

ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO

CARRERA DE INGENIERIA MECANICA

TITULO DEL PROYECTO

**“VERIFICACION DE LA ECUACION DE VARIACION GEOMETRICA
EN ALEACIONES DE ALUMINIO EN RECIPIENTES CILINDRICOS DE
PARED DELGADA”**

REALIZADO POR:

PABLO SANTIAGO ARMAS VASQUEZ

SANTIAGO JAVIER URVINA DOMINGUEZ

DIRECTOR: ING. JOSE GUASUMBA

CODIRECTOR: ING. PABLO FIGUEROA

Sangolquí, 5 de Diciembre del 2006

CERTIFICACION DE LA ELABORACION DEL PROYECTO

El proyecto “ VERIFICACION DE LA ECUACION DE VARIACION GEOMETRICA EN ALEACIONES DE ALUMINIO EN RECIPIENTES CILINDRICOS DE PARED DELGADA ” fue realizado en su totalidad por los señores Pablo Santiago Armas Vásquez y Santiago Javier Urvina Domínguez, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

**Ing. José Guasumba
DIRECTOR**

**Ing. Pablo Figueroa
CODIRECTOR**

Sangolquí, 2006-12-05

LEGALIZACION DEL PROYECTO

**“VERIFICACION DE LA ECUACION DE VARIACION GEOMETRICA EN
ALEACIONES DE ALUMINIO EN RECIPIENTES CILINDRICOS DE PARED
DELGADA”.**

ELABORADO POR:

Sr. Pablo Santiago Armas Vásquez

Sr. Santiago Javier Urvina Dominguez

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

EL COORDINADOR

Sangolquí, 2006-12-05

DEDICATORIA

Este proyecto lo dedico primeramente a Dios y a la Santísima Virgen del Cisne, por darme sabiduría y fortaleza en todo momento para saber salir adelante en cualquier circunstancia.

A mis Padres Carlos y Lucila por brindarme sus cuidados, amor y confianza y ser tan maravillosos porque desde pequeño crearon en mi una personalidad objetiva y luchadora por conseguir mis sueños e ideales en base de valores de esfuerzo, honestidad y perseverancia.

También lo dedico a mi hermano Marco que a través de sus acciones diarias se convirtió en una persona que admiro y en un ejemplo a seguir.

A Gladys que es una persona muy especial en mi vida que supo apoyarme en todo sentido y siempre esta ahí cuando lo necesito.

Y finalmente lo dedicado a las personas que luchan día a día y trabajan duro por lograr conseguir un mejor futuro de Nuestro Ecuador.

Santiago Javier SJ06...

AGRADECIMIENTO

Al terminar hoy este proyecto le agradezco a Dios y a la Virgen del Cisne por darme salud y vida para cumplir uno más de mis sueños ante toda adversidad.

Gracias A mis padres Carlos y Lucila por su trabajo y sacrificio diario para que nunca me falte nada, gracias porque supieron comprenderme, apoyarme en todo momento con sus palabras de aliento y guiarme por los senderos del honor y la verdad.

Gracias a Marco por su apoyo incondicional y por ser un ejemplo de ser humano en todo sentido para mi.

Gracias a Gladys por enseñarme a valorar a las personas y que existe un mañana y una razón del porque luchar diariamente, que en la vida lo importante es saber salir adelante por mas difícil que sea la situación. T.A.M.

Gracias a mis amigos y compañeros por estar junto a mi y compartir juntos momentos de alegrías y tristezas a lo largo de mi existencia. En especial a Pablo mi compañero de Tesis.

Gracias a todas las personas cercanas que supieron apoyarme y ayudarme cuando lo necesite.

Gracias a mí querida ESPE y a los profesores de mi Carrera en especial al Ing. José Guasumba y Pablo Figueroa Director y Codirector de este proyecto por su valiosa ayuda y comprensión para desarrollo del mismo.

GRACIAS A TODOS

Santiago Javier SJ06...

DEDICATORIA

Al concluir mis estudios universitarios quiero dedicar el presente trabajo que fue realizado con todo mi esfuerzo y sacrificio a mi familia, parte fundamental en mi desarrollo como hijo, como hermano, como hombre y ahora como profesional, pero especialmente a mis padres Magdalena y Jorge quienes con su amor, dedicación, respeto y apoyo incondicional, han sabido guiarme y apoyarme en todos y cada uno de los proyectos de vida que aparecen en mi camino.

A mis hermanos Jorge Marcelo y Diego, por el respeto, comprensión y por el amor sincero que nos profesamos; espero este sea un ejemplo de superación para que ustedes con el arresto que realizan día a día logren escalar un peldaño más en su vida cotidiana y profesional, sintiéndose orgullosos de si mismos por lo efectuado.

A mis viejos Inés y Nicanor, por el amor inigualable y las enseñanzas de vida de las que he podido aprender para poder ser un hombre de buenos sentimientos, sincero y justo.

Y muy especialmente a la memoria de mi abuelito, Luis Ernesto Rojas Santana, al padre, al amigo incondicional, quien con su amor, humildad y afecto sincero, supo inculcar en mi sus enseñanzas, como fiel reflejo de aquel hombre que con bondad, trabajo, sacrificio y entrega diaria, tendrá el reconocimiento de quienes más lo queremos y admiramos. Que Dios le tenga en la gloria, porque nosotros sus hijos lo tendremos en nuestro corazón y en nuestra mente recordándolo eternamente.

Pablo Santiago PSAV-06

AGRADECIMIENTO

Mis agradecimientos, primero a Dios y a Mama Nati, por darme la salud y la Vida, para afrontar los retos que me he impuesto, con sabiduría y perseverancia a lo largo de mi corta existencia.

A mi familia, que son la fuerza e impulso emocional y anímico, que me motiva y permite defender mis ideales y alcanzar mis metas, con responsabilidad, para forjarme como un hombre de bien. Gracias por enseñarme a volar.

A Janet, mi amiga, mi novia, con quien a lo largo de este año he compartido el desarrollo de este proyecto; gracias por su ayuda incondicional, pero especialmente por su afecto y cariño verdadero. T.A.M.

A mis amigos quienes me han brindado su apoyo, su tiempo para escucharme, y aconsejarme, además de extenderme la mano en los pasajes buenos y malos de mi vida.

A la Escuela Politécnica del Ejército especialmente a la Carrera de Ingeniería Mecánica, a su personal docente y administrativo, por acogerme en su seno y brindarme una educación de excelencia y liderazgo.

A mi Director y Codirector de tesis por su apoyo y conocimientos impartidos, necesarios para culminar este proyecto.

Y por último mi agradecimiento sincero a Santiago mi compañero y amigo, con quien hemos compartido pasajes de nuestra vida durante este largo tiempo, por tu confianza, comprensión y apoyo brindado en la consecución de este nuestro sueño. Gracias colega.

Pablo Santiago PSAV-06

INDICE DE CONTENIDOS

1. DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO.....	24
1.1 ANTECEDENTES	24
1.2 DEFINICION DEL PROBLEMA.....	25
1.3 OBJETIVOS	26
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	26
1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	27
1.4 ALCANCE	27
1.5 JUSTIFICACION E IMPORTANCIA.....	28
2. PROCESOS DE CONFORMADO DE CHAPA METALICA PARA EMBUTICION PROFUNDA.....	29
2.1 CHAPA METALICA	29
2.1.1 CARACTERISTICAS	29
2.1.2 PROPIEDADES MECANICAS	31
2.2 CORTE POR CIZALLAMIENTO	36
2.2.1 PRINCIPIO DE OPERACION	37
2.2.2 TIPOS DE CORTE	40
2.2.3 HUELGO ENTRE PUNZON Y CASQUILLO	41
2.2.4 FUERZA DE CORTE.....	46
2.2.5 DISPOSICION DE FIGURAS	48
2.2.6 PARTES DE UNA MATRIZ DE CORTE	50
2.3 PROCESO DE EMBUTICION	54
2.3.1 TIPOS DE EMBUTICION	55
2.3.2 PARTES CONSTITUTIVAS Y CARACTERISTICAS.....	57
2.3.3 HUELGO EN EL PROCESO DE EMBUTICION	58
2.3.4 LUBRICACION EN LA EMBUTICION	59
2.3.5 METODOS DE CALCULO DEL DIAMETRO DE DISCO.....	61
2.3.6 FUERZA DE EMBUTICION.....	70
2.3.7 EMBUTICION DE PIEZAS DE ESPESOR VARIABLE (ESTIRAJE) .	72
2.3.8 EMBUTICION EN VARIAS FASES	74
2.3.9 DEFECTOS EN EL PROCESO DE EMBUTICION	76
3. MATERIALES DUCTILES	84
3.1 INTRODUCCION	84
3.2 TIPOS DE ALEACIONES.....	85
3.2.1 EL COBRE Y SUS ALEACIONES	86
3.2.2 EL BRONCE Y SUS ALEACIONES	86
3.2.3 EL LATON Y SUS ALEACIONES.....	87
3.2.4 EL CINC Y SUS ALEACIONES.....	88
3.2.5 EL NIQUEL Y SUS ALEACIONES	88
3.2.6 EL ALUMINIO Y SUS ALEACIONES	89
3.2.7 EL TITANIO Y SUS ALEACIONES	92
3.3 INFLUENCIA DE LOS MATERIALES EN LA EMBUTICION	92
3.4 PROCESOS DE CONFORMADO MECANICO	92
3.4.1 LAMINADO.....	93
3.4.2 FORJA.....	93

