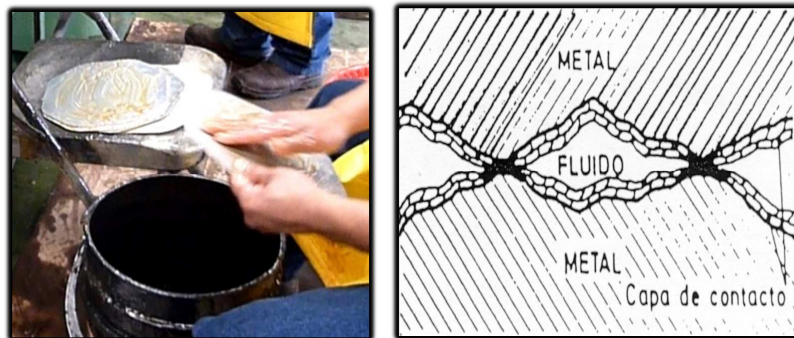


Figura 4.30 Disposición del lubricante.

## **-ELECCIÓN DEL LUBRICANTE<sup>66</sup>**

Existen una serie de factores que intervienen en la elección del lubricante, algunos de los más importantes son:

- Severidad de la operación
- Naturaleza del metal
- Naturaleza del utillaje
- Condiciones de aplicación
- Procesos posteriores
- Legislación medioambiental

Los productos lubricantes, debido a los aditivos que contienen, presentan una gran capacidad de adherencia y resistencia, facilitando una embutición perfecta de las piezas.

Una lubricación racional, que reduzca el rozamiento entre la chapa, la matriz y el pisador permite obtener una mejor calidad superficial de la pieza embutida, un menor esfuerzo del punzón y un desgaste menor del útil.

Debido a que se va a realizar una embutición rectangular de mediana profundidad y para evitar altos costos se acostumbra a realizar mezclas o lubricantes artesanales, en nuestro caso el mejor resultado se ha obtenido con la mezcla entre aceite SAE 140 EP y grasa multifak ep, las características y propiedades se ajustan adecuadamente a nuestras necesidades ofreciéndonos una buena viscosidad, adecuada para prensar y embutir chapas, las características de ambos productos de pueden revisar en el Anexo C.

---

<sup>66</sup> (Fundación ASCAMM/Centre Tecnologic, 2009, pág. 75)



#### 4.4.10. PROPUESTA DE MÉTODO DE CENTRAMIENTO

Uno de los problemas en el taller al momento de empezar la producción es el tiempo que se toma el poder centrar las matrices de embutición con el husillo de la prensa, luego de analizar algunas opciones y teniendo en cuenta que se está siguiendo la línea de reingeniería tipo estándar donde se debe abaratar costos en los cambios propuestos, es que se ha decidido acoplar dos columnas en los extremos diagonales de la matriz y del expulsor; las mismas que luego de su utilización serán retiradas. Como se puede observar en la Figura 4.31; la disposición de estas columnas con respecto a los bordes de los elementos acoplados no son funcionales solo servirán de apoyos para disminuir el tiempo de montaje.

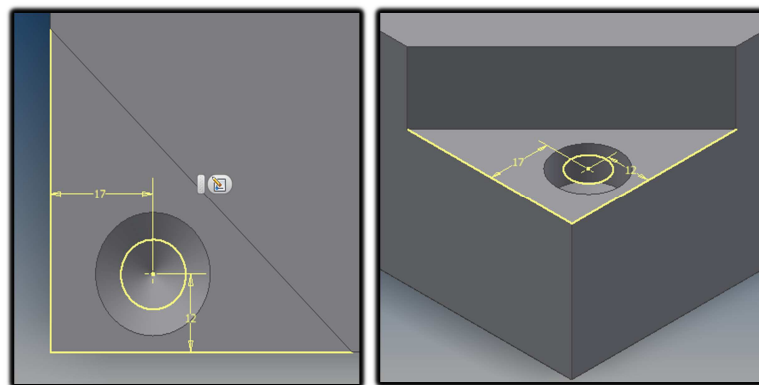


Figura 4.31 Disposición de agujero con respecto al borde.

Por economía y por facilidad de maquinado, las columnas centradoras se las puede fabricar de acero comercial AISI 1018, con diámetro de  $\frac{3}{4}$ ", sus extremos se los afinara con ajuste deslizante para que puedan ser acoplados en los bujes centradores. Esto para facilitar la ubicación de las mismas en los destajes laterales de la matriz y el expulsor. Figura 4.32.

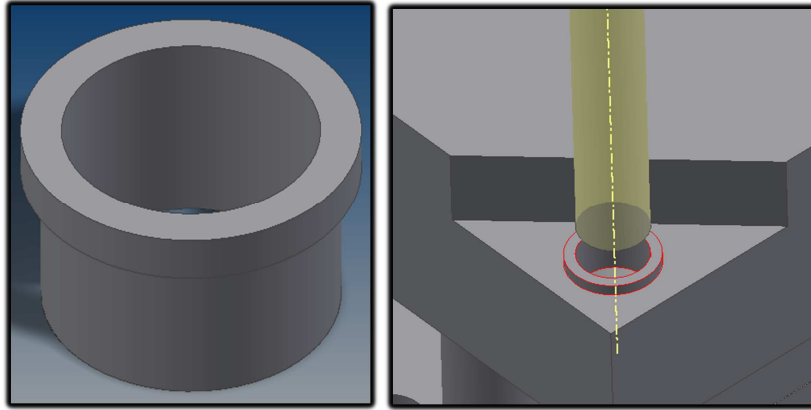


Figura 4.32 Ubicación de ejes centradores.

A continuación se describe los pasos a seguir para lograr el éxito de la propuesta:

- a) Alinear la hembra con respecto al macho de embutición según medidas de galgas y juego como se puede apreciar en la figura 4.33

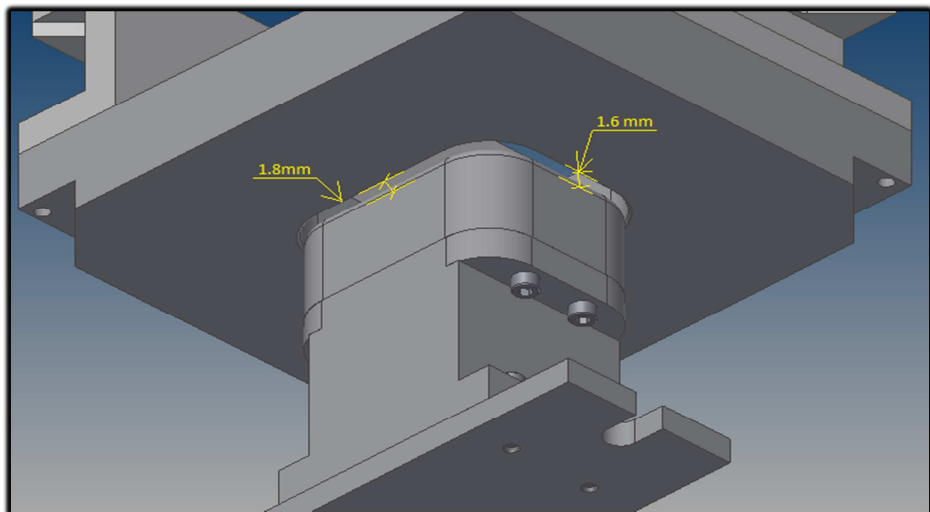
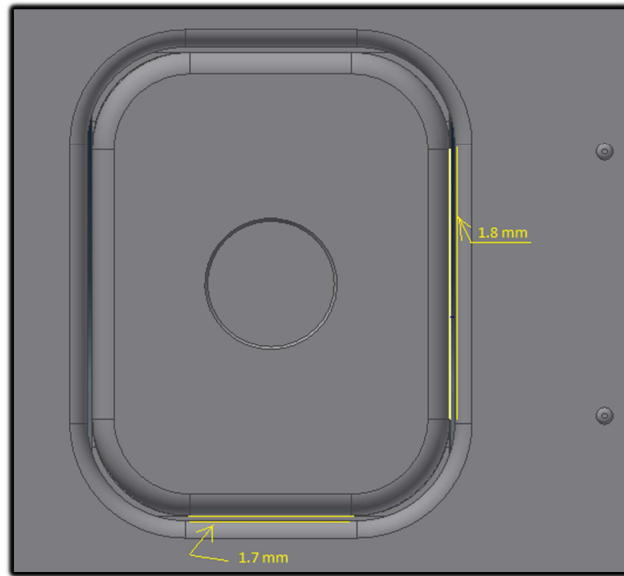


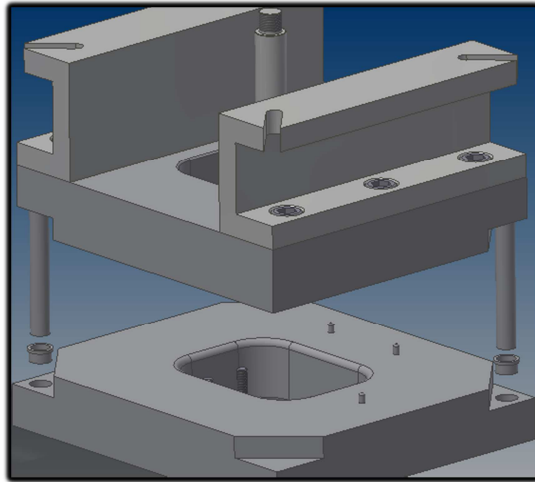
Figura 4.33 Juego y centramiento con galgas entre macho y hembra.

- b) Alinear macho con respecto a expulsor según juego de galgas de figura 4.34



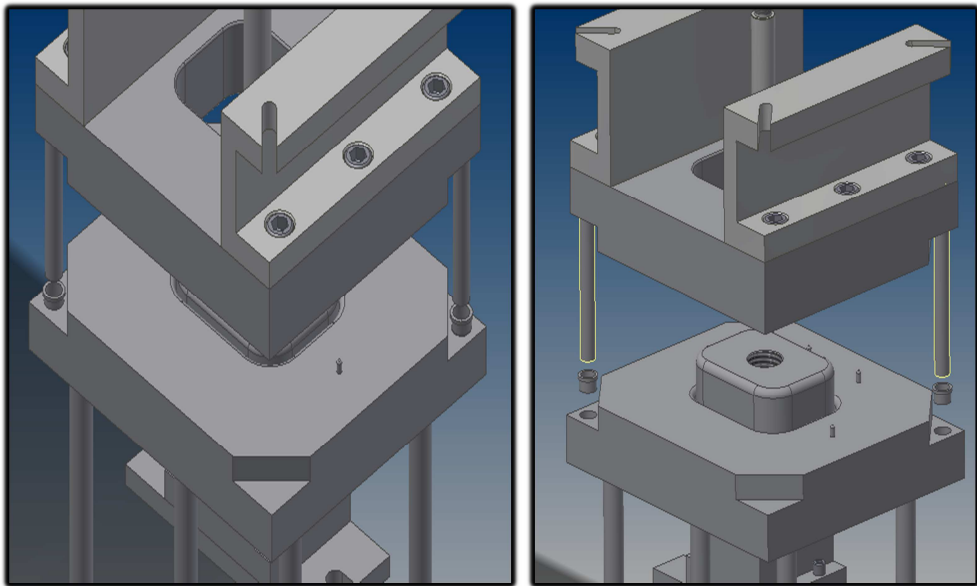
**Figura 4.34 Juego y centramiento con galgas entre macho y expulsor.**

- c) Una vez alineados los tres elementos; se ubica las columnas con respecto a los bujes los cuales servirán como centradores, trazando su posición entre el expulsor y la hembra para posteriormente realizar los correspondientes alojamientos del sistema propuesto. La base de este sistema se origina en la forma de centramiento del husillo de las prensas, donde se usa de igual manera bujes matrices lo cuales aseguran un correcto alineamiento con un mínimo de error el cual es aceptable. Figura 4.35



**Figura 4.35** Posicionamiento del sistema centrador.

En la figura 4.36 ya se puede observar el montaje completo de toda la matriz de embutición con el sistema propuesto.