3.4.3	RECALCADO	94
3.4.4	EXTRUSION.....	94
3.4.5	TREFILADO O ESTIRADO DE ALAMBRE	95
3.5	EFFECTOS PRODUCIDOS POR LAS FUERZAS EXTERNAS E INTERNAS.	95
3.5.1	EFFECTOS DE UNA FUERZA EXTERNA.....	95
3.5.2	EFFECTOS INTERNOS DE LAS FUERZAS A TENSION Y COMPRESION	96
4.	VALORACION EXPERIMENTAL DE LA ECUACION DE VARIACION GEOMETRICA	97
4.1	ASPECTOS BASICOS.....	97
4.2	DEDUCCION Y VARIABLES DE LA ECUACION DE VARIACION GEOMETRICA EVG	98
4.2.1	AREA DE REVOLUCION GENERADA POR EL RADIO DE EMBUTICION	100
4.2.1.1	RADIO DE LA FIBRA NEUTRA.....	101
4.2.1.2	LONGITUD DE LA GENERATRIZ.....	102
4.2.2	AREA DEL DIAMETRO DE FONDO d_f	102
4.2.3	AREA DE LA PARED CILINDRICA, h_c	103
4.3	COMPROBACION	103
5.	CALCULO Y DISEÑO DE LA MATRIZ DE CORTE.....	105
5.1	SELECCION DE MATERIALES.....	105
5.1.1	ELEMENTOS DE MATRIZ DE CORTE.....	106
5.2	PARAMETROS DE DISEÑO	108
5.2.1	FUERZA DE CORTE.....	109
5.2.2	DISEÑO DE LA TIRA DE CORTE	109
5.2.3	HUELGO DE CORTE	110
5.2.4	DISEÑO DE LA MATRIZ DE CORTE.....	111
5.2.4.1	MACHO PORTA PUNZONES	111
5.2.4.2	PLACA DE FRENO	111
5.2.4.3	PLACA PORTA PUNZONES Y PLACA MATRIZ	111
5.2.4.4	PUNZONES.....	114
5.2.4.5	PLACA DE GUIA DE LOS PUNZONES Y GUIA DE MATERIAL	114
5.2.4.6	CASQUILLOS DE CORTE	115
5.2.4.7	ARMAZON.....	115
5.2.4.8	COLUMNAS Y BUJES	115
5.2.4.9	PASADORES DE GUIA.....	116
5.3	TOLERANCIAS Y AJUSTES	116
5.3.1	TOLERANCIA.....	116
5.3.2	AJUSTES	116
5.4	RESTRICCIONES.....	118
5.4.1	CONSTRUCCION DE LA MATRIZ.....	118
5.4.1.1	MACHO PORTA PUNZONES	118
5.4.1.2	PLACA DE FRENO DE LOS PUNZONES	118
5.4.1.3	PLACA PORTA PUNZONES Y PLACA MATRIZ	118

5.4.1.4. PLACA DE GUIA DE LOS PUNZONES Y GUIA DE MATERIAL	119
5.4.1.5. ARMAZON.....	119
5.4.1.6. COLUMNAS Y BUJES	119
5.4.2 PUNZON Y CASQUILLO DE CORTE	120
5.4.2.1. PUNZONES.....	120
5.4.2.2. CASQUILLOS DE CORTE	120
5.5 PROCESOS DE MANUFACTURA	121
5.5.1 DIAGRAMAS DE PROCESOS.....	123
5.5.2 CONSTRUCCION	124
5.6 ENSAMBLAJE	125
5.6.1 CALIBRACION Y PUESTA A PUNTO.....	125
6. CALCULO Y DISEÑO DE LA MATRIZ DE EMBUTICION.....	126
6.1 SELECCION DE MATERIALES.....	126
6.1.1 ELEMENTOS DE MATRIZ DE EMBUTICION.....	126
6.2 PARAMETROS DE DISEÑO	127
6.2.1 EMBUTICION LIBRE.....	127
6.2.2 ESPESOR DE EMBUTICION.....	128
6.2.3 DISEÑO DE LA MATRIZ DE EMBUTICION.....	128
6.2.3.1. CASQUILLO DE EMBUTICION.....	128
6.2.3.2. PUNZON DE EMBUTICION	128
6.2.3.3. HUELGO DE EMBUTICION	129
6.2.3.4. LUBRICACION	129
6.2.3.5. FUERZA DE EMBUTICION.....	130
6.2.3.6. EMBUTICION EN VARIAS FASES	130
6.3 TOLERANCIAS Y AJUSTES	131
6.3.1 TOLERANCIAS	131
6.3.2 AJUSTES	131
6.4 RESTRICCIONES.....	133
6.4.1 CONSTRUCCION DE LA MATRIZ.....	133
6.4.2 PUNZON Y CASQUILLO DE EMBUTICION	134
6.5 PROCESOS DE MANUFACTURA	137
6.5.1 DIAGRAMAS DE PROCESOS.....	139
6.5.2 CONSTRUCCION	139
6.6 ENSAMBLAJE	140
6.6.1 CALIBRACION Y PUESTA A PUNTO.....	140
7. PRUEBAS DE EMBUTICION Y ANALISIS DE RESULTADOS	141
7.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	141
7.1.1 ALTURA DE LA SUPERFICIE CILINDRICA	143
7.1.1.1 ECUACION DE VARIACION GEOMETRICA (EVG).....	144
7.1.1.2 CARTA DE CONTROL.....	149
7.1.1.3 ECUACION NORMALIZADA 2 (EN2):.....	151
7.1.1.4 CARTA DE CONTROL	153
7.1.1.5 ERROR PORCENTUAL ENTRE ESPECIFICACIONES - EVG – EN2	155
7.1.2 DIAMETRO DE FONDO.....	156

7.1.2.1	ECUACION DE VARIACION GEOMETRICA (EVG):	157
7.1.2.2	CARTA DE CONTROL	160
7.1.2.3	ECUACION NORMALIZADA 2 (EN2):.....	163
7.1.2.4	CARTA DE CONTROL	166
7.1.2.5	ERROR PORCENTUAL ENTRE EVG-EN2-ESPECIFICACION	169
7.1.3	RADIO DE LA FIBRA NEUTRA.....	170
7.1.3.1	ECUACION DE VARIACIÓN GEOMÉTRICA (EVG):	170
7.1.3.2	CARTA DE CONTROL	173
7.1.3.3	ECUACION NORMALIZADA 2 (EN2):.....	176
7.1.3.4	CARTA DE CONTROL	180
7.1.3.5	ERROR PORCENTUAL ENTRE EVG-EN2-ESPECIFICACION	182
7.1.4	DIAMETRO DE RECORTE	183
7.1.4.1	ECUACION DE VARIACION GEOMETRICA (EVG).	184
7.1.4.2	CARTA DE CONTROL	188
7.1.4.3	ECUACION NORMALIZADA 2 (EN2):.....	190
7.1.4.4	CARTA DE CONTROL	193
7.1.4.5	ERROR PORCENTUAL ENTRE EVG-ESP1 Y EN2-ESP2.....	196
7.2	DEFECTOS INHERENTES AL PROCESO	197
8.	ANALISIS ECONOMICO- FINANCIERO.....	197
8.1	DETERMINACION DE COSTOS	197
8.1.1	COSTOS DE FABRICACION	198
8.1.2	COSTOS DE PRODUCCION	199
8.2	DETERMINACION DE PARAMETROS ECONOMICO FINANCIEROS ...	200
8.3	TECNICAS DE ANALISIS COSTO-EFECTIVIDAD DEL PROCESO PRODUCTIVO.....	201
8.3.1	METODO DE COSTO MINIMO	202
8.4	COMPARACION DE LAS ALTERNATIVAS DE SIMULACION PARA PRODUCCION EN SERIE	203
8.4.1	ALTERNATIVA 1	204
8.4.2	ALTERNATIVA 2	205
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	208
9.1	CONCLUSIONES	208
9.2	RECOMENDACIONES	213
	BIBLIOGRAFIA	214
	ANEXOS	215

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Curva Esfuerzo Vs. Deformación.....	31
Figura 2.2	Acercamiento del material y sujeción.....	37
Figura 2.3	Etapa de deformación.....	37
Figura 2.4	Etapa de Indentación.....	38
Figura 2.5	Etapa de Fractura.....	38
Figura 2.6	Bordes Cizallados característicos del material de trabajo.....	39
Figura 2.7	Huelgo entre punzón y dado.....	41
Figura 2.8	Contorno del material cizallado.....	43
Figura 2.9	Contorno cizallado con Huelgo Insuficiente.....	44
Figura 2.10	Contorno cizallado con Huelgo Excesivo.....	45
Figura 2.11	Disposición de figuras para el aprovechamiento de material	48
Figura 2.12	Disposición diagonal de las piezas sobre la cinta del material.....	49
Figura 2.13	Gráfico para determinar la separación mínima entre 2 piezas para un material de espesor t	49
Figura 2.14	Matriz típica de punzonar.....	50
Figura 2.15	Proceso de Embutición de piezas cilíndricas huecas.....	53
Figura 2.16	Embutición Libre.....	55
Figura 2.17	Embutición con pisador.....	55
Figura 2.18	Diagrama de Fuerzas de Embutición según Siebel y Oehler.....	70
Figura 2.19	Determinación del diámetro y espesor requeridos para una embutición por estirado.....	72
Figura 2.20	Secuencia de operaciones necesarias para la construcción de piezas según la relación de la profundidad de embutición con el diámetro.....	74
Figura 3.1	Laminado.....	92
Figura 3.2	Forja.....	93
Figura 3.3	Extrusión, obtención de tubos.....	94
Figura 4.1	Recipiente Cilíndrico con Dos Superficies.....	98
Figura 4.2	Recipiente Cilíndrico con Tres Superficies.....	99

Figura 4.3	Posición de re, Xg y rf en el Recipiente cilíndrico de Tres Superficies.....	100
Figura 5.1	Dimensiones Normalizadas para Matrices Pequeñas.....	112
Figura 5.2	Torno mecánico del Laboratorio de Máquinas Herramientas de la CIME.....	121
Figura 5.3	Fresadora vertical del Laboratorio de Máquinas Herramientas de la CIME.....	122
Figura 5.4	Rectificadora de superficies planas del Laboratorio de Máquinas Herramientas de la CIME.....	123
Figura 5.5	Simbología ASME.....	124
Figura 6.1	Variación del Angulo de Inclinación y efectos producidos en el Casquillo de Embutición.....	136
Figura 7.1	Distribución de Fibras de Material en el Proceso de Corte.....	142
Figura 7.2	Carta de control (\bar{X}) de hcm aplicando la EVG.....	148
Figura 7.3	Carta de control (R) de hcm aplicando la EVG.....	149
Figura 7.4	Carta de control (\bar{X}) de hcm aplicando la EN2.....	152
Figura 7.5	Carta de control (R) de hcm aplicando la EN2.....	153
Figura 7.6	Error % entre la EVG y la especificación del hcm.....	154
Figura 7.7	Error % entre la EVG y la especificación del hcm.....	155
Figura 7.8	Carta de control (\bar{X}) de df aplicando la EVG.....	160
Figura 7.9	Carta de control (R) de df aplicando la EVG.....	161
Figura 7.10	Carta de control (\bar{X}) de df aplicando la EN2.....	166
Figura 7.11	Carta de control (R) de df aplicando la EN2.....	167
Figura 7.12	Error % entre la EVG -EN2 y la especificación del df.....	168
Figura 7.13	Carta de control (\bar{X}) de rf aplicando la EVG.....	173
Figura 7.14	Carta de control (R) de rf aplicando la EVG.....	174
Figura 7.15	Carta de control (\bar{X}) de rf aplicando la EN2.....	179
Figura 7.16	Carta de control (R) de rf aplicando la EN2.....	180

Figura 7.17	Error % entre la EVG- EN2 y la especificación del rf.....	181
Figura 7.18	Carta de control (\bar{X}) de D aplicando la EVG.....	187
Figura 7.19	Carta de control (R) de D aplicando la EVG.....	188
Figura 7.20	Carta de control (\bar{X}) de D aplicando la EN2.....	193
Figura 7.21	Carta de control (R) de D aplicando la EN2.....	194
Figura 7.22	Error % entre la EVG, y la especificación del Diámetro de Recorte.....	195
Figura 7.23	Error % entre la EN2 y la especificación del Diámetro de Recorte.....	196

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Escalas Rockwell.....	35
Tabla 2.2	Huelgo Estándar de Punzonado.....	41
Tabla 2.3	Tabla de resistencia de corte de algunos materiales.....	46
Tabla 2.4	Partes constitutivas de una matriz típica de punzonar.....	50
Tabla 2.5	Relación de Gradación β_{100} (a) para algunos materiales.....	57-58
Tabla 2.6	Lubricantes a usar en la embutición, en relación al material a deformar.....	59
Tabla 2.7	Siglas de Referencia correspondiente a los principales lubricantes.....	60
Tabla 2.8	Elementos de superficie para el cálculo del recorte.....	61-64
Tabla 2.9	Diámetro D1 de los discos de chapa necesarios para obtener diversas formas y recipientes.....	65-68
Tabla 2.10	Defectos de Embutición.....	79-83
Tabla 3.1	Metales No Ferrosos.....	85
Tabla 3.2	Propiedades Mecánicas del A1100.....	91
Tabla 4.1	Ecuaciones Aplicadas en la Comprobación de la Ecuación de Variación Geométrica.....	103
Tabla 5.1	Materiales de los Elementos de la Matriz de Corte.....	105 - 107
Tabla 5.2	Espesor de la placa Matriz.....	111
Tabla 5.3	Dimensiones Normalizadas para Matrices Pequeñas.....	112
Tabla 5.4	Tabla de Tolerancias y Ajustes.....	117
Tabla 6.1	Materiales de los Elementos de la Matriz de Embutición.....	126
Tabla 6.2	Características Físico-químicas Aceite SAE 80 RTL.....	129
Tabla 6.3	Tabla de tolerancias y ajustes.....	132
Tabla 6.4	Diámetros de Discos utilizados en el Proceso de Embutición.....	135

Tabla 6.5	Operaciones Básicas del Torneado.....	138
Tabla 7.1	Características de los cilindros embutidos.....	141
Tabla 7.2	Altura de la superficie cilíndrica medida (hcm) Utilizando Lubricante.....	143 144
Tabla 7.3	Altura de la superficie cilíndrica medida (hcm) a Compresión.....	144 145
Tabla 7.4	Altura de la superficie cilíndrica medida (hcm) a Tracción....	146
Tabla 7.5	Altura de la superficie cilíndrica medida (hcm) Sin Lubricante.....	147
Tabla 7.6	Características de la Carta (\bar{X}).....	148
Tabla 7.7	Características de la CARTA (R).....	149
Tabla 7.8	Altura de la superficie cilíndrica medida (hcm) Utilizando Lubricante.....	150
Tabla 7.9	Altura de la superficie cilíndrica medida (hcm) a Compresión.....	150
Tabla 7.10	Altura de la superficie cilíndrica medida (hcm) a Tracción...	151
Tabla 7.11	Altura de la superficie cilíndrica medida (hcm) Sin Lubricante.....	151
Tabla 7.12	Características de la Carta (\bar{X}).....	152
Tabla 7.13	Características de la carta de control (R).....	153
Tabla 7.14	Cálculo de Error Porcentual.....	154
Tabla 7.15	Diámetro de Fondo (df) Utilizando Lubricante.....	156
Tabla 7.16	Diámetro de Fondo (df) a Compresión.....	157
Tabla 7.17	Diámetro de Fondo (df) a Tracción.....	158
Tabla 7.18	Diámetro de Fondo (df) Sin Lubricante.....	159
Tabla 7.19	Características de la carta de control (\bar{X}).....	160
Tabla 7.20	Características de la carta de control (R).....	161
Tabla 7.21	Diámetro de Fondo (df) Utilizando Lubricante.....	162
Tabla 7.22	Diámetro de Fondo (df) a Compresión.....	163
Tabla 7.23	Diámetro de Fondo (df) a Tracción.....	164
Tabla 7.24	Diámetro de Fondo (df) Sin Lubricante.....	165

Tabla 7.25	Características de la carta de control (\bar{X}).....	166
Tabla 7.26	Características de la carta de control (R).....	167
Tabla 7.27	Cálculo de Error %.....	168
Tabla 7.28	Radio de la Fibra Neutra (rf) Utilizando Lubricante.....	169
Tabla 7.29	Radio de la Fibra Neutra (rf) a Compresión.....	170
Tabla 7.30	Radio de la Fibra Neutra (rf) a Tracción.....	171
Tabla 7.31	Radio de la Fibra Neutra (rf) Sin Lubricante.....	172
Tabla 7.32	Características de la carta de control (\bar{X}).....	173
Tabla 7.33	Características de la carta de control (R)	174
Tabla 7.34	Radio de la Fibra Neutra (rf) Utilizando Lubricante	175
Tabla 7.35	Radio de la Fibra Neutra (rf) a Compresión.....	176
Tabla 7.36	Radio de la Fibra Neutra (rf) a Tracción.....	177
Tabla 7.37	Radio de la Fibra Neutra (rf) Sin Lubricante.....	178
Tabla 7.38	Características de la carta de control (\bar{X}).....	179
Tabla 7.39	Características de la carta de control (R).....	180
Tabla 7.40	Cálculo de Error %.....	181
Tabla 7.41	Diámetro de Recorte (D) Utilizando Lubricante.....	183
Tabla 7.42	Diámetro de Recorte (D) a Compresión.....	184
Tabla 7.43	Diámetro de Recorte (D) a Tracción.....	185
Tabla 7.44	Diámetro de Recorte (D) Sin Lubricante.....	186
Tabla 7.45	Características de la carta de control (\bar{X}).....	187
Tabla 7.46	Características de la carta de control (R).....	188
Tabla 7.47	Diámetro de Recorte (D) Utilizando Lubricante.....	189
Tabla 7.48	Diámetro de Recorte (D) a Compresión.....	190
Tabla 7.49	Diámetro de Recorte (D) a Tracción.....	191
Tabla 7.50	Diámetro de Recorte (D) Sin Lubricante.....	192
Tabla 7.51	Características de la carta de control (\bar{X}).....	193
Tabla 7.52	Características de la carta de control (R).....	194
Tabla 7.53	Cálculo de Error %.....	195

Tabla 8.1	Costos de Fabricación (Materiales para Construcción de la Matriz de Corte y Embutición).....	198
Tabla 8.2	Costos de mano de obra directa.....	198
Tabla 8.3	Costos de Producción.....	199
Tabla 8.4	Gastos de Fabricación.....	199
Tabla 8.5	Gastos de Administración.....	200
Tabla 8.6	Costo Total del Proyecto.....	201
Tabla 8.7	Indices Aplicables en el Proyecto.....	202
Tabla 8.8	Costos de Producción - Alternativa 1.....	204
Tabla 8.9	Costos de Alternativa 1.....	204
Tabla 8.10	Cálculo del V.A.C. - Alternativa 1.....	205
Tabla 8.11	Costos de Producción - Alternativa 2.....	205
Tabla 8.12	Costos de Alternativa 2.....	205
Tabla 8.13	Cálculo del V.A.C. - Alternativa 2.....	206
Tabla 8.14	Diferencias entre Alternativas.....	206

NOMENCLATURA

EVG	Ecuación de Variación Geométrica
EN	Ecuación Normalizada
E	Módulo de elasticidad o modulo de Young
σ	Esfuerzo normal (N, lb)
ε	Deformación (mm^2 , pulg^2)
A_F	Area final
A_0	Area inicial
J_{std}	Huelgo total (mm)
t	Espesor del material o chapa metálica, Pulg (mm.)
F_C	Fuerza de Corte
S_{su}	Resistencia al cizallamiento del material, Lb./Pulg ² (MPa)
L	Longitud del borde de corte, Pulg. (mm)
S_u	Resistencia última a la Tracción Lb./Pulg ² (MPa)
F_e	Fuerza de Extracción
F_{ex}	Fuerza de Expulsión
T	Trabajo de corte (Kgf*mm.)
F_t	Fuerza Total de corte espesor de (mm.)
S	Separación mínima entre dos piezas
d_p	Diámetro del punzón de embutición
D	Diámetro del recorte
β_{100}	Relación de gradación
R_m	Radio de redondeado de las aristas del casquillo de embutición
U_{z1}	Huelgo en la Embutición para Chapa de acero
U_{z2}	Huelgo en la Embutición para Aluminio blando
U_{z3}	Huelgo Para materiales no ferreos
U_{z4}	Huelgo para Aleaciones resistentes a altas temperaturas
a	Coeficiente a
P_z	Fuerza de Embutición
k_{fm}	Resistencia media al cambio de forma (Kg./mm^2)
β	Relación de embutición ($\beta = \frac{D}{d}$).

d	Diámetro exterior del recipiente estirado o Diámetro a realizar
d1	Diámetro interior del recipiente estirado
h	altura del recipiente o de embutición
p	Presión necesaria para el estirado
d2	Diámetro del recipiente después de estirado
S_s	Espesor de la pared estirada
K_s	Presión específica depende: material, resistencia y cantidad de estirado.
n	Número de operaciones para obtener un recipiente por embutición varias fases
m	Número del diámetro, $m = \frac{h}{d}$
d _m	Diámetro medio del recipiente;
α	Factor alfa, 1/2 piezas pequeñas; 1/3 piezas de grandes dimensiones
r	Radio externo del anillo de la base del cilindro
r _e	Radio de embutición
A _s	Area de la superficie de revolución generada por el r _e
x_g	Distancia del eje de rotación al centro de gravedad de la generatriz
l	Longitud de la generatriz considerando el radio de la fibra neutra
r _f	Radio de la fibra neutra
d _f	Diámetro de fondo
h _c	Altura del cilindro o pared cilíndrica
A _c	Area de la pared Cilíndrica
h _{min}	Altura mínima
t _{ps}	Espesor de la pared superior,
t _{pi}	Espesor de la pared inferior
t _p	Espesor promedio entre t _{ps} y t _{pi}
h _{cm}	Altura de la superficie cilíndrica medida
L _{CI}	Límite de Control Inferior,
L _{CS}	Límite de Control Superior
\bar{X}	Valor Promedio de Muestras
R	Rango
VAC	Valor Actual de Costos
C _i	Costos del proyecto en el lapso de tiempo requerido i=1
r	Tasa de descuento

RESUMEN

El avance tecnológico industrial que registran los tiempos modernos, además de la actualización de procesos y requerimientos que la sociedad exige, compromete el estudio de nuevas aplicaciones y mejoras en el campo de la Ingeniería de procesos de conformado mecánico, enfocando estos aspectos al cuidado del medio ambiente, disminuyendo el impacto generado por el aumento de contaminantes sólidos industriales utilizados en el reprocesamiento de la materia prima.