**Figura 4.36** Conjunto centrado.

## 4.5. MATRIZ CORTE DE ALETA

Luego del proceso de embutición lo siguiente que nos quedaría es la eliminación del excedente del material que no se deforme conocido como aleta. Figura 4.37.



Figura 4.37 Bandeja con Aleta.

A continuación se detalla el diseño de las fuerzas y partes que conforman la matriz que va a servir para el corte de este exceso.

### 4.5.1. FUERZA DE CORTE

Siendo el perímetro de corte  $l = 209.607$  y  $\sigma_T = 10 \frac{kg}{mm^2}$  y utilizando la fórmula 4.14; se obtiene:

$$F = \sigma_T \cdot l \cdot e$$

$$F = 10 * 209.607 * 1.5$$

$$F = 3144.105 \text{ kgf}$$

$$F = 3.14 \text{ Tons}$$

Así mismo se calculara la fuerza necesaria para la extracción del punzón, usando la fórmula 4.15 se obtiene:

$$F_{EX} = 2\% \cdot F$$

$$F_{EX} = 0.0628 \text{ Tons}$$

Es decir que en total se necesita 3.2 Tons, para realizar el trabajo de corte de la aleta.

#### 4.5.2. PLACA MATRIZ

Lo que se requiere cortar son los pliegues de la chapa conocida como aleta, la cual queda luego del proceso de embutición.

Se ha elegido una placa matriz partida, ya que el perfil que se debe cortar no es complicado pero si tiene medianas dimensiones; esto ayudara a ahorrar material y facilitar el mecanizado, mantenimiento y/o sustitución de alguna de sus partes.

#### -ESPESOR

Utilizando la fórmula 4.18, se calculara de forma práctica el espesor de la placa matriz.

$$a = 0,6 * \sqrt[3]{F}$$

Obteniendo:

$$a = 8.84 \text{ mm}$$

Comercialmente se dispone en el mercado de placas de espesor de ½", asegurando de esta manera durabilidad y robustez al diseño.

#### -VIDA ÚTIL

Se volverá a usar la fórmula 4.19, pero como ya se dijo antes se suele recomendar una medida de 4mm a la parte perpendicular, mientras el resto se da una pequeña conicidad de 2°. Figura 4.38.

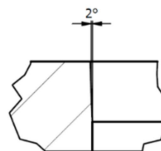


Figura 4.38 Vida útil.

## **- JUEGO**

Se utilizará la fórmula 4.19, la cual nos ayuda a determinar la mejor separación entre el punzón y la hembra; para cortar aluminio y aleaciones ligeras se obtiene:

$$j = \frac{3 + 0,5 * e^2}{100}$$

$$j = 0.041 \text{ mm}$$

Por facilidades de construcción, se puede usar un juego de 0,04.

## **-MATERIAL**

Debido a los esfuerzos y trabajo que va a realizar, el material usado para su construcción debe ser de gran calidad y calificado para realizar trabajos en frío.

Debido a estas razones es que se ha decidido fabricarla de acero DF-2, el cual cumple con las necesidades del trabajo.

## **-FORMA Y DIMENSIONES**

Se seguirá las mismas recomendaciones que antes se reviso es decir se utilizará de nuevo la tabla 4.2 para determinar la mejor forma y consideraciones al momento de ubicar los agujeros.

Teniendo en cuenta las sugerencias de J. Blanco donde dice que las medidas de longitud y anchura varían teniendo que ser el diseñador quien partiendo de su experiencia y sabiendo la utilidad que se le va a dar a cada pieza realizara el mejor diseño.

En la figura 4.39 se puede apreciar la forma y dimensiones de este elemento.

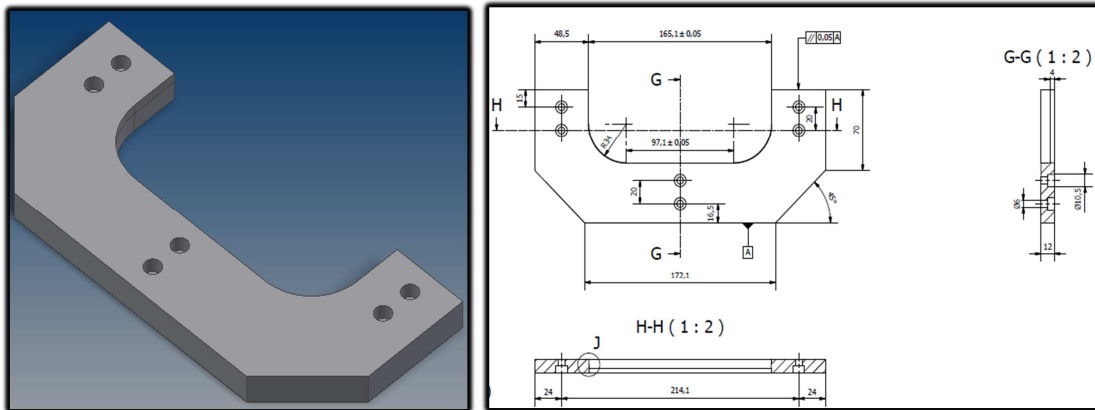


Figura 4.39 Forma y Dimensiones de la placa matriz.

#### 4.5.3. BASE INFERIOR

Es la parte fija de la matriz y la que ira fijada a la mesa de la prensa por medios de elementos de amarre, deberá ser sección robusta ya que esta será la que reciba todos los esfuerzos de expansión y verticales dadas por los punzones al conformar el material.

J. Blanco en su libro 'Profundos Conocimientos de matricería'; recomienda que para medianas producciones la robustez de la placa base inferior no debe ser menor a 40 mm, para nuestros fines adoptaremos esta recomendación.

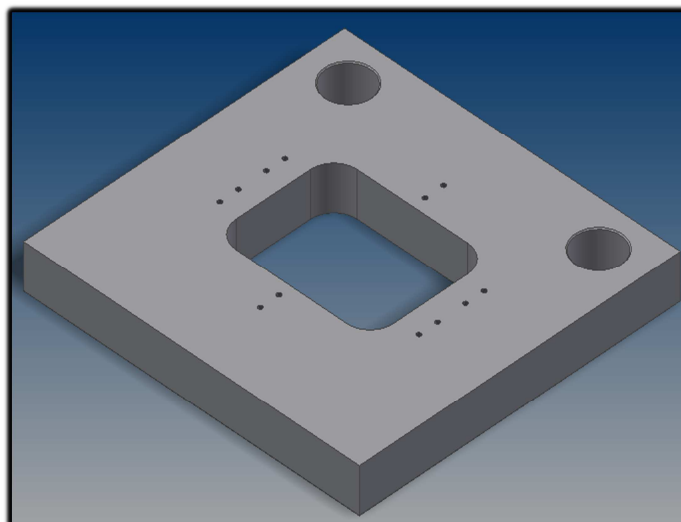


Figura 4.40 Placa base inferior.



## -MATERIAL

El acero AISI 1018 cumple adecuadamente con los requisitos de esbeltez ya que en nuestro medio se disponen de planchas de hasta 55 mm de espesor, además por cuestiones prácticas y funcionales este material se ajusta a nuestras necesidades.

## -FORMA Y DIMENSIONES

Como antes se dijo, la forma de los elementos depende ampliamente de su función y el papel que van a desempeñar, se ha dispuesto de medidas que engloben tanto las dimensiones de la placa matriz, como la ubicación de las columnas guías.

Considerado estos detalles es que se ha podido llegar a determinar un rectángulo de 345x361 y 40 mm de espesor, con un alojamiento en el centro para evacuación de las piezas conformadas. Figura 4.41

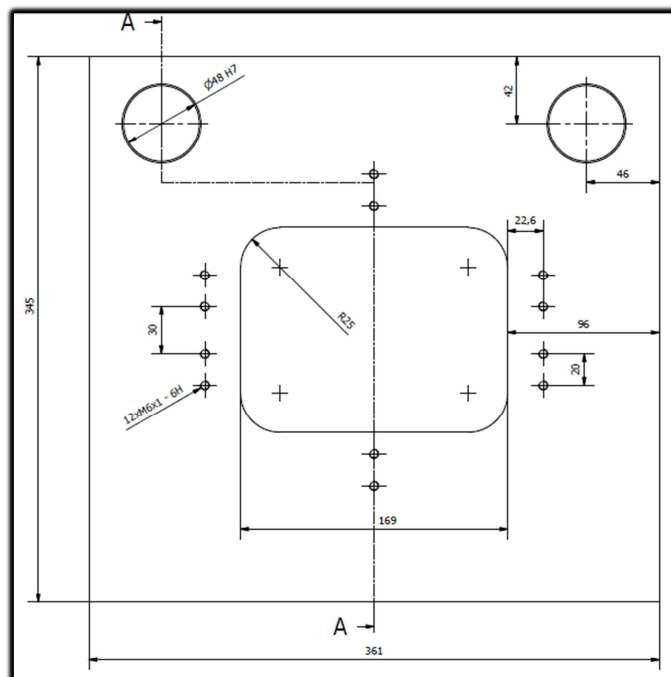


Figura 4.41 Forma y dimensión de la base inferior.

### 4.5.3. BASE SUPERIOR

Es la parte móvil de la matriz, este elemento ira apoyado y amarrado a la superficie inferior del charriot de la prensa, esta placa recibe directamente todo el movimiento de la maquina hacia el punzón, sirve además de soporte y alojamiento de las columnas.

Para el diseño de esta parte simplemente se considerara las mismas recomendaciones que se utilizó en el diseño de la Base Inferior, en conclusión se lo fabricara de un bloque rectangular de acero AISI 1018, de dimensiones 337x361 y 40 mm de espesor, además consta de un agujero roscado ubicado en el centro de la placa que servirá de alojamiento para el vástago.

Obteniendo un útil como el que se puede apreciar en la figura 4.42.