Por esta razón luego de realizar este estudio, enfocado al proceso de embutición de recipientes cilíndricos de pared delgada aplicando en ellos una expresión matemática de equivalencia de superficies y el teorema de Guldin (EVG), para el cálculo del diámetro de recorte, que comparada con ecuaciones tradicionales (EN), puede ser ventajosa debido a que esta determina la importancia que tiene el considerar que el cilindro a embutir está conformado por tres superficies: la primera una superficie plana como es el diámetro de fondo del recipiente, la segunda una superficie curva correspondiente a la pared cilíndrica, y finalmente una superficie de revolución conformada por la posición de la fibra neutra más un radio de embutición.

Para la verificación de los resultados que produce esta consideración se diseñó y construyó una matriz de elementos intercambiables con propiedades mecánicas acordes a los requerimientos de nuestra investigación para la realización de operaciones de corte y posteriormente de embutición de cilindros de Aluminio AA1100 con excelentes propiedades de ductilidad.

La exactitud de medidas como también la atención a acabados superficiales sumados a la adecuada utilización de tolerancias y ajustes permitieron el correcto funcionamiento de la matriz que permitió realizar pequeños lotes de cilindros de pruebas aplicando en ellos los criterios ya mencionados anteriormente.

Adicionalmente para la embutición de estos cilindros se considero la influencia que presenta la realización de esta operación en seco y utilizando un lubricante como el aceite SAE 10W30, además la influencia que producen las fibras del material sometidas a tracción y a compresión involucradas en el proceso de embutición.

Parte fundamental de toda investigación es la correcta manipulación y análisis de los resultados obtenidos, para lo cual se realizaron mediciones de espesores, alturas, diámetros de embutido y radios de embutición mediante instrumentos de metrología avanzada como son: calibradores y micrómetros cuyas precisiones son de 0.001 mm. Posteriormente se elaboraron cartas de control $\left(\bar{X} - R \right)$ mediante las cuales se puede determinar la relación existente entre los datos a fin de hallar posibles causas que degeneran las dispersiones traducidas en el exceso del material que produce el sobredimensionamiento en relación a las características requeridas.

Luego de esta investigación se pudo determinar que la EVG presenta un menor porcentaje de exceso de material de alrededor del 1.67%, en relación al presentado por la EN que muestra un exceso superior al anterior y cuyo valor es del 5.8%.

El análisis económico del estudio que por tratarse de un proyecto de investigación, incluye únicamente los valores involucrados en la fabricación de la matriz y la realización de los procesos de corte y embutición de 200 cilindros, determinando los valores que intervienen en dicho análisis, siendo estos: costos de fabricación que incluyen costos de mano directa, también costos de producción que contienen, gastos de fabricación y de administración. De esta forma se llega a establecer que el costo global del proyecto es de USD 1587.59 dólares.

Pero para enfocar de forma más aplicable nuestro estudio y mejorar la interpretación de estos resultados se considero el aplicar estos mismos costos en una simulación de producción en serie de un lote de 10250 piezas.

Procediendo a comparar en función de la disposición de discos de corte en la lamina de aluminio, asumiendo que en el caso de la alternativa 1 usando el diámetro de disco $D= 28.a$ mm, la distribución permite obtener los 10250 discos requeridos para embutirlos. En cambio al realizar similar acción con la alternativa 2 y el disco de corte de $D= 29.5$ mm., se obtiene similar cantidad de discos pero aumenta la cantidad de láminas a 5, dando la pauta para concluir que el procedimiento de corte y embutido efectuado permite obtener un ahorro basado en el consumo de material, además de un leve aumento de lubricante para ejecutar la embutición y un alza mínima a considerar en el costo de tiempo de uso de la maquinaria necesaria para la realización de cada proceso productivo. Siendo la alternativa más conveniente la número 1, que refleja una variación entre costos de USD. 124.13 dólares y un índice V.A.C. entre alternativas de 10.71, lo que indica el ahorro de recursos y la mejora del proyecto.

Por consiguiente la aplicabilidad del proyecto es factible, pero para embutición de discos de corte de diámetros pequeños.

CAPITULO 1

1. DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO

1.1 ANTECEDENTES

Los procesos de manufactura actuales dedicados a operaciones como estiraje, repujado y embutición demandan grandes costos de procesamiento de materia prima, así como también un excesivo uso de material lo cual ocasiona una significativa disminución de las reservas minerales disponibles en el mundo.

Además, hay que recalcar que los desperdicios que se producen antes de obtener el recipiente deseado a través de los procesos ya mencionados, producen grandes problemas de contaminación ambiental, debido a que necesitan ser reprocesados para obtener una nueva materia prima pero de distintas propiedades mecánicas en relación al componente base.

Estos procesos de matriceria mediante el uso de prensas que proporcionan la fuerza y presión necesaria para generar una deformación de la chapa metálica sobre matrices y moldes producen utensilios los cuales actualmente satisfacen la necesidad socio económica de nuestra gente.

Parte primordial del proceso de embutición y estiraje es el cálculo del diámetro del disco de recorte a través de ecuaciones, las cuales determinarán la cantidad de material a usarse. Este cálculo actualmente no toma en cuenta las propiedades mecánicas del material y tampoco otros factores como: calidad de punzones y matrices, acabado superficial, cambio de geometría, película lubricante, lo que produce exceso en el tamaño de disco y reducción del espesor del material en determinadas partes del objeto lo que conlleva a un aumento del costo del producto final.

La solución a este problema es realizar un estudio mas profundo a los fenómenos que ocurren durante un proceso de embutición, con el fin de obtener fórmulas corregidas que permitan realizar un cálculo mas preciso del diámetro del disco de recorte y de esta forma evitar desperdicios de tiempo y dinero.

1.2 DEFINICION DEL PROBLEMA

La industria ecuatoriana dedicada a la fabricación de recipientes cilíndricos de aleaciones de aluminio tales como: ollas, casquillos, vasos, vajillas, entre otros; por medio del proceso de embutición de chapa metálica, los cuales actualmente suplen las necesidades adquisitivas de la población debido a que estos productos están al alcance de todo presupuesto familiar.

El mayor problema que se presenta en este proceso es el alto nivel de desperdicio de materia prima ocasionado por la fabricación de productos mediante el procedimiento de ensayo y error, método que se utiliza para el calculo del diámetro del disco de recorte, ecuaciones con las cuales se obtiene aproximadamente entre un 30% de exceso de material, porcentaje considerado como alto en un proceso de embutición en aleaciones de aluminio.

Todo esto debido a la falta de estudios recientes y modificaciones en las ecuaciones para el cálculo del diámetro de disco necesario.

Las utilidades que perciben nuestras industrias dedicadas a la fabricación de productos por este método son reducidas lo cual ocasiona que nuestro mercado se vea invadido cada vez más por productos provenientes del exterior.

Como consecuencia de esta situación muchas empresas ecuatorianas corren el riesgo de desaparecer ya sea a corto o largo plazo. Ante este problema los investigadores nacionales se han visto en la necesidad de buscar alternativas de solución.

La ESPE como institución educativa vanguardista y preocupada por aportar a la sociedad con profesionales de excelencia que contribuyan al desarrollo global del Ecuador, como también a encontrar soluciones a los problemas de las industrias.

Proporcionando a sus estudiantes los conocimientos básicos, tecnológicos y creando un espíritu de investigación continua para la mejora de los procesos industriales.

Entre todas estas investigaciones se destaca el estudio de la ecuación de variación geométrica en aleaciones de aluminio, desarrollada por él Ing. José Guasumba Codena docente de la CIME y miembro del Centro de Investigación Científica y Tecnológica del Ejército (CICTE), autor del artículo de Investigación básica sobre: “Análisis de los Esfuerzos de Rotura, las Deformaciones y Defectos en el Proceso de Embutición Profunda, de Recipientes Cilíndricos de Pared Delgada, Producidos por el Conformado Mecánico a Alta Presión”.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir una matriz de embutición de recipientes cilíndricos de pared delgada para la comparación de las Ecuaciones de Variación Geométrica y la Ecuación normalizada en Aleaciones de Aluminio, para el cálculo del diámetro de disco.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Conocer los parámetros característicos de la embutición de cilindros de pared delgada y sus ecuaciones de cálculo del diámetro de recorte.
- Diseñar y construir las partes y elementos constitutivos de una matriz de embutición por medio de la cual se determinará la calidad de la

embutición usando la Ecuación de Variación Geométrica en Aleaciones de Aluminio y la Ecuación Normalizada.

- Comprobar la ecuación de variación geométrica en materiales dúctiles

1.4 ALCANCE

El proyecto persigue el análisis y la comparación de dos ecuaciones para el cálculo del diámetro de disco de chapa en aleación de aluminio para la elaboración de un recipiente mediante el proceso de embutición.

La primera expresión matemática involucrada es la Ecuación de Variación Geométrica (EVG) la cual determina exclusivamente el diámetro del disco de la chapa.

La segunda ecuación es la normalizada (EN) usada comúnmente y viene determinada en base a la forma del recipiente a desarrollar.

Cabe recalcar que ninguna de las ecuaciones mencionadas permite disminuir el desperdicio de material por distribución del disco en la chapa metálica.

Para cumplir lo antes enunciado se realizará el diseño y construcción de dos matrices de corte y una de embutición que permita la realización de pruebas comparativas mediante las cuales se logre comprobar la efectividad del proceso de embutición utilizando las dos expresiones.

1.5 JUSTIFICACION E IMPORTANCIA

El Proyecto se vincula básicamente con las prioridades institucionales que tiene la Escuela Politécnica del Ejército a través de la Carrera de Ingeniería Mecánica para mejorar los niveles académicos mediante la Investigación Científica y Tecnológica en la búsqueda de nuevas e innovadoras soluciones aplicables a problemas de procesos de manufactura.

En la industria nacional dedicada a la fabricación de recipientes cilíndricos de pared delgada, mediante procesos de estiraje, repujado y embutición, se producen importantes pérdidas de materiales en cada uno de estos como consecuencia de la aplicación de ecuaciones ambiguas basadas en métodos de ensayos y pruebas sucesivas y el de equivalencias de superficies, cuyo resultado es un diámetro de corte excesivo al requerido para evitar el desperdicio del material, problemática que incide directamente en la inversión económica de materia prima requerida por las industrias.

Es por esto que se ve necesaria la aplicación de una renovada ecuación que permita un proceso de cálculo del diámetro del disco con mayor precisión a las utilizadas actualmente.

Con lo cual se produce un ahorro significativo de la cantidad de material a utilizarse en una producción en serie de un lote grande de piezas y además simplificando el proceso.

Debido a esta situación la propuesta de la ecuación de variación geométrica en aleaciones de aluminio sería la solución, pero lamentablemente aún no ha sido comprobada ahí la importancia de realizar la comprobación de la misma.

Si se logra verificar los beneficios serían una reducción del tiempo de cálculo del disco para la fabricación de una pieza por embutición como también una disminución de las pérdidas de materia prima lo cual conlleva a crear industrias más competitivas, reducción en el precio final de los productos obtenidos por este método.

Además que se trata de un estudio de investigación innovador que busca comprobar y comparar una nueva ecuación para el cálculo del diámetro del disco de recorte para el proceso de embutición en aleaciones de aluminio, se puede ejemplificar este estudio como una base para futuros proyectos que relacionen esta temática aplicada a otros materiales dúctiles.

CAPITULO 2

2. PROCESOS DE CONFORMADO DE CHAPA METALICA PARA EMBUTICION PROFUNDA

2.1 CHAPA METALICA

2.1.1 CARACTERISTICAS

La mayor parte de los metales pueden ser trabajados cuando están en forma de chapa. Algunos de los principales metales utilizados en la práctica son: acero, cobre, aluminio, níquel, así como aleaciones de los mismos, también se puede incluir al zinc y otros metales preciosos.

La chapa metálica se presenta generalmente ya sea bajo la forma de planchas rectangulares de medidas variables; ya sea como flejes o en bandas metálicas cuyos anchos no superan los 500 mm. y sus espesores los 6 mm.

Los flejes están en forma de rollos. Los flejes permiten una alimentación continuada de la prensa.

Estas chapas y flejes¹ se obtienen laminando en caliente y en frío partiendo de tochos o de llantón. Se llama tocho o bloom a un semiproducto de sección cuadrada de 115 a 300 mm, y una longitud de 400 mm; el peso de un tocho es de unos 450 kg.

El llantón es un semiproducto de sección rectangular (anchura de 200 a 300 mm., espesor de 45 a 70 mm y longitud de alrededor de 1 metro).

¹ Tira de chapa de acero cuyo ancho no supera los 500 mm. utilizada para asegurar las duelas de toneles y las balas de ciertas mercancías

Partiendo del llantón, se obtienen las chapas sometiendo el material a las siguientes operaciones:

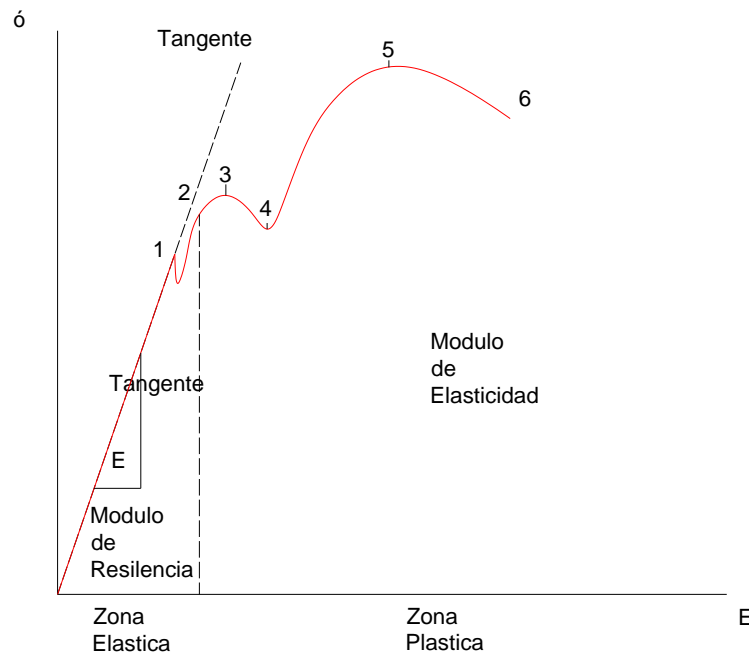
- 1.- Recalentado del llantón.
- 2.- Desbastado o laminado en caliente hasta un espesor de 4 a 5 mm.
- 3.- Decapado y lavado de las planchas obtenidas, y colocación de las mismas en paquetes.
- 4.- Recalentamiento de los paquetes.
- 5.- Laminado de los mismos y acabado en caliente.
- 6.- Cizallado de las chapas y enderezamiento en frío.
- 7.- Recocido² de normalización en caja (930°C).
- 8.- Decapado, lavado, cepillado y secado.
- 9.- Pulido en el laminador, en frío; 2 a 3 pasadas.
- 10.- Segundo recocido, en caja (600 a 650 °C).
- 11.- Laminado ligero en frío, que permite obtener una superficie muy liza y una ligera acritud del material.
- 12.- Aplanado en una maquina con rodillos.
- 13.- Inspección, selección, engrasado y embalaje.

² Proceso de recalentamiento del metal trabajado en frío para ablandarlo y aumentar así su ductilidad.

2.1.2 PROPIEDADES MECANICAS

En ingeniería se necesita saber cómo responden los materiales sólidos a fuerzas externas como la tensión, la compresión, la torsión, la flexión o la cizalladura. Los materiales sólidos responden a dichas fuerzas con una deformación elástica (en la que el material vuelve a su tamaño y forma originales cuando se elimina la fuerza externa), una deformación permanente o una fractura. Los efectos de una fuerza externa dependientes del tiempo son la plastodeformación y la fatiga.

CURVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN



CURVA ESFUERZO-DEFORMACION

1. Limite de proporcionalidad
 2. Limite elastico
 3. Limite de Fluencia Superior
Limite de Fluencia Inferior
 5. Punto Maximo
 6. Punto de Ruptura
- E: Modulo de Elasticidad

La curva tensión-deformación de la Figura 2.1, se puede usar para determinar varias características de resistencia del material. Estas son:

LIMITE DE PROPORCIONALIDAD: A la ordenada del punto 1 se le conoce por límite de proporcionalidad, esto es, la máxima tensión que se puede producir durante un ensayo de tracción simple de modo que la tensión sea función lineal de la deformación como se muestra en la Ecuación (2.1).

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.1)$$

Donde:

E= Módulo de Elasticidad o módulo de Young; σ =Esfuerzo (N,lb); ε = Deformación (mm², pulg²)

LIMITE ELÁSTICO: La ordenada de un punto que casi coincide con 1 se conoce por límite elástico, esto es, la tensión máxima que puede producirse durante un ensayo de tracción simple de muchos materiales son casi idénticos los valores numéricos del límite elástico y del límite de proporcionalidad, por lo que a veces se consideran sinónimos.

En los casos en que es notoria la diferencia, el límite elástico es casi siempre mayor que el de proporcionalidad.

ZONA ELASTICA: La región de la curva tensión-deformación que va desde el origen hasta el límite de proporcionalidad.

ZONA PLASTICA: La región de la curva tensión-deformación que va desde el límite de proporcionalidad hasta el punto de rotura.

LIMITE ELASTICO APARENTE O DE FLUENCIA: A la ordenada del punto 3 en el que se produce un aumento de deformación sin aumento de tensión se le conoce por límite elástico aparente o límite de fluencia del material. Cuando la carga ha aumentado hasta el punto Y, se dice que se produce fluencia. Algunos materiales presentan en la curva tensión-deformación dos puntos en

los que hay aumento de deformación sin que aumente la tensión. Se les conoce por límites de fluencia superior e inferior.

RESISTENCIA A TRACCIÓN: La ordenada del punto 5, máxima de la curva, se llama resistencia a tracción o, a veces, resistencia última del material.

RESISTENCIA DE ROTURA: La ordenada del punto 6 se llama resistencia de rotura del material.

MODULO DE RESILIENCIA: El trabajo realizado en un volumen unidad de material, cuando se aumenta una fuerza de tracción simple gradualmente desde cero hasta un valor tal que se alcance el límite de proporcionalidad del material, se define como modulo de resiliencia.

Puede calcularse por el área bajo la curva tensión-deformación desde el origen hasta el límite de proporcionalidad; las unidades en que se mide son Kg/cm^3 . Así, pues, la resiliencia de un material es su capacidad de absorber energía en la zona elástica.

MODULO DE TENACIDAD: El trabajo realizado en un volumen unidad de material cuando se aumenta una fuerza de tracción simple gradualmente desde cero hasta el valor que produce la rotura, se define como modulo de tenacidad. Puede calcularse por el área total bajo la curva tensión-deformación desde el origen hasta la rotura. La tenacidad de un material es su capacidad de absorber energía en la zona plástica del material.

ESTRICCIÓN: La relación entre la disminución del área de la sección transversal respecto a la primitiva en la fractura, dividida por el área primitiva y multiplicada por 100, se llama estricción y se la calcula mediante la Ecuación (2.2).

$$\% \text{ Reducción en área} = \frac{A_0 - A_F}{A_0} \times 100\% \quad (2.2)$$

Donde:

$A_F = \text{Área final}; A_0 = \text{Área inicial}$

ALARGAMIENTO DE ROTURA: La relación entre el aumento de longitud (de la longitud patrón) después de la fractura y la longitud inicial, multiplicada por 100, es el alargamiento de rotura. Se considera que tanto la estricción como el alargamiento de rotura son medidas de la ductilidad del material y se lo determina con el uso de la Ecuación (2.3).

$$\% \text{ Alargamiento} = \frac{L_{\text{final}} - L_{\text{inicial}}}{L_{\text{inicial}}} \times 100 \quad (2.3)$$

TENSION DE TRABAJO: Se pueden usar las características de resistencia que se acaban de mencionar para elegir la llamada tensión de trabajo. Frecuentemente, esta tensión se determina simplemente dividiendo la tensión en la fluencia o rotura por un número llamado coeficiente de seguridad. La elección del coeficiente de seguridad se basa en el buen juicio y la experiencia del proyectista.

A veces se especifican en los reglamentos de la construcción valores de determinados coeficientes de seguridad.

RELACION DE POISSON: Cuando una barra esta sometida a una carga de tracción simple se produce en ella un aumento de longitud en la dirección de la carga, así como una disminución de las dimensiones laterales perpendiculares a esta. La relación entre la deformación en la dirección lateral y la de la dirección axial se define como relación de Poisson. La representaremos por la letra griega μ . Para la mayoría de los metales esta entre 0.25 y 0.35.

DUREZA SUPERFICIAL³ (BRINELL, ROCKWELL): La dureza superficial o número de durezas se pueden medir siguiendo distintos procedimientos, que a continuación se detallan:

³ Es una medida de la resistencia de un metal a la deformación permanente (plástica) en su superficie.

Dureza Brinell.-Principio: una bola de acero, de diámetro normalizado se aplica sobre la superficie de la chapa, bajo una determinada presión. La bola penetrará en el metal y dejara una huella en la chapa, esta penetración se hallara evidentemente en función de la dureza del metal. La medida de esta huella, convertida en unidad de dureza Brinell, dará a conocer la dureza de la chapa.