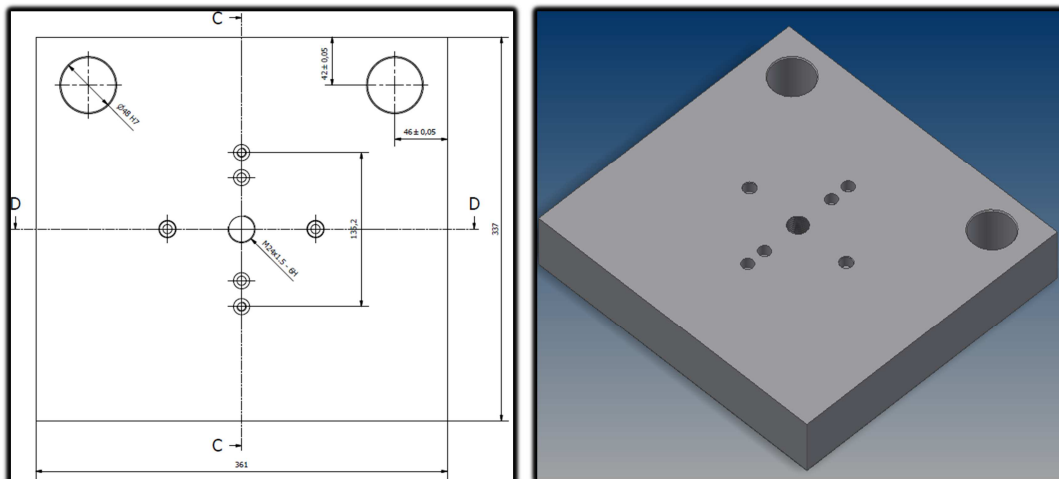


Figura 4.42 Forma y dimensión de la base superior.

### 4.5.4. PUNZÓN DE CORTE

El cuerpo del punzón está fijado directamente con la placa base superior, pero su sección y dimensiones hace que pueda recibir, transmitir y soportar todas las fuerzas provenientes del vástago de la prensa, además que la sección que va a cortar no necesita de un gran esfuerzo, asegurando así la duración de este útil.

Es necesario mencionar que lo que conforma todo el conjunto del punzón está formado por dos partes, la primera es el útil que realiza el corte es decir el macho propiamente dicho (figura 4.43).

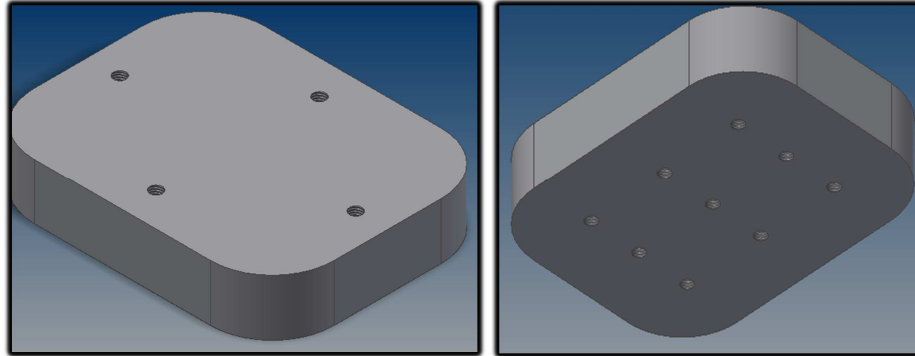


Figura 4.43 cuchilla del punzón.

La segunda es una placa de espesor 13mm que hace la vez de centrador y expulsor, empujando la bandeja hacia abajo obligándola a posicionarse mientras la cuchilla separa la aleta de la pieza deseada. Figura 4.44

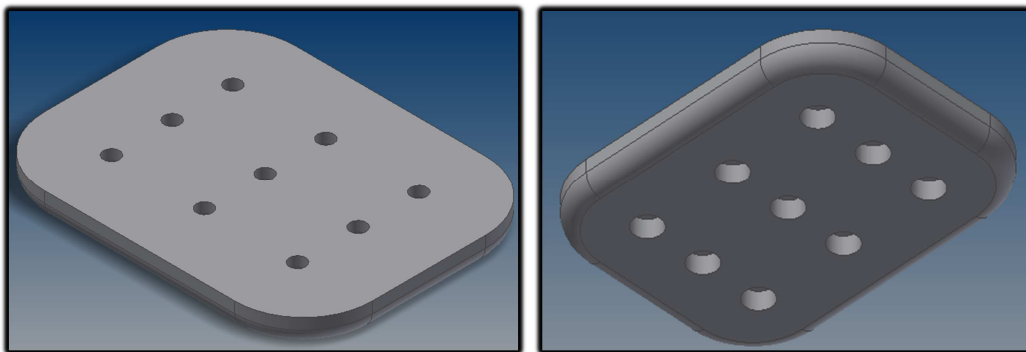


Figura 4.44 Expulsor del punzón.

## **-MATERIAL**

Al ser uno de los elementos que van a resistir grandes esfuerzos junto con la placa matriz, el punzón debe ser realizado de un acero indeformable al

manganeso, de alto contenido en carbono y cromo, pero la característica más importante que debe reunir es la q presente mínimas deformaciones durante el tratamiento térmico.

Es por esta razón, que dentro del mercado local existe un tipo de aleación que cumple con las necesidades requeridas conocido como DF-2 y puede alcanzar durezas de hasta 62 HRC; mientras que la placa expulsora se la fabricara de acero AISI 1018 ya que debe ser más suave al contacto con las piezas.

### **-FORMA Y DIMENSIONES**

Para machos de desempeño medio es recomendable una altura de 60 mm, sin embargo por costos y por la mínima resistencia que va a soportar el bloque que representa el macho se lo dimensionara de 127x165 y 31 mm de espesor, así mismo el expulsor será de 124x162x13.

Estas dimensiones fueron acogidas teniendo en cuenta la funcionalidad de cada parte. (Figura 4.45)

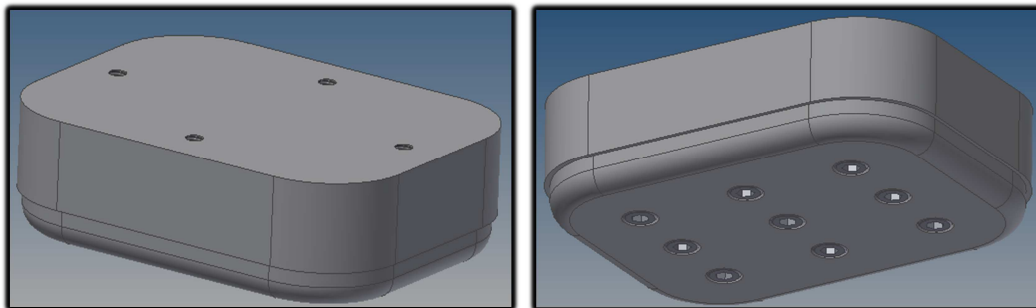


Figura 4.45 Punzón.

### **-FIJACIÓN**

La fijación de esta placa se ha de realizar de forma simultánea con la base superior mediante 4 pernos M8\*1,25 de cabeza allen, para conseguir bloqueo ante posibles fuerzas transversales evitando dislocación de uno y otro elemento.

De igual manera la placa expulsora se sujetará con el macho utilizando 9 pernos de cabeza allen M8\*1,25.

#### 4.5.5. EXPULSOR

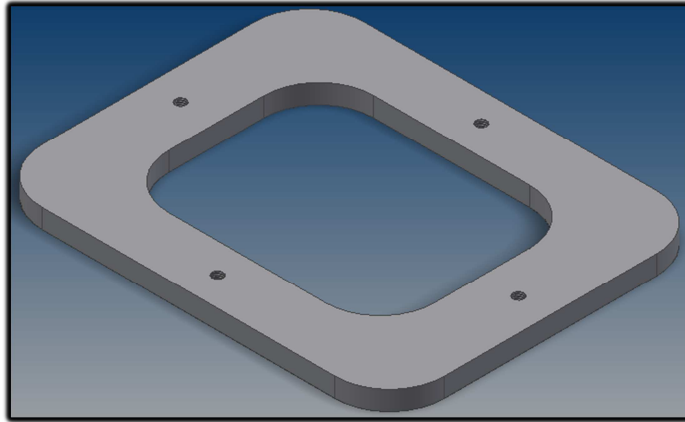


Figura 4.46 Expulsor.

Una placa de acero AISI-1018 de espesor  $\frac{1}{2}$ " realiza la función de retener y expulsar el material sobrante que resulta luego del proceso de corte.

Su diseño es relativamente sencillo, se posiciona alrededor del punzón de corte entre el centrador y la placa superior base.

#### 4.5.6. MUELLES

Con la finalidad de facilitar la rápida extracción del retal se ha dispuesto 4 muelles entre el expulsor y la placa superior base.

Los mismos se colocaran de forma simétrica para distribuir uniformemente el esfuerzo de trabajo.

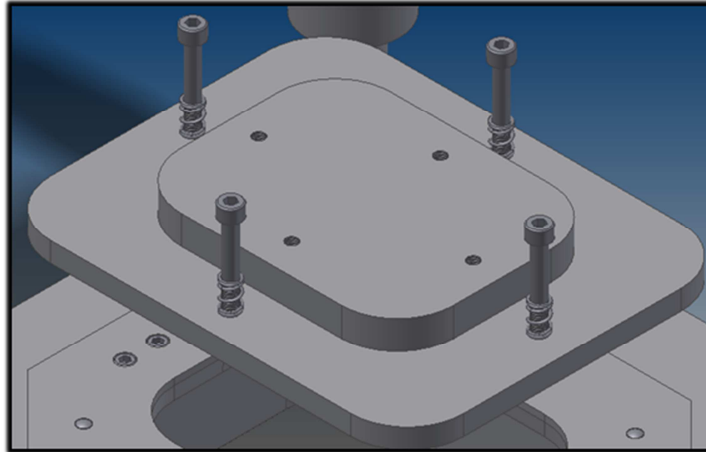


Figura 4.47 Muelles.

El esfuerzo que tienen que soportar los muelles es la fuerza de extracción del punzón, que es de  $F_{ex}=62.88 \text{ kgf}$  ( $616.85\text{N}$ ).

Este esfuerzo se tendrá que repartir entre los 4 muelles, por lo tanto, cada muelle tendrá que soportar:

$$F_{muelle} = 154.21 \text{ N}$$

Los muelles tienen que tener una precarga superior al 5% de su longitud para evitar las circunstancias que pudieran adelantar considerablemente la rotura del muelle. Se necesitan unos muelles de 25mm de longitud, por lo que se considerará una precarga de 7.5mm.

La distancia que recorrerá la placa portapunzones respecto de la placa pisador será de 8mm, por lo que los muelles se comprimirán esa distancia más la precarga. La compresión de cada muelle será de 6.5mm.

Para encontrar el muelle adecuado habrá que encontrar la constante  $k$  del muelle necesaria y habrá que asegurarse que la compresión del muelle no supere la deflexión máxima establecida.

Para encontrar la constante  $k$  necesaria se utilizará la siguiente ecuación:

$$F_{muelle} = k * \Delta x$$

Dónde:

$F_{muelle}$  = fuerza que tiene que soportar cada muelle (N)

$k$  = constante elástica del muelle

$\Delta x$  = compresión del muelle

Por lo tanto utilizando la ecuación 4.22 se obtiene:

$$k = \frac{154,21}{6,5}$$

$$k = 23,72 \text{ N/mm}$$

Observando las características necesarias para el muelle se opta por coger 4 muelles de sección rectangular V16x25 color verde y carga ligera de la empresa INMAC/ISA, que tienen las siguientes características:

| $\varnothing$ Externo | $\varnothing$ Interno | constante<br>(k) | sección<br>hilo | longitud | deflexión<br>máxima |
|-----------------------|-----------------------|------------------|-----------------|----------|---------------------|
| 16 mm                 | 8.5 mm                | 23.72N/mm        | 3,2x1,5         | 25mm     | 12                  |

TABLA 4.16 Características de los muelles V16x25<sup>67</sup>

<sup>67</sup> Ver Anexo B, pag.15

## CAPÍTULO V

### SIMULACIÓN DE LÁMINA DE ALUMINIO EMBUTIDA

#### 5.1 PREPARACIÓN DE LA GEOMETRÍA.

La geometría ha sido preparada en el software CAD, Inventor Profesional 2013, para posteriormente ser importada hacia el Workbench ANSYS. Figura 5.1

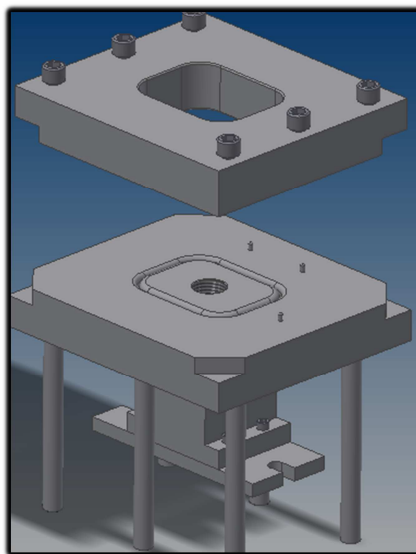
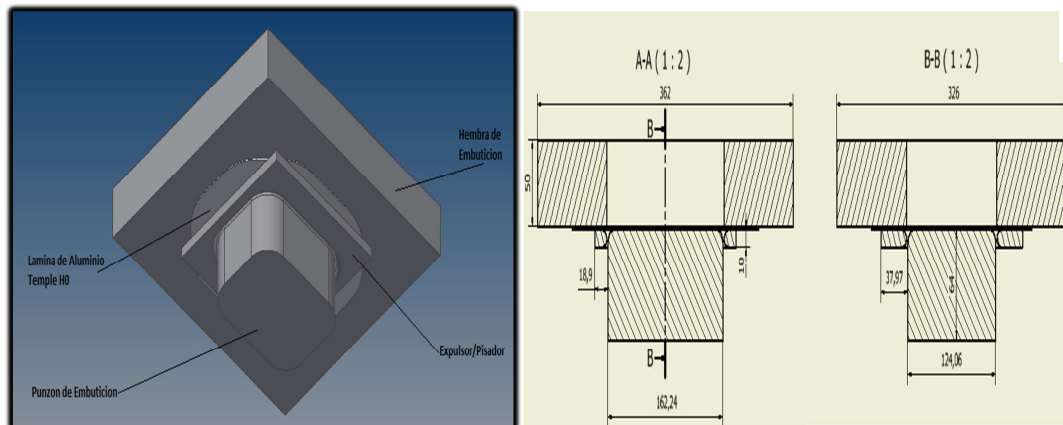


Figura 5.1 Conjunto de embutición

Antes de enlazarla con el programa, se debe considerar modelar los elementos de manera más sencilla; esto con el fin de ocupar menos recursos computacionales y que el resultado de la simulación se obtenga en menos tiempo.

Es así como se ha pretendido dejar tan solo el conjunto que realiza la embutición propiamente dicha el cual conforma la hembra, el punzón, el pisador y la chapa de aluminio, en lo que respecta a las medidas del pisador y de la hembra las medidas de sus espesores fueron reducidos a la mitad y al macho solo se le elimino los agujeros, las dimensiones de la placa son las mismas de la figura 4.2; tal como se puede observar en la figura 5.2.





**Figura 5.2 Conjunto de embutición simplificado.**

Como se puede apreciar en la gráfica se ha simplificado aquellos elementos como el espesor y tamaño del expulsor/pisador, que si bien cumplen con una función en el proceso de embutición, no intervienen directamente en la acción, como la hembra o el punzón, de las cuales se han retirado componentes no funcionales como agujeros roscados, pero se ha respetado las superficies de contacto y las superficies de acción.

Así mismo se puede observar que el análisis del modelo se lo hace desde que los elementos están completamente en contacto, esto con el fin de ahorrarnos tiempo ya que sería innecesario analizar la acción cuando la matriz está en posición pasiva.

## **5.2 SIMULACIÓN EN WORKBENCH**

### **5.2.1. SELECCIÓN DE TIPO DE ANÁLISIS.**

Después de un poco de investigación y asesoramiento, que han determinado que el proceso sea no lineal, ya que es seguro suponer que las tensiones a lo largo de la lámina serán constantes se utilizara un análisis estructural, lo cual ahorrará tiempo y proporcionar resultados más exactos.

Se iniciara el programa Workbench, y desde la bandeja de herramientas se seleccionara> Structural Analysis; arrastramos la opción hasta la bandeja de proyectos. Como se ve en la Figura 5.3

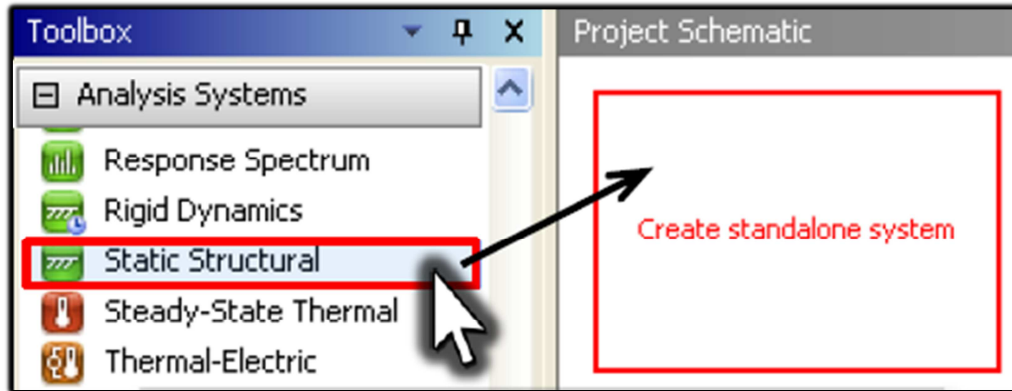


Figura 5.3 Selección de Sistema de Análisis.

## 5.2.2. SELECCIÓN DEL MATERIAL

En primer lugar debemos seleccionar y definir los materiales que desea utilizar en Engineering Data; dando click derecho y seleccionar la opción edit. Figura 5.4

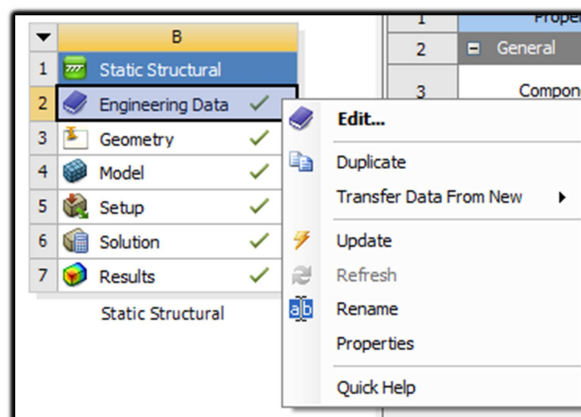
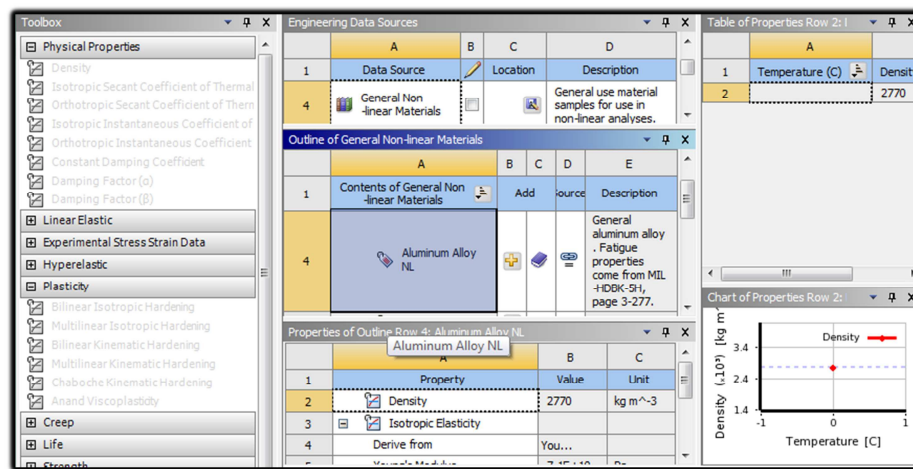


Figura 5.4 Engineering Data.

Ingresamos a la biblioteca de materiales no lineales y buscamos el material aluminio, el cual hacemos las respectivas modificaciones de propiedades para que se asemeje a la realidad.

Engineering Data > Contents of Engineering Data > click derecho > Engineering Data Sources > General Non-Linear Materials > Aluminium. Figura 5.5



**Figura 5.5 Selección de Material.**

Se hace una copia de este material; se le dar un nuevo nombre lo llamaremos Aluminio Temple H0, el cual le proporcionaremos las propiedades reales de la chapa (VER ANEXO F) con la que está hecha la vajilla. Figura 5.6.

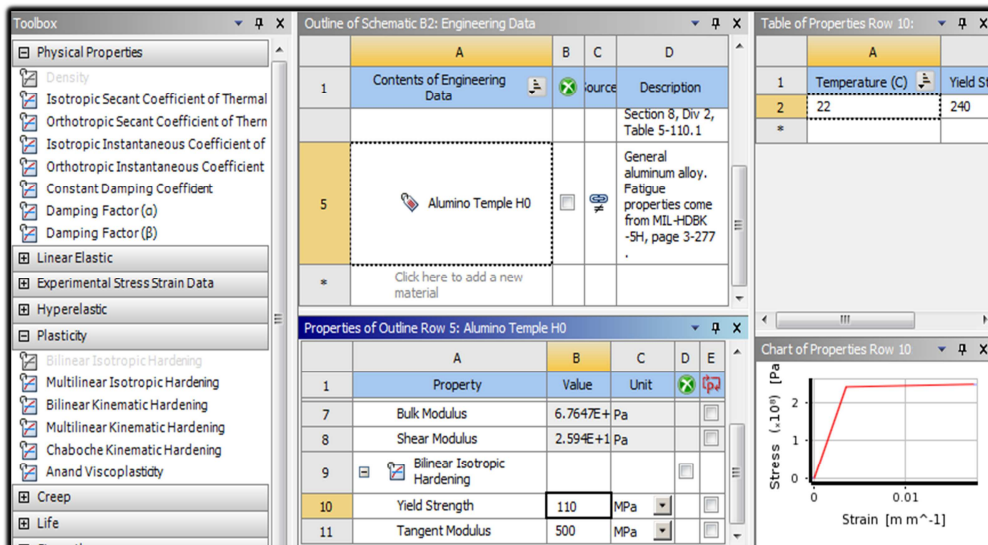


Figura 5.6 Propiedades del Aluminio Temple H0.

### 5.2.3. IMPORTAR GEOMETRÍA

Luego de haber terminado con la configuración del material, se da click sobre return to project lo cual nos llevara al panel de inicio. Una vez ahí podremos importar la geometría que tenemos lista en Autodesk Inventor.