Dureza Rockwell.- Principio: un penetrador (cono de diamante a 120°, o una bola de 1/16 de pulgada), es aplicado con presión y penetra hasta cierta profundidad en la chapa. La medida de esta profundidad, convertida en número de dureza Rockwell, nos dará a conocer la dureza de la chapa. Existen varias escalas Rockwell que dependen del tipo de metal sometido a prueba como se puede observar en la Tabla 2.1

Tabla 2.1 Escalas Rockwell

Designación	Penetrador	Fuerza (Kg.)
Rockwell C	Cono de diamante	150
Rockwell B	Bola de 1/16 pulg.	100
Rockwell 45 N.	Bola de 1/16 pulg.	45
Rockwell 30 N.	Bola de 1/16 pulg.	30
Rockwell 15 N.	Bola de 1/16 pulg.	15

Fuente: Manual del Técnico Matricero, Barcelona, 1977 Pág. 11

Las escalas de 45N, 30N, 15N se emplean especialmente para las chapas, pues así se evita el tener que superponer varias de ellas.

2. 2 CORTE POR CIZALLAMIENTO

El corte por cizallamiento es un método por el cual se corta láminas, alambres o barras de materiales metálicos por medio de herramientas con una forma de acuerdo a los propósitos que se requieran. Este tipo de corte es muy utilizado especialmente en donde la materia prima inicial viene en grandes medidas y pesos, así como en procesos de recortado.

Las operaciones de corte son posibles en casi todos los materiales en lámina, puesto que no se requiere flujo plástico del material. Dependiendo específicamente de la forma del trabajo esta operación toma nombres como: Cizallado, punzonado o troquelado, partición, recortado, mordido.

La materia prima para este tipo de operaciones se consigue en planchas de 1220 * 2440 mm. ó en rollos de 5, 10, 15 toneladas que tienen un ancho de 1220 mm. generalmente.

Este material normalmente es seccionado en tiras, llamadas flejes, para poder hacer fácilmente su manipulación.

2.2.1 PRINCIPIO DE OPERACION

Para cortar los materiales se aplica el principio de corte por cizallamiento, se aplica una carga a fin de provocar la fractura del mismo. Las herramientas que se requieren son: cuchilla fija - cuchilla móvil en el cizallado; y, punzón - matriz en el punzonado.

En el corte se presentan cuatro etapas bien definidas:

1. ETAPA DE ACERCAMIENTO.- El sujetador de chapa ejerce una presión continua sobre los elementos a cortar como se observa en la Figura 2.2.

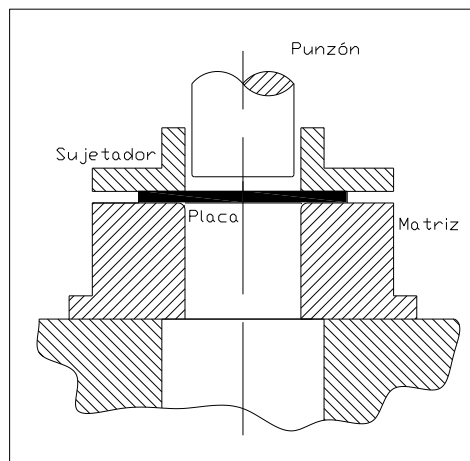


Figura 2.2 Acercamiento del material y sujeción

2. ETAPA DE DEFORMACION.- Las cuchillas no penetran en el material sino que provocan una presión suficientemente alta que produce una deformación plástica⁴ como se aprecia en la Figura 2.3

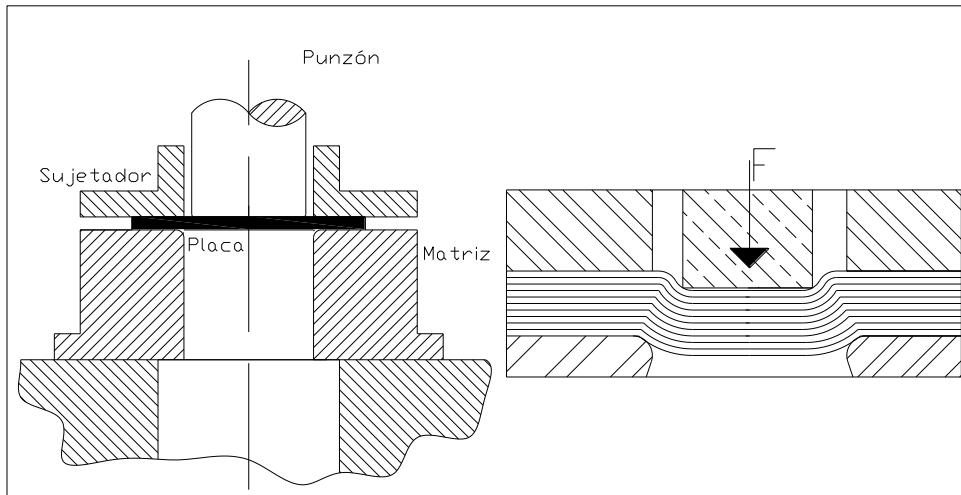


Figura 2.3 Etapa de deformación

3. ETAPA DE INDENTACION.- En un cierto punto el material endurecido no se puede seguir deformando y las cuchillas penetran en el mismo. Se comienza a formar grietas y se desplazan en la dirección de máxima carga, como se observa en la Figura 2.4

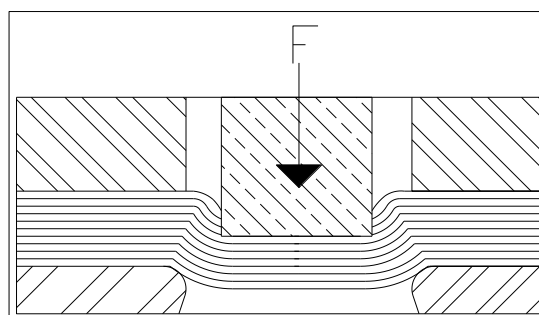


Figura 2.4 Etapa de Indentación

4. ETAPA DE FRACTURA.- La zona deformada adquiere una condición frágil de tal forma que una carga adicional produce que la sección endurecida se

⁴ Es la deformación producida en un metal al someterlo bajo una carga o tensión constante hasta el límite de Elasticidad.

fracture, iniciando en los puntos en que las cuchillas penetraron, las grietas se unen y su superficie da lugar al corte como se aprecia en la Figura 2.5

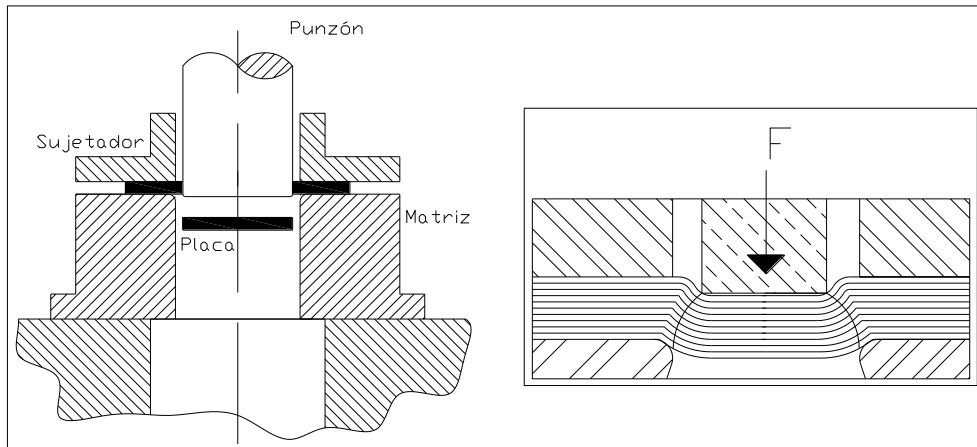


Figura 2.5 Etapa de Fractura

Los bordes cizallados de la lámina tienen formas características que se muestran en la Figura 2.6. Encima de la superficie de corte hay una región que se llama redondeado.

Este corresponde a la depresión hecha por el punzón en el trabajo antes de empezar el corte.

Aquí es donde empieza la deformación plástica del trabajo; justo abajo del redondeado hay una región relativamente lisa llamada bruñido⁵.

Debajo del bruñido está la zona de fractura, una superficie relativamente tosca del borde de corte donde el movimiento continuo del punzón hacia abajo causa la fractura del metal.

Finalmente al fondo del borde está la rebaba, un filo causado por la elongación del metal durante la separación final de las dos piezas.

⁵ Zona que resulta de la penetración del punzón en el material antes de empezar la fractura.

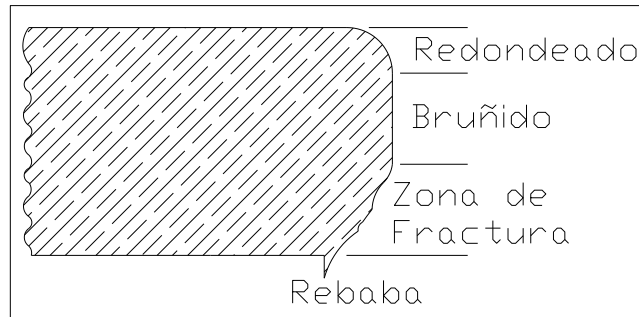


Figura 2.6 Bordes Cizallados característicos del material de trabajo

2.2.2 TIPOS DE CORTE

CIZALLADO.- Es la operación de corte de una lámina de metal a lo largo de una línea recta entre dos bordes de corte, se usa típicamente para reducir grandes láminas a secciones más pequeñas para operaciones posteriores de prensado. Se ejecuta en una maquina llamada Cizalla de Potencia o Cizalla Recta. La cuchilla superior de la cizalla de potencia esta frecuentemente sesgada para reducir la fuerza requerida de corte.

PUNZONADO.- Implica el corte de una lamina de metal a lo largo de una línea cerrada en un solo paso para separar la pieza del material circundante, la parte que se corta es el producto deseado en la operación y se designa como la parte o pieza deseada. Y puede ser de dos tipos: redondo y de forma.

Punzonado Redondo.- El recortado de un agujero redondo de pequeñas dimensiones.

Punzonado de Forma.- El troquelado de agujeros de formas cualesquiera y de grandes dimensiones.

PERFORADO.- Es muy similar al punzonado, excepto que la pieza que se corta se desecha y se llama pedacería ⁶.

⁶ Parte de la tira de metal que se desecha luego de la operación de perforado.

RECORTADO.- Consiste en sacar de una tira de material una pieza plana de contorno cualquiera, llamada disco o recorte.

ENTALLADO.- El recortado de una forma que termina en el contorno de la pieza.

CANTEADO.- Eliminación por recortado del material sobrante sobre una pieza a la que se le ha dado forma.

REPASADO.- Un segundo recortado que permite obtener una pieza de dimensiones mas precisas.

2.2.3 HUELGO ENTRE PUNZON Y CASQUILLO

En una operación de corte, el huelgo h es la distancia entre el punzón y el dado, tal como se muestra en la Figura 2.7..