Geometry>Click derecho> Import Geometry> Browse.> Buscar Geometría en la carpeta contenedora. Figura 5.7.

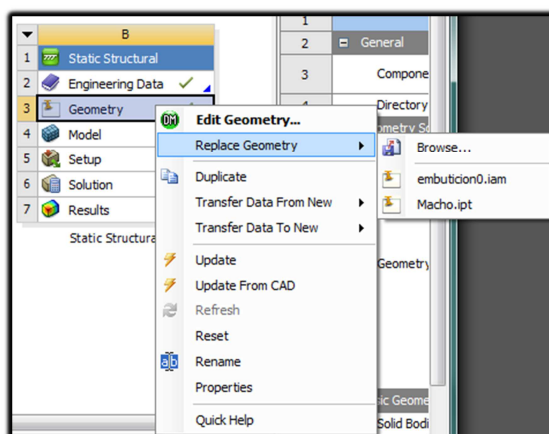


Figura 5.7 Importar geometría.

#### 5.2.4. CONFIGURACIÓN DEL MODELO.

En la celda del modelo, el icono de actualización de datos de subida indica que ha cambiado (es decir, la geometría se importó). Cuando queremos 'editar' Modelo del Project Schematic, el entorno de Mechanical se iniciará y se adjuntará la geometría del modelo. Mechanical también acoge la inicialización, soluciones y resultados de la simulación.

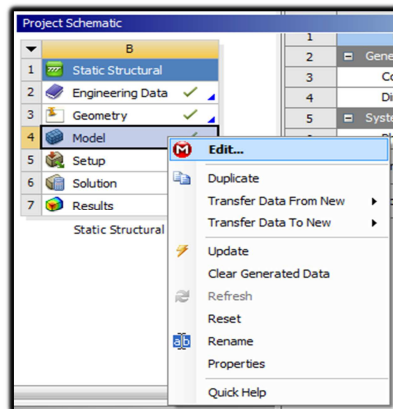


Figura 5.8 Modelo.

Una vez generado el modelo en la ventana del Mechanical, se procede a seleccionar el tipo de material configurado anteriormente, lógicamente le damos estas características a nuestra chapa de aluminio. Figura 5.9.

Geometry> despunte AluminioH0> Material>Assignment> Aluminio Temple H0.

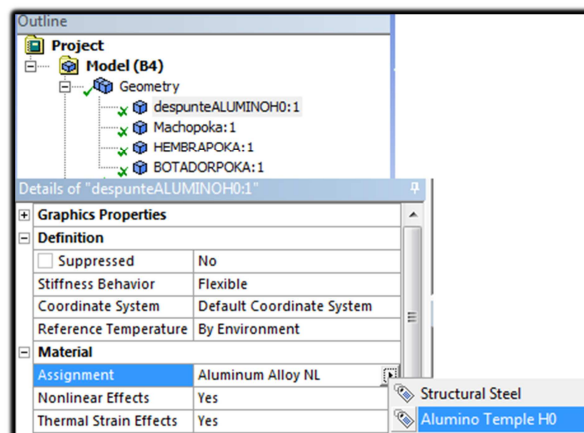


Figura 5.9 Configuración del material en la geometría.

### 5.2.5. CONTACTOS.

Es muy importante tener claro que tipo de simulación estamos realizando y que es lo que queremos obtener de esta; pues de esto depende las consideraciones que usemos para determinar qué tipo de contactos se aplicarán entre los elementos, y sus respectivos parámetros matemáticos.

Los contactos definidos serán asimétricos, para lograr el fin de nuestro análisis, deberemos cambiarlos por simétricos ya que deseamos que el punzón se mueva en sentidos iguales, y la chapa se deforme simétricamente con respecto al macho.

El contacto en la interfaz de la placa/punzón es friccional; su coeficiente de fricción se determina a partir de los coeficientes de fricción estática y dinámica y el coeficiente de decaimiento exponencial. Figura 5.10

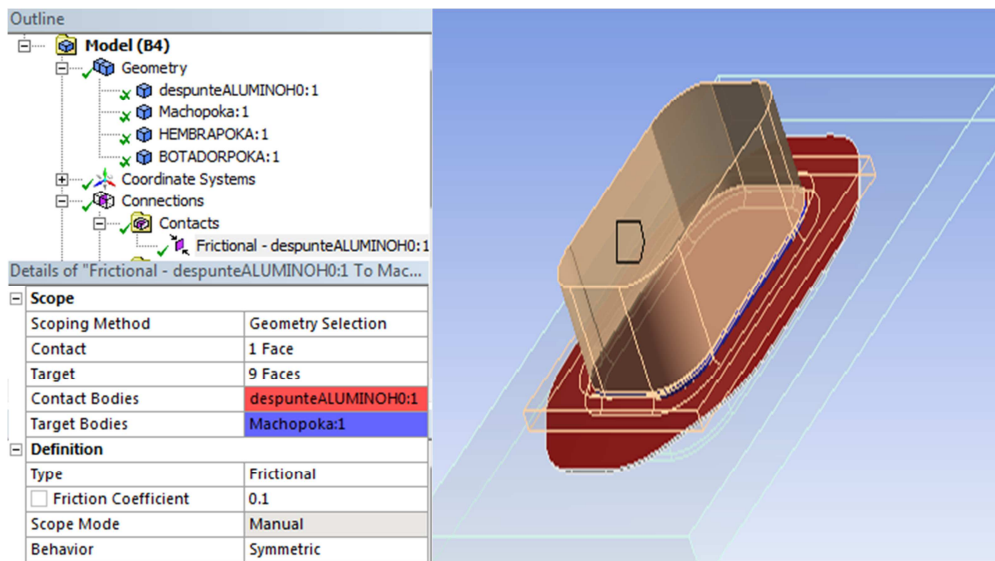


Figura 5.10 Frictional Contact.

La Formulación de contacto hace cumplir la compatibilidad de contacto (contact penetra en target). *Augmented Lagrange* es un método que es menos sensible a la selección de contactos de rigidez normal y permite la penetración de contacto (controlada). El método de detección por defecto para una formulación

*Augmented Lagrange* es El Punto de Gauss. La integración de Gauss se usa para determinar los puntos a lo largo de los segmentos de contacto como ubicaciones de detección de contacto con los segmentos del objetivo.

El Normal Stiffness Factor dicta la cantidad de penetración entre el contacto y superficies de destino. Se utiliza el factor más pequeño entre los valores de 0,01 a 0,1 para problemas de deformación en donde domina la embutición.

Update Stiffness; especifica que el programa debe actualizar / modificar la rigidez (subir / bajar / dejar sin cambios).

Time Step Controls; permite que los cambios en el comportamiento de contacto para controlar automáticamente el tiempo paso a paso.

Impact; predice el incremento de tiempo mínimo necesario para detectar cambios en el comportamiento de contacto. Figura 5.11.

| Definition                                    |                            |
|-----------------------------------------------|----------------------------|
| Type                                          | Frictional                 |
| <input type="checkbox"/> Friction Coefficient | 0.1                        |
| Scope Mode                                    | Manual                     |
| Behavior                                      | Program Controlled         |
| Suppressed                                    | No                         |
| Advanced                                      |                            |
| Formulation                                   | Augmented Lagrange         |
| Detection Method                              | Program Controlled         |
| Interface Treatment                           | Add Offset, No Ramping     |
| <input type="checkbox"/> Offset               | 0. mm                      |
| Normal Stiffness                              | Manual                     |
| Normal Stiffness Factor                       | 0.1                        |
| Update Stiffness                              | Each Iteration, Aggressive |
| Stabilization Damping Factor                  | 0.                         |
| Pinball Region                                | Program Controlled         |
| Time Step Controls                            | Predict For Impact         |

Figura 5.11 Configuración Avanzada para Frictional Contact.

El resto de contactos deberán ser del tipo Bonded, entre la chapa y la hembra y de igual manera entre la chapa y el pisador. Se seguirá deberá tener en cuenta las consideraciones antes descritas para realizar la mejor consideración en la configuración de sus definiciones. Figura 5.12

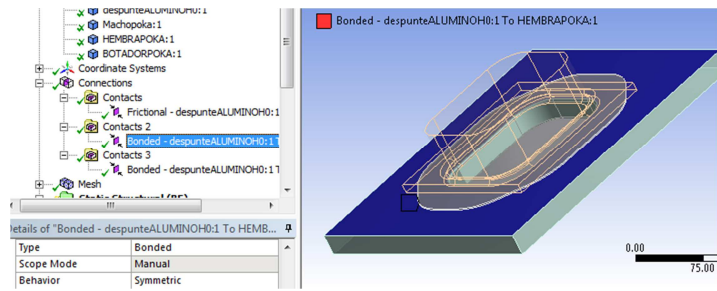


Figura 5.12 Boned Contacts.

### 5.2.6. MALLADO.

Para utilizar menos recursos computacionales se ha dispuesto de un método de mallado automático, y para reducir el tiempo de resolución del problema se ha dado un mallado de 10 mm. Figura 5.13.

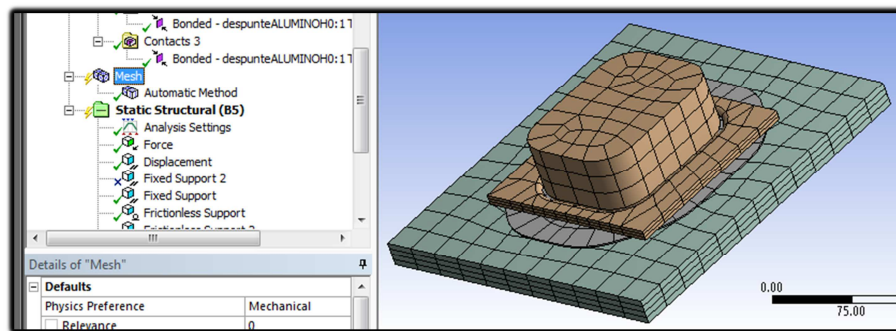


Figura 5.13 Mallado General.

Para el análisis de la chapa que es lo que nos interesa le daremos un mallado más fino utilizando un método de tetraedro. Figura 5.14.



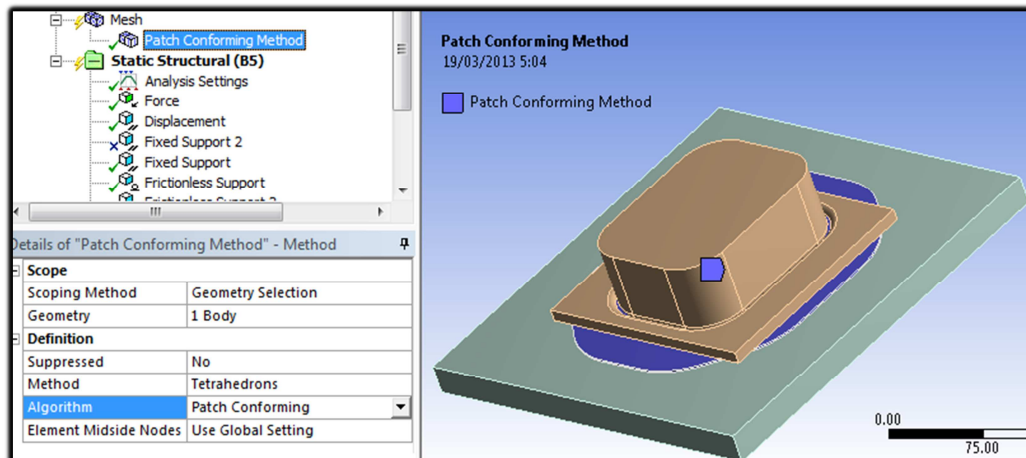


Figura 5.14 Mallado específico en la chapa.