Los huelgos típicos en el prensado convencional fluctúan entre 4 y 8% del espesor de la lamina metálica t , pero debe ser mas pequeño para materiales dúctiles que para materiales frágiles.

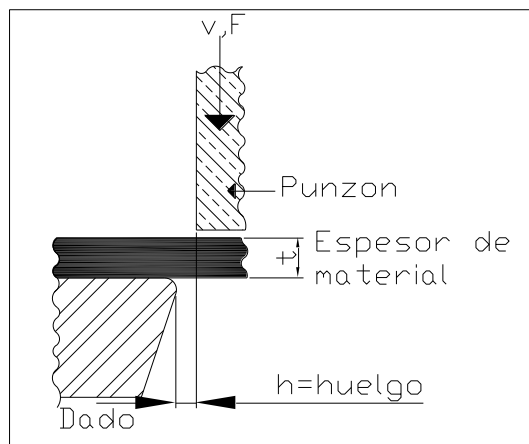


Figura 2.7 Huelgo entre punzón y dado

El huelgo correcto depende del tipo de lámina y de su espesor el huelgo recomendado se puede calcular con el uso de la Tabla 2.2

Tabla 2.2 Huelgo Estándar de Punzonado

Fórmula: $j_{std} = \frac{\text{Espesor del material}}{\text{Constante}}$	
Material	Constante
Cobre	21
Latón o Bronce	20
Acero Dulce	17
Acero Semiduro	16
Acero Duro	14
Bronce fosfórico	16
Acero Dulce y Semiduro (espesor sobre 1/4")	10
Aluminio (hasta 1/8" de espesor)	10
Aluminio (sobre 1/8" de espesor)	8

Fuente: Die Design Fundamentals, J.R. Paquin, 1986, Segunda edición,
Editorial Industrial Press Inc.

Para aluminio y aleaciones ligeras se puede utilizar la Ecuación (2.4):

$$j_{std} = \frac{3 + 0.5 * t^2}{100} \quad (2.4)$$

Donde:

J_{std} = Huelgo total (mm.); t = espesor (mm.)

Es evidente que la abertura del dado debe ser siempre más grande que el tamaño del punzón. La adición del valor del huelgo al tamaño del dado o su resta del tamaño del punzón depende de que la parte que se corta sea un disco o pedacería.

Este huelgo estandarizado es un valor total, es decir, que el espacio dejado a

cada lado entre el punzón y la matriz de corte es $\frac{j_{std}}{2}$.

La aplicación de este juego en la matriz o en el punzón se debe aplicar de acuerdo a la operación o resultado final que se pretende alcanzar de la siguiente manera.

Para troquelado y canteado, el valor del huelgo se resta a las dimensiones del punzón.

Para punzonado redondo, de forma y entallado, el punzón se realiza de dimensiones nominales mientras que el huelgo se aumenta a las dimensiones de la matriz.

En el repasado, no se aplica el huelgo a las partes.

CONTORNOS CIZALLADOS Y RELACION CON EL HUELGO

El cizallado o punzonado provoca un contorno definido en el material cortado.

La siguiente figura muestra el perfil óptimo dejado por la operación de corte cuando el huelgo h dejado es el correcto.

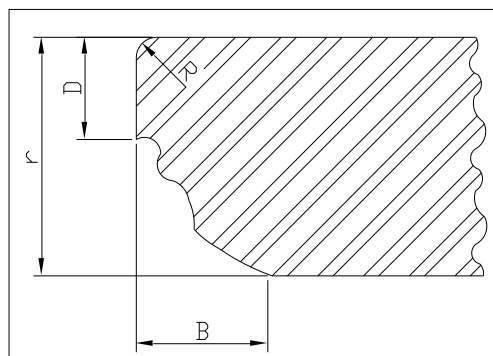


Figura 2.8 Contorno del material cizallado

De la Figura 2.8 se pueden realizar las siguientes observaciones:

La esquina superior está definida por un pequeño radio R , el tamaño de este radio depende del espesor y dureza del material así como de la geometría del filo cortante⁷.

Una banda derecha lisa y pulida de distancia D la cual es aproximadamente $1/3$ del espesor T del material.

El espesor restante tiene una superficie rugosa e inclinada una distancia B que corresponde a la cantidad del huelgo h dejado entre los filos cortantes.

EFFECTOS DEL HUELGO DE CORTE

HUELGO INSUFICIENTE: Cuando el huelgo dejado es demasiado pequeño se tiene una penetración parcial, las fracturas generada a ambos lados no llegan a encontrarse, al bajar el filo superior se forma la elongación lateral de la grieta apareciendo una zona sin cortar la cual se separará por una fractura secundaria, finalmente termina el corte con una zona rugosa de poca inclinación. Estas acciones generan en el perfil los siguientes efectos:

El radio R es menor que con el huelgo correcto

Aparece una doble banda pulida en el perfil

El ángulo formado por B es más pequeño que el normal.

Se requiere de gran presión para realizar el corte.

La Figura 2.9 muestra gráficamente el resultado del corte.

⁷ Parte de la matriz de corte que tiene la geometría para realizar un corte determinado.

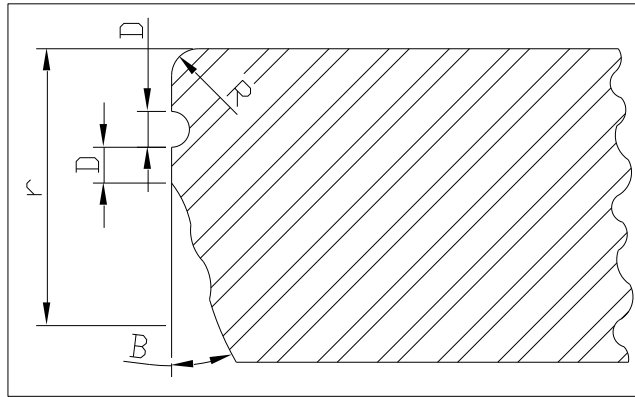


Figura 2.9 Contorno cizallado con Hueco Insuficiente

HUELGO EXCESIVO: Si el hueco es demasiado grande los filos cortantes tienen una penetración parcial y la fractura comienza a realizarse en los lados opuestos, el movimiento hacia debajo de uno de los filos provoca el crecimiento y ensanchamiento de la fractura con un alineamiento entre ambos lados aceptable.

En la parte final del corte se produce un desgarramiento del material. Estas acciones hacen visible en el perfil del material las siguientes características:

El radio R es considerablemente mayor que el resultante de un correcto hueco.

La zona pulida es estrecha

El ángulo B es excesivamente grande

Un desgarre E se presenta al final del corte.

La Figura 2.10, es un esquema del perfil generado por el corte con hueco excesivo.

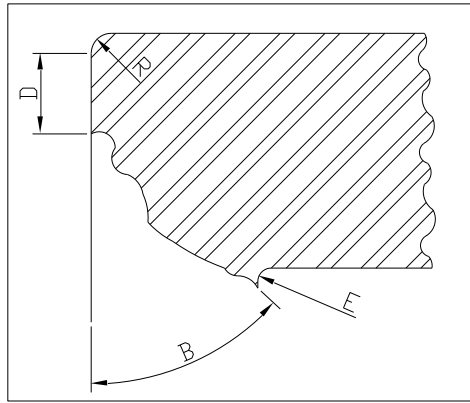


Figura 2.10 Contorno cizallado con Huelgo Excesivo

Una presión menor es necesaria para realizar el corte por lo que en materiales de gran espesor se plantea la aplicación de este juego.

2.2.4 FUERZA DE CORTE

Es importante estimar la fuerza de corte porque esta determina el tamaño (tonelaje) de la prensa⁸ necesaria. La fuerza de corte F_c en el trabajo de láminas puede determinarse con la Ecuación (2.5):

$$F_c = S_{su} \times t \times L \quad (2.5)$$

Donde:

F_c = Fuerza de Corte; S_{su} = Resistencia al cizallamiento del material, Lb./Pulg² (MPa); t = Espesor del material Pulg. (mm.); L = Longitud del borde de corte, Pulg. (mm).

Además de esta fuerza de corte (axial) se produce una fuerza lateral sobre las cuchillas cuyo valor va desde 8% hasta 35% del valor de F . Siendo esta fuerza mayor en los materiales dúctiles.

⁸ Es una máquina capaz de proporcionar una fuerte presión aprovechando la energía acumulada con anterioridad mecánicamente o por medio de algún fluido, generalmente trabajan por impacto.

En el punzonado, perforado, rasurado y operaciones similares, L es la longitud del perímetro de la forma o agujero que se corta. En la determinación de L se puede anular el efecto menor del huelgo.

Si se desconoce la resistencia al cizallamiento, se la puede estimar mediante el uso de la resistencia última a la tracción como lo muestra la Ecuación (2.6):

$$F_c = 0,8 \times S_u \times t \times L \quad (2.6)$$

Donde:

S_u = Resistencia ultima a la tracción Lb./Pulg² (MPa)

Pero esto en el caso de que toda la sección se corte de una sola vez, si este valor es muy alto se puede disminuir esta fuerza dando una geometría apropiada ya sea al punzón o al dado a fin de cortar la sección en forma progresiva.

Tabla 2.3 Tabla de resistencia de corte de algunos materiales

Material	Resistencia al corte Kg/mm²
Acero 0,1% C	28
Acero 0,4% C	50
Acero 1,0% C	115
Acero Inoxidable	54
Acero al Silicio	45-55
Aluminio Agrio	15
Aluminio Dúctil	9
Estaño	3-4
Plomo	2-3

Fuente: Investigación Directa

FUERZA DE EXTRACCION: Es la fuerza necesaria para separar el recorte de la pieza que queda sujeta al punzón, se la determina con la Ecuación (2.7), la cual es valida solo cuando queda mucho material a su alrededor y es:

$$F_e = 0.04 * F_c \quad (2.7)$$

Donde:

F_c= Fuerza de Corte

FUERZA DE EXPULSION: Es el esfuerzo que hay que hacer para que salga la pieza de la parte interior de la matriz, se la puede determinar con la Ecuación (2.8).

$$F_{ex} = 0.015 * F_c \quad (2.8)$$

TRABAJO DE CORTE: Es el producto de la fuerza total de corte ejercida por la prensa por el espesor de la chapa metálica (Aluminio) y se la puede determinar mediante la Ecuación (2.9).

$$T = F_t * t \quad (2.9)$$

Donde:

T= Trabajo de corte (Kgf*mm.); F_t= Fuerza Total de corte (F_t=F_c+F_e+F_{ex})(Kgf);
t =espesor de chapa metálica (mm.)

2.2.5 DISPOSICION DE FIGURAS

Destinándose el procedimiento del matrizado a la fabricación de grandes cantidades de piezas, la economía del material, y como consecuencia la reducción de los desperdicios, representa un factor muy importante.