### 5.2.7. CONFIGURACIÓN DEL ANÁLISIS.

Se tiene en consideración que en la realidad la embutición se la realiza en un solo paso, así que se analizará el proceso de conformado lo más real posible, es decir se programara la simulación para que la embutición se obtenga en una sola etapa.

El incremento de la carga dentro de un paso es controlado por el procedimiento de tiempo paso a paso. *Auto Time Stepping* optimiza el paso de tiempo para reducir el tiempo de solución incrementando apropiadamente las cargas y entregando una solución previamente convergente si no se obtiene la convergencia total del problema. *Nonlinear stabilisation*; se especifica para ayudar a lograr la solución. En efecto, esto añade amortiguadores artificiales a todos los nodos. Esto tiende a reducir los desplazamientos en los grado de libertad, gran desplazamiento causa una gran amortiguación/estabilización de la fuerza (como si se tratase del movimiento de un cuerpo rígido). Figura 5.15.

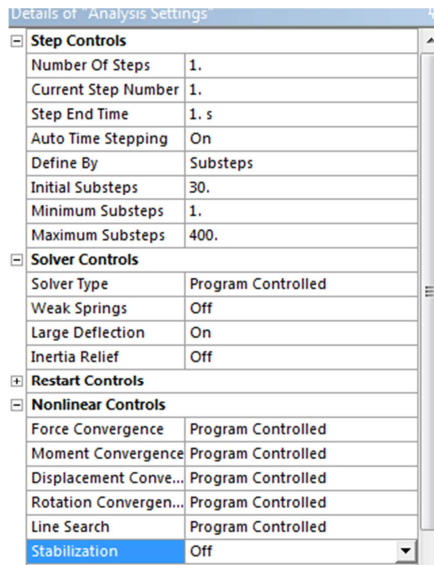


Figura 5.15 Configuración del Análisis.

### 5.2.8. CONDICIONES DE CONTORNO.

Hay que limitar el desplazamiento de la cara entera de la matriz, esto con el fin de que se deforme al momento del impacto, y no cause errores en el resultado. Figura 5.16.

Static structural> insert> fixed support.

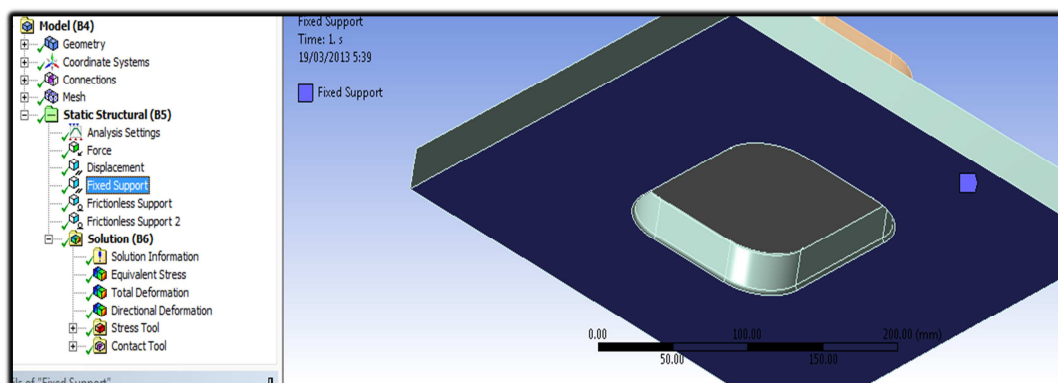


Figura 5.16 Fixed support.

Además se ubicara un desplazamiento de 50mm sobre la cara superior del punzón "B", la cual es la medida de la deformación que deseamos lograr. Se aplicara una fuerza de 30000 N "A" sobre el pisador equivalente a 3000kgf (VER ECUACIÓN 4.26), el cual en la vida real asegura el normal desarrollo de la embutición. Figura 5.17.

Static structural> insert> displacement>tabular data> eje y>50mm.

Static structural> insert> force> seleccionar cara pisador>define by: vector> magnitud: 30000N

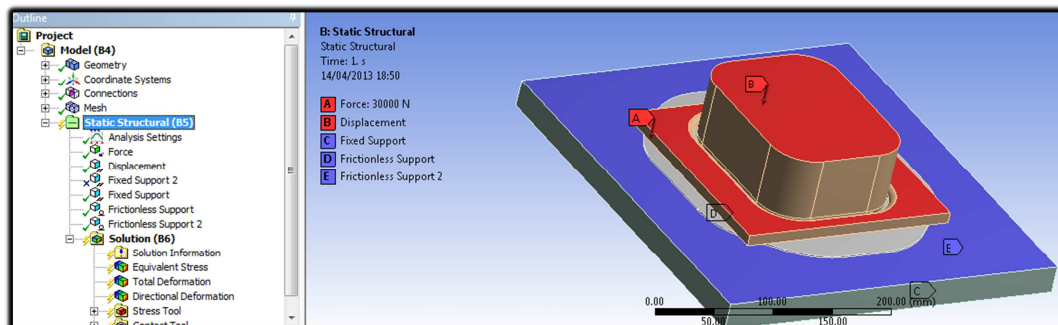


Figura 5.17 Condiciones de contorno.

## 5.3 SOLUCIÓN Y RESULTADOS

Una vez que se ha especificado las características y configuración requeridas para la simulación de embutición profunda, se procede a correr el programa.

Solution> Solve.

### 5.3.1. DEFORMACIÓN TOTAL

Se puede observar claramente como se ha deformado totalmente de manera simétrica la chapa de aluminio, hasta llegar a un límite de 56.63 mm. Es relativamente fácil leer los resultados del simulador pues una un código de colores

se encuentra al lado izquierdo de la gráfica indicándonos la magnitud de cada en cada etapa. Figura 5.18.

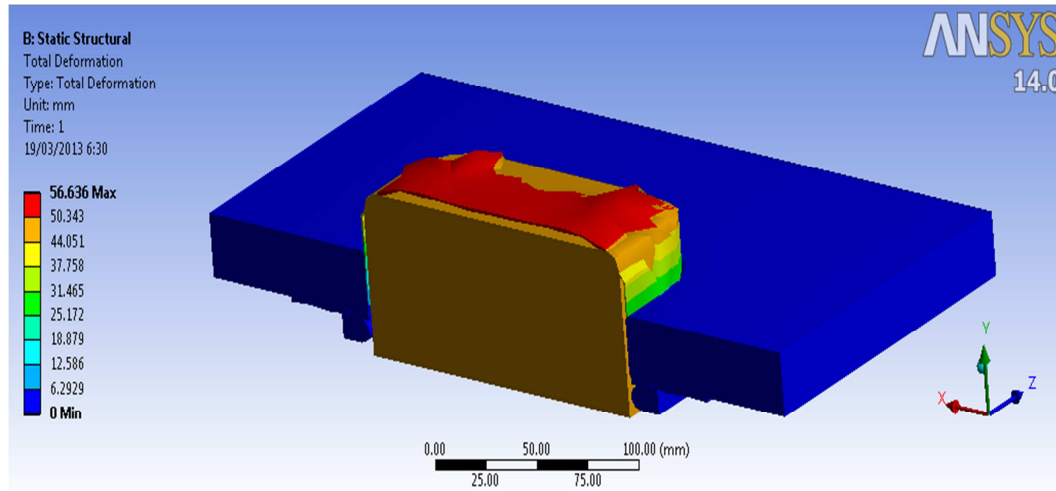


Figura 5.18 Deformación Total.

### 5.3.2. DEFORMACIÓN DIRECCIONAL

Se puede apreciar que la máxima deformación en el eje direccional “Y”, es de 54.52 mm, nos interesa que la placa de aluminio se deforme 50 mm de profundidad, lo cual está dentro del rango. Figura 5.19

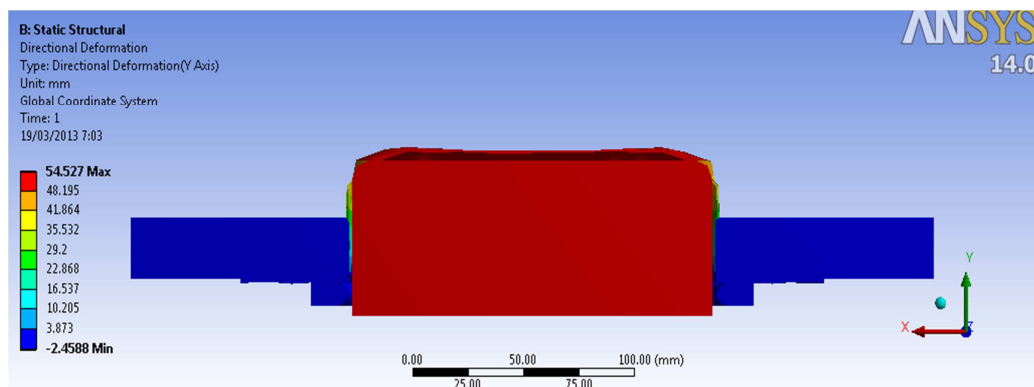


Figura 5.19 Deformación Direccional Eje Y.

### 5.3.3. ESFUERZO EQUIVALENTE MÁXIMO (VON MISES)

Esta herramienta determina el índice obtenido de la combinación de los Esfuerzos Principales en un momento dado para determinar en qué puntos ocurre el esfuerzo en el eje X, Y y Z y provoca la falla. Este método de cálculo se utiliza para medir el esfuerzo y las distribuciones de tensión dentro de un material dúctil.

Se puede observar que la máxima deformación ocurre a los 875 Mpa con una deformación de 56mm; sin embargo solo necesitaremos llegar a conservar valores de 400 Mpa, el cual según el diagrama de colores nos muestra dos razones; la primera, que ha rebasado el valor del límite elástico del material (110 Mpa) asegurando la plasticidad y moldeo; segundo, la superficie presenta un mejor acabado en este punto, asegurando una buena embutición y evitando desperdicios.

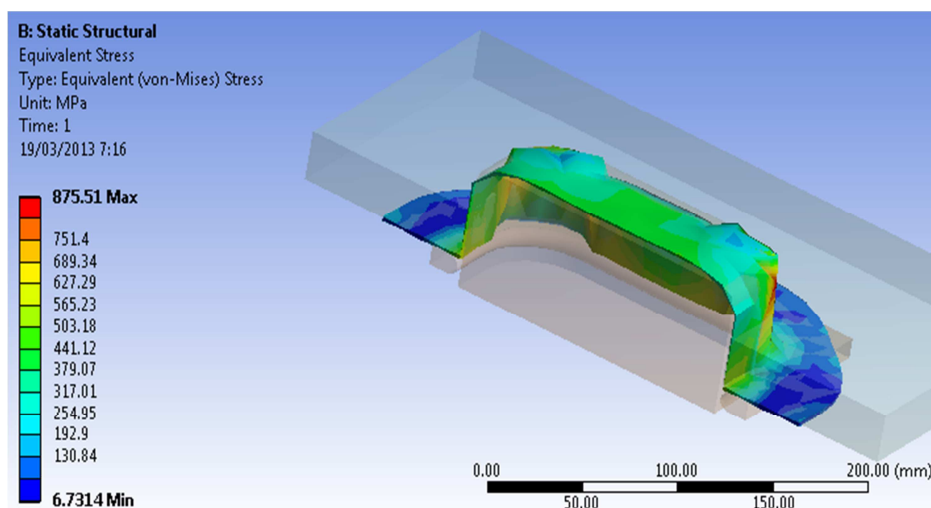


Figura 5.20 Esfuerzo equivalente máximo.

En conclusión se puede apreciar mediante la simulación en este software que las mejoras son justificables y funcionales, ya que se ha mejorado el material de las matrices, el diseño de las mismas y se ha podido comprobar por medio de esta herramienta que los resultados en la entrega del producto son excelentes usando, los valores y dimensiones reales calculados en el capítulo IV los cuales se han puesto en evaluación demostrando su eficiencia.

## CAPÍTULO VI

### ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

#### 6.1 ANÁLISIS ECONÓMICO

##### 6.1.1. COSTOS DIRECTOS

Se conoce como costos directos a aquellos que intervienen directamente en la obtención de los elementos que conforman las matrices. Entre los cuales se encuentran el costo de los materiales los cuales se detallan en las tablas 6.1; 6.2 y 6.3.

| MATRIZ DE CORTE                        | kg    | Cantidad | costo unitario (USD) | Costo(USD) |
|----------------------------------------|-------|----------|----------------------|------------|
| Acero ASTM A36 (pletina 400x400x50.8)  | 63.8  | 1        | 2.4                  | 153.12     |
| Acero ASTM A36 (pletina 400x400x50.8)  | 63.8  | 1        | 2.4                  | 153.12     |
| Eje Acero 1045 Ø 35x45                 | 0.34  | 2        | 11.83                | 8.0444     |
| Eje Acero 1045 Ø45x65                  | 0.81  | 2        | 11.83                | 19.1646    |
| Eje Acero 1045 Ø 25 x 255              | 0.98  | 4        | 11.83                | 46.3736    |
| Acero K100 (pletina 310x360x12.7)      | 11.13 | 1        | 13.25                | 147.4725   |
| Eje AISI 1018 Ø 1/2" x 3/4"            | 0.02  | 4        | 2.82                 | 0.2256     |
| Acero AISI 1018 (pletina 340x340x3/4") | 17.24 | 1        | 2.82                 | 48.6168    |
| Acero AISI 1018 (pletina 245x215x40)   | 16.54 | 1        | 2.82                 | 46.6428    |
| Acero AISI DF-2                        | 2.07  | 1        | 15                   | 31.05      |
| Pernos cabeza allen M4x35              |       | 4        | 0.6                  | 2.4        |
| Pasador Ø 6x50                         |       | 16       | 0.4                  | 6.4        |
| Pasador Ø8x45                          |       | 2        | 0.7                  | 1.4        |
| Pernos cabeza allen M8x45              |       | 27       | 0.8                  | 21.6       |
| Muelle helicoidal de compresion        |       | 4        | 0.56                 | 2.24       |
| Pernos cabeza allen M6x 20             |       | 4        | 0.75                 | 3          |
| Pasador Ø8x55                          |       | 8        | 0.7                  | 5.6        |
|                                        |       |          | TOTAL                | 696.4703   |

TABLA 6.1 Costo de Materiales de Matriz de Corte.

| <i>Matriz de Embuticion</i> | kg    | Cantidad | costo unitario (USD) | Costo(USD)       |
|-----------------------------|-------|----------|----------------------|------------------|
| Acero ASTM A36 260x130x3/4" | 5.04  | 1        | 2.4                  | 12.096           |
| Eje Acero 1045 Ø 30 x 290   | 1.61  | 6        | 11.83                | 114.2778         |
| Acero AISI 1018 380x335x65  | 64.95 | 1        | 2.82                 | 183.159          |
| Acero AISI 1018 330x235x25  | 15.22 | 1        | 2.82                 | 42.9204          |
| Acero K107 326x362x63       | 58.36 | 1        | 15                   | 875.4            |
| Acero K107 163x125x64       | 10.24 | 1        | 15                   | 153.6            |
| Acero ASTM A36 165x140x125  | 22.67 | 1        | 2.4                  | 54.408           |
| Eje AISI 1018 Ø50x235       | 3.7   | 1        | 2.82                 | 10.434           |
| Pernos cabeza allen M20x50  |       | 6        | 1                    | 6                |
| Perno cabeza allen M6x20    |       | 1        | 0.75                 | 0.75             |
| Perno cabeza allen M10x30   |       | 4        | 0.85                 | 3.4              |
| Perno cabeza allen M10x40   |       | 4        | 0.9                  | 3.6              |
|                             |       |          | <b>TOTAL</b>         | <b>1460.0452</b> |

**TABLA 6.2 Costo de Materiales de Matriz de Embutición.**

| <i>Matriz Corte de Aleta</i>    | kg    | Cantidad | costo unitario (USD) | Costo(USD)      |
|---------------------------------|-------|----------|----------------------|-----------------|
| Acero AISI 1018 365x350x45      | 45.13 | 2        | 2.82                 | 254.5332        |
| Eje Acero1045 Ø 60x45           | 1     | 2        | 11.83                | 23.66           |
| Eje Acero 1045 Ø 60x75          | 1.66  | 2        | 11.83                | 39.2756         |
| Acero AISI 1018 165x125x15      | 2.43  | 1        | 2.82                 | 6.8526          |
| Eje Acero 1045 Ø 35 x250        | 1.89  | 2        | 11.83                | 44.7174         |
| Acero AISI 1018 255x210x12,7    | 5.34  | 1        | 2.82                 | 15.0588         |
| Acero AISI DF-2 265x115x12,7    | 3.04  | 2        | 15                   | 91.2            |
| Acero AISI DF-2 170x170x35      | 7.94  | 1        | 15                   | 119.1           |
| Eje Acero 1045 Ø 45x95          | 1.19  | 1        | 11.83                | 14.0777         |
| Muelle Helicoidal de compresion |       | 4        | 0.4                  | 1.6             |
| Perno cabeza allen M8x60        |       | 8        | 0.9                  | 7.2             |
| Pasador Ø 8x45                  |       | 4        | 0.6                  | 2.4             |
| Perno cabeza allen M8x16        |       | 4        | 0.8                  | 3.2             |
| Perno cabeza allen M6x20        |       | 12       | 0.75                 | 9               |
|                                 |       |          | <b>TOTAL</b>         | <b>631.8753</b> |

**TABLA 6.3 Costo de Materiales de Matriz de Corte de Aleta.**

Si sumamos los valores totales de cada tabla nos da como resultado la suma total del costo de los materiales el cual es de \$ 2788.40.

Como se trata de una tesis de diseño también se cuenta como costo directo a la parte de diseño e ingeniería la cuyos valores se detalla en la tabla 6.4

| N.- | Nombre                 | Tiempo H-H | Valor H-H    | Subtotal           |
|-----|------------------------|------------|--------------|--------------------|
| 1   | Autor                  | 300        | 5            | 1500.00            |
| 2   | Profesionales Asesores | 40         | 10           | 400.00             |
| 3   | Asesoría especial      | 5          | 20           | 100.00             |
|     |                        |            | <b>TOTAL</b> | <b>\$ 2,000.00</b> |

**TABLA 6.4 Costo de Diseño e Ingeniería.**

Los costos de mano de obra a continuación son los pertenecientes a la construcción y montaje de las matrices. Tabla 6.5

| N.- | Posición                | Tiempo H-H | Valor H-H    | Subtotal           |
|-----|-------------------------|------------|--------------|--------------------|
| 1   | Servicio de Fresadora   | 200        | 5            | 1,000.00           |
| 2   | Servicio de Torno       | 70         | 10           | 700.00             |
| 3   | Servicio de soldadura   | 4          | 5            | 20.00              |
| 4   | Servicio de rectificado | 8          | 10           | 80.00              |
| 5   | Servicio de Taladro     | 2          | 4            | 8.00               |
| 6   | Montaje                 | 4          | 5            | 20.00              |
|     |                         |            | <b>TOTAL</b> | <b>\$ 1,828.00</b> |

**TABLA 6.5 Costo de Mano de Obra.**

### 6.1.2. COSTOS INDIRECTOS

Se conocen como costos indirectos a los gastos que se realizan en el desarrollo del proyecto. En la Tabla 6.6, se los detalla.

| Descripción                  | Subtotal (USD)   |
|------------------------------|------------------|
| Gastos Administrativos       | 50.00            |
| Materiales de Oficina        | 80.00            |
| Transporte                   | 100.00           |
| Tecnología de la Información | 90.00            |
| Servicios Básicos            | 60.00            |
| Otros                        | 100.00           |
| <b>TOTAL</b>                 | <b>\$ 480.00</b> |

**TABLA 6.6 Costos Indirectos.**



### 6.1.3. COSTOS TOTAL MATRICES

|                           |                 |
|---------------------------|-----------------|
| <b>Costos Indirectos</b>  | <b>Subtotal</b> |
| Tabla 6.6                 | \$ 480.00       |
| <b>Costos Directos</b>    | <b>Subtotal</b> |
| Costo de mano de obra     | \$ 1,828.00     |
| Costo diseño e ingeniería | \$ 2,000.00     |
| Costo de materiales       | \$ 2,788.39     |
| <b>SUBTOTAL</b>           | \$ 7,096.39     |
| <b>IMPREVISTOS 3,5%</b>   | \$ 248.37       |
| <b>COSTO TOTAL</b>        | \$ 7,344.76     |

TABLA 6.7 Costos Total Matrices.

## 6.2 ANÁLISIS FINANCIERO

En este análisis se busca la viabilidad del presente proyecto, para lo cual se realizara el cálculo de los factores de la tasa interna de retorno (TIR), la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR), el valor actual neto (VAN), por medio de estos factores se quiere determinar valor de la relación costo/beneficio.

### ANÁLISIS DE INGRESOS

La E.M. Santa Bárbara produce vajilla únicamente en 3 meses al año; se estima que tiene una producción promedio de 2500 vajillas anuales. Tabla 6.8

|                          | <b>Período Anual</b> |          |          |          |          |          |          |
|--------------------------|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                          | <b>1</b>             | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>7</b> |
| <b>Unidades vendidas</b> | 2500                 | 2700     | 2900     | 3100     | 3300     | 3500     | 3700     |
| <b>Precio</b>            | 12.50                | 13.13    | 13.78    | 14.47    | 15.19    | 15.95    | 16.75    |
| <b>Ingreso Total</b>     | 31250.00             | 35437.50 | 39965.63 | 44857.97 | 50139.63 | 55837.32 | 61979.42 |

TABLA 6.8 Análisis de Ingresos.

## ANÁLISIS DE EGRESOS

Se tomara el valor del costo de producción de la vajilla (Ver Anexo D), y se lo multiplicara por las 2500 vajillas que se producen anualmente. Anualmente se tiene un aumento en el precio de 1.05%, por lo que se ha contemplado estos parámetros en los cálculos. Tabla 6.9.

|                          | Período Anual |          |          |          |          |          |          |
|--------------------------|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                          | 1             | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | 7        |
| <b>Unidades vendidas</b> | 2500          | 2700     | 2900     | 3100     | 3300     | 3500     | 3700     |
| <b>Precio</b>            | 12.02         | 12.62    | 13.25    | 13.91    | 14.61    | 15.34    | 16.11    |
| <b>Ingreso Total</b>     | 30050.00      | 34076.70 | 38430.95 | 43135.42 | 48214.27 | 53693.17 | 59599.41 |

TABLA 6.9 Análisis de Egresos.

## PERÍODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN INICIAL

Gracias a las herramientas del Excel se estima que se necesitaran un promedio de 7 años para recuperar la inversión inicial, para esto se ha creado un cuadro que muestra la ganancia anual. Tabla 6.10

|                          | período Anual |         |         |         |         |         |         |         |
|--------------------------|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                          | 0             | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       |
| <b>Inversión Inicial</b> | \$ 7,344.76   |         |         |         |         |         |         |         |
| <b>Beneficio</b>         |               | 1200.00 | 1360.80 | 1534.68 | 1722.55 | 1925.36 | 2144.15 | 2380.01 |

TABLA 6.10 Período de recuperación de la Inversión.

### **FLUJO DE CAJA NETO (FCN)**

El FCN nos permite hacer una evaluación de egresos e ingresos, el cual es un indicador financiero que nos permite determinar la rentabilidad del proyecto.

Tabla 6.11

| <b>PERÍODO ANUAL</b> | <b>INGRESOS TOTALES</b> | <b>EGRESOS TOTALES</b> | <b>TOTAL</b> |
|----------------------|-------------------------|------------------------|--------------|
| 0                    |                         | 7344.76                | -7344.76     |
| 1                    | 31250.00                | 30050.00               | 1200.00      |
| 2                    | 35437.50                | 34076.70               | 1360.80      |
| 3                    | 39965.63                | 38430.95               | 1534.68      |
| 4                    | 44857.97                | 43135.42               | 1722.55      |
| 5                    | 50139.63                | 48214.27               | 1925.36      |
| 6                    | 55837.32                | 53693.17               | 2144.15      |
| 7                    | 61979.42                | 59599.41               | 2380.01      |

**TABLA 6.11 Flujo de Caja Neto.**

### **TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)**

El valor de la tasa interna de retorno generalmente es aproximado o mayor al 10%, nuestros cálculos nos han proporcionado una magnitud de 18.11%; es decir que se podrá recuperar la inversión en un periodo menor a la vida útil de cada matriz. Tabla 6.12

| Período Anual | TOTAL    |
|---------------|----------|
| 0             | -7344.76 |
| 1             | 1200.00  |
| 2             | 1360.80  |
| 3             | 1534.68  |
| 4             | 1722.55  |
| 5             | 1925.36  |
| 6             | 2144.15  |
| 7             | 2380.01  |
| <b>TIR</b>    | 12.96%   |

TABLA 6.12 TIR.

### **VALOR ACTUAL NETO (VAN)**

El resultado obtenido ha sido positivo por lo cual se puede decir que la inversión es económicamente beneficiosa. Tabla 6.13

| PERÍODO ANUAL | VAN 16%  |
|---------------|----------|
| 0             | -7344.76 |
| 1             | 1034.48  |
| 2             | 1011.30  |
| 3             | 983.20   |
| 4             | 951.35   |

|       |               |
|-------|---------------|
| 5     | 916.69        |
| 6     | 880.05        |
| 7     | 842.12        |
| TOTAL | \$ 165,029.94 |

TABLA 6.13 VAN.

### **CÁLCULO VALOR COSTO/BENEFICIO**

Finalmente se ha obtenido una última tabla la cual nos indica correctamente cual sería nuestra retribución por cada dólar invertido en este proyecto. Tabla 6.14

| Período Anual | Beneficios Actualizados | Costos Actualizados |
|---------------|-------------------------|---------------------|
| 0             | 0.00                    | 7344.76             |
| 1             | 30940.59                | 29752.48            |
| 2             | 34739.24                | 33405.25            |
| 3             | 38790.24                | 37300.70            |
| 4             | 43107.63                | 41452.29            |
| 5             | 47706.14                | 45874.22            |
| 6             | 52601.28                | 50581.39            |
| 7             | 57809.33                | 55589.45            |
| TOTAL         | 305694.45               | 301300.55           |
| RELACION B/C  | 1.01                    |                     |

TABLA 6.13 Relación costo beneficio.

## CAPÍTULO VII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1 CONCLUSIONES

- Se ha realizado la reingeniería del proceso de fabricación de la bandeja de campaña, utilizando métodos de gerencia y productividad.
- Se realizó la investigación sobre el proceso de trabajo estándar y cómo implementarlo en la línea de producción que se analiza en esta tesis.
- Se diseñó un sistema de trabajo estándar que reducirá cuellos de botella que afecten a la calidad del producto o a la producción del mismo.
- Se rediseñó las matrices de fabricación de la vajilla de campaña.
- Tanto la matriz de embutición como las de corte fueron rediseñadas desde el punto de vista de reingeniería, donde se detectó las fallas y se las corrigió ya que dificultaban el total desempeño de la producción.
- Las especificaciones y dimensiones en los planos facilitaran el entendimiento y la gestión de posibles futuras mejoras.
- La selección del material así como elementos de sujeción se la realizo considerando la disponibilidad de los mismos en el mercado nacional.
- El desarrollo de este documento nos permite tener más conocimientos sobre el proceso de embutición rectangular.
- Para el análisis de la simulación por elementos finitos el modelo tiene que ser idealizado, siendo la experiencia, habilidad y método utilizado en el manejo de estas herramientas factores fundamentales para obtener resultados confiables.
- Para la simulación se deben tener propiedades físicas y parámetros específicos reales, los cuales son difíciles de obtener pero son esenciales para la correcta obtención de resultados.
- La simulación muestra que el límite de tensión para el material no se supera y que la forma de metal se mantendrá en la descarga, con esto se puede

concluir que el uso del punzón y la matriz en una sola etapa es un proceso factible.

- En análisis de resultados se debe tener muy en cuenta los valores del esfuerzo equivalente de tensión es decir no se debe exceder o igualar el valor de 550 Mpa, ya que hacerlo significaría un fallo predicho y esto ocasionaría una mala deformación, desperdicio y pérdida económica.
- En el cálculo de la relación costo/beneficio, se puede observar según lo obtenido que por cada dólar invertido se obtendrá; 0.02 ctvs.

## **7.2 RECOMENDACIONES**

- Se recomienda construir nueva matricería con los diseños desarrollados en este documento, ya que de esta forma se asegura la optimización de la producción, estudiada anteriormente.
- Controlar que los tiempos estándar calculados se cumplan para que el proceso de reingeniería vaya mejorando continuamente.
- Utilizar periódicamente las hojas de control de calidad de procesos para certificar plena revisión en cada método, detectar posibles errores, cuellos de botella y mejorar técnicas de fabricación y organización.
- Estudiar y aplicar el método estándar de trabajo para mejorar otros procesos de producción que posee la E.M. Santa Bárbara, esto con el afán de seguir continuamente mejorando.
- Se recomienda que el software lo maneje un técnico especializado o un ingeniero que tenga conocimiento de esta rama ya que antes de realizar una simulación en el Workbench se debe tener previos conocimientos de diseño e ingeniería, esto con el fin del correcto manejo, obtención y lectura de resultados.
- Es recomendable manejar valores de tensión por debajo de lo calculado esto como un factor de seguridad.

## BIBLIOGRAFÍA

*Curso Básico de Matricería.* (2004). Quito: Imprenta Don Bosco.

*Matrices y Moldes.* (2006). Quito: Don Bosco.

*Slideshare.* (2006). Obtenido de <http://www.slideshare.net>

*Wikipedia.* (2006). Obtenido de <http://es.wikipedia.org/>

*ASCAMM.* (2007). Obtenido de <http://ascammtraining.blogspot.com/2007/10/tolerancias-de-corte.html>

*SJR MACHINERY CO, LTD.* (2007). Obtenido de <http://www.machinerychina.es>

*CEMIOPERU.* (2008). Obtenido de <http://cemioperu.tripod.com/fresadoras.html>

*Conformado Mec.* (2008). Obtenido de <http://conformadomecanicodepiezasdtc.weebly.com/troqueles.html>

*Crystec.* (2008). Obtenido de <http://www.crystec.com/kmiclgs.htm>

*Aqui todo vale.* (2009). Obtenido de <http://aquitodovale.com/fresadora-horizontal-o-plana/>

*La Rectificadora.* (2009). Obtenido de <http://felipo06.blogspot.es/>

*Mecánica 222.* (2009). Obtenido de <http://mecanica222.blogspot.com/2009/09/tipos-de-rectificadoras.html>

*Wikipedia.* (2009). Obtenido de [http://es.wikipedia.org/wiki/Rectificadora#Tipos\\_de\\_rectificadora](http://es.wikipedia.org/wiki/Rectificadora#Tipos_de_rectificadora)

*Scribd.* (2010). Obtenido de <http://es.scribd.com>

*Scribd.* (2010). Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/31789225/Informacion-Tecnologica-Matrices-de-Corte-Definicion-y-Nomenclatura>

*The Fabricator.* (2010). Obtenido de <http://www.thefabricator.com>



- Universidad Tecnológica de Pereira.* (2010). Obtenido de <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2010/10/27/8-procesos-de-conformado-plastico-de-metales/>
- V.M.V MAQUINARIA. (2010). Obtenido de <http://www.vmvmaquinaria.cl>
- Kalipedia.* (2012). Obtenido de <http://www.kalipedia.com>
- Mecánica Unipaz.* (2012). Obtenido de <http://tornosmecanicaunipaz.blogspot.com>
- Blanco, J.;. (98). *Profundos conocimientos de matricería.* Barcelona: EMEGE.
- CEEI Comunidad Valenciana. (2010). *Manual de Reingeniería de Procesos.* Valencia: Debase S.L.
- Colegio Técnico Don Bosco. (1999). *Maquinas Herramientas.* Quito: Imprenta Don Bosco.
- DE KONINCK, J.; GUTTER, D. (1968). *Manual del Técnico Matricero.* Jose Monteso.
- Fundación ASCAMM/Centre Tecnologic. (2009). *Teoría de la Embutición.* Mexico.
- Gerling, Heinrich. (1986). *Alrededor de las Máquinas Herramientas* (3ra ed.). Barcelona: Reverte.
- Pollaw, Herman W.;. (1988). *Máquinas Herramientas y Manejo de Materiales.* Barcelona.
- Rossi, Mario;. (1979). *Estampado en frío de la chapa.* Madrid: Dossat S.A.
- Salvador, M. (2010). *Tecno.* Obtenido de <http://matildesalvadortecno.wikispaces.com>
- Valenciano, Antonio. (1968). *Matricería.* Madrid: Noriega.



## **ANEXOS**