Los factores determinantes de las dimensiones de la matriz, troquel o estampa vienen determinados por la posición relativa de la ventana de la figura matriz y ésta es consecuencia del tamaño y de la forma de la pieza que se desea obtener.

Frecuentemente las piezas tienen una forma irregular, de manera que tanto pueden encontrarse situadas a lo largo de la tira de material, como transversalmente, longitudinalmente o en su propio centro; estas disposiciones dependen de la necesidad de obtener el máximo rendimiento por unidad de superficie de material empleado.

Algunas veces no es posible, debido a la asimetría⁹ de la pieza, obtener una correlación numérica en el paso existente entre unas piezas y otras, y entonces, en vez de avanzar la tira según la serie 1,2,3,4,...,n, avanza 1,3,5,...n, es decir, saltando un espacio de material en cada avance, espacio que corresponde a la superficie de una pieza.

Cuando se hace así, la tira es nuevamente introducida en la matriz, siendo cortada la serie 2,4,6,8,...,n, y dejando el mínimo de desperdicio, un ejemplo de lo mencionado se lo aprecia en la Figura 2.11.

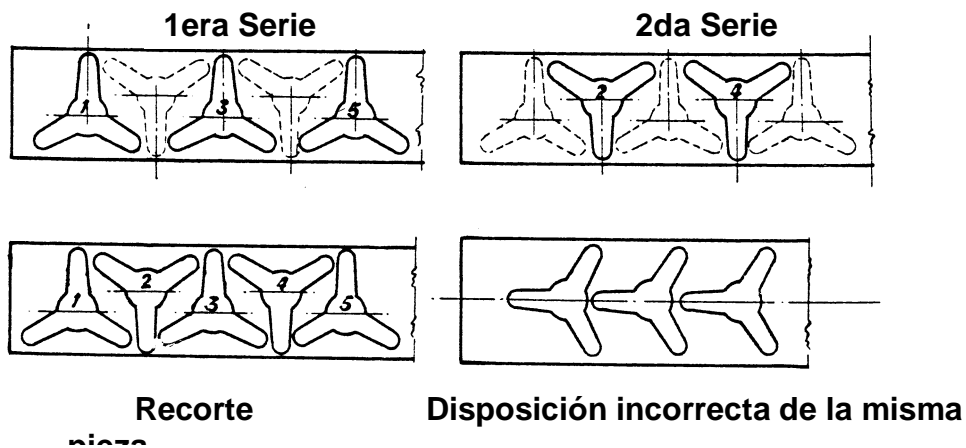


Figura 2.11 Disposición de figuras para el aprovechamiento de material

Este tipo de disposición, aunque frecuente, no siempre es necesario adoptarlo; más corriente es situar las piezas diagonalmente respecto a la tira o cinta del material, procurando aprovechar su propio perfil para encajar una nueva pieza, lo que permite el aprovechamiento máximo del material.

Véase la Figura 2.12.

⁹ Falta de simetría en la pieza a fabricar.

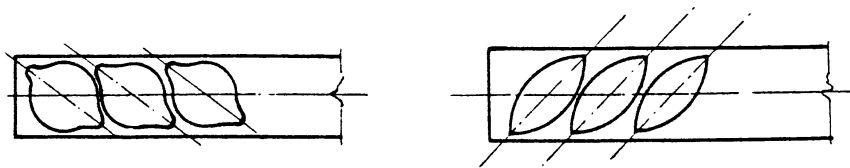


Figura 2.12. Disposición diagonal de las piezas sobre la cinta del material

Un aspecto que hay que tener presente en las matrices de punzonar es la separación mínima que debe existir entre dos piezas consecutivas. Como norma general, esta separación nunca debe ser inferior al propio espesor mas $\frac{1}{2} * t$, en el grafico de la Figura 2.13 se indican las separaciones normales para los espesores mas frecuentes.

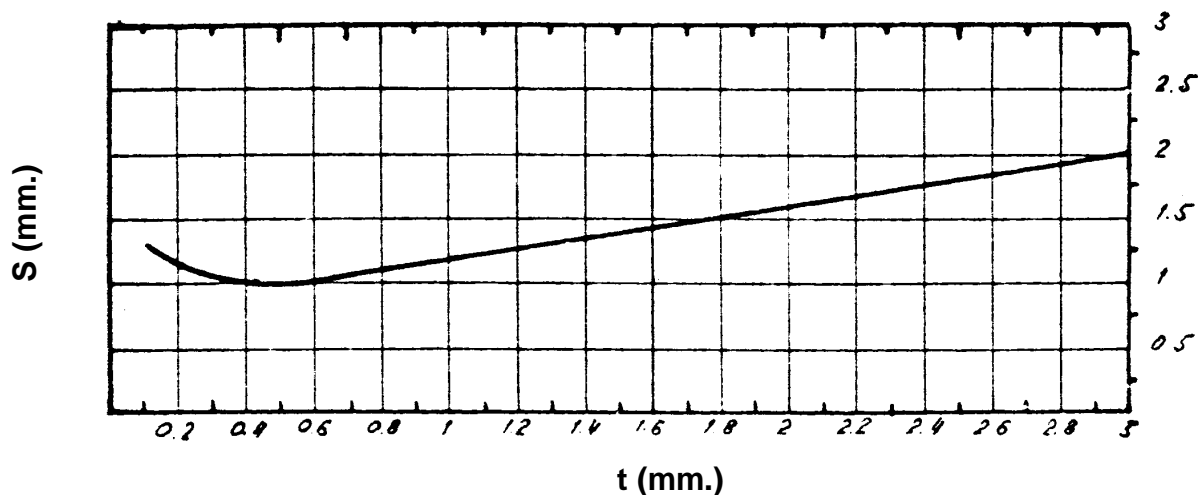


Figura 2.13. Grafico para determinar la separación mínima entre 2 piezas para un material de espesor t.

Donde: S= Separación mínima entre dos piezas; t= Espesor de la chapa.

Fuente: Herramientas de troquelar, estampar y embutir, Oehler-Kaiser GG, Pag. 140.

2.2.6 PARTES DE UNA MATRIZ DE CORTE

Una matriz de corte esta formada por: macho porta punzones, placa de freno de los punzones, placa porta punzones, punzón, placa guía de los punzones, placa guía de material, placa matriz, armazón y columnas, todas estas partes se las puede observar en la Figura 2.14.

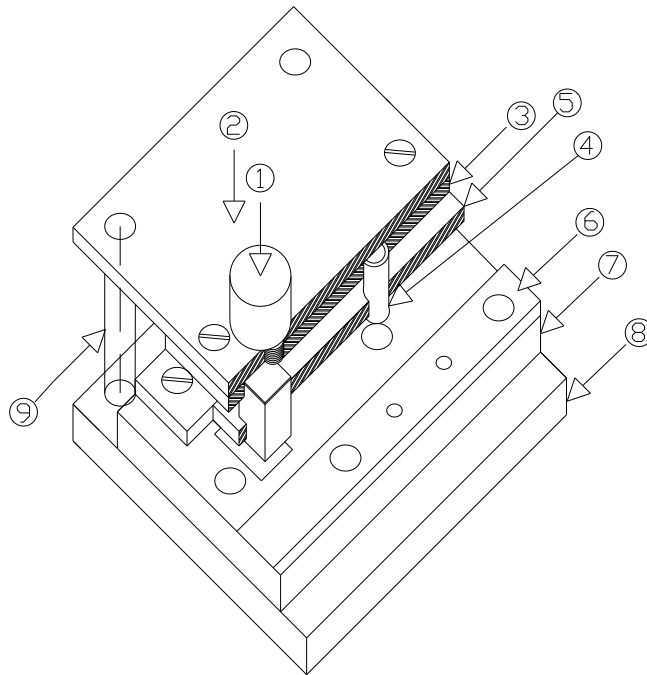


Figura 2.14 Matriz típica de punzonar

Un detalle de las partes constitutivas de la matriz anterior se lo puede apreciar en la siguiente Tabla 2.4.

Tabla 2.4 Partes Constitutivas de una Matriz Típica de Punzonar

N.	Denominación
1	Macho portapunzones
2	Placa de freno
3	Placa portapunzones
4	Punzón
5	Placa guía de punzones.
6	Guía de Material
7	Placa Matriz
8	Armazón
9	Columnas y Bujes

Fuente: Investigación Directa

1. MACHO PORTA PUNZONES.- El macho porta punzones tiene como misión efectuar el enlace entre la matriz y la maquina a que debe ser acoplado, es decir, a la prensa. Las dimensiones de los machos porta punzones varían en función de la potencia en toneladas desarrollada por la prensa.

2. PLACA DE FRENO DE LOS PUNZONES.- La placa de freno de los punzones, o contra placa de la placa porta punzones, es una pieza que, como su nombre indica, sirve de freno y retención de los punzones, y a ella se sujeta el macho.

Esta placa actúa, a la vez que de freno, de sufridera durante la operación del punzonado, ya que sobre ella se encuentran apoyados los punzones en el instante de trabajo.

3. PLACA PORTA PUNZONES.- Su nombre indica, con toda claridad, la función de esta primera pieza, de cuya exactitud depende la precisión del resto de la matriz. Los punzones, distribuidos convenientemente sobre su superficie, deben coincidir exactamente con la guía de punzones y la placa matriz.

4. PUNZONES.- Los punzones suelen ser los órganos móviles de corte en las matrices; estos adoptan la figura total o parcial de la pieza que se desea obtener, y sujetos a la placa o dispositivo porta punzones, trabajando contra la placa sufridera, se sujetan al carro de la prensa por medio del macho y son guiados por la placa de guía de punzones.

Deben trabajar completamente perpendiculares contra la figura matriz, para lo cual, en la placa porta punzones, tiene un pequeño juego que les permite adaptarse bien a la guía, confiando a ella su perpendicularidad.

5. PLACA DE GUIA DE LOS PUNZONES.- Por su nombre se deduce una de las funciones que tiene este órgano de la matriz, ya que, además de guía de los elementos móviles de corte, actúa como extractor del retal¹⁰ del material cortado, que queda fuertemente adherido a los punzones. En ella hay que distinguir dos peculiaridades:

El espesor de la placa de guía debe estar en función de la altura de los punzones.

¹⁰ Desperdicio sobrante de la tira de material resultante luego del corte.

La altura a que se encuentra situada sobre la placa matriz debe ser función del espesor t , del material.

6. GUIAS LATERALES DEL MATERIAL.- El material, generalmente, debe ser conducido convenientemente en la matriz, para poder efectuar un trabajo regular y eficiente; para ello se disponen sobre la placa matriz, a derecha e izquierda, dos tiras de acero, que soportan a su vez la placa de guía de los punzones.

Estas dos tiras laterales son las guías del material que se ha de cortar; la distancia entre ellas corresponde a la anchura de la cinta, y su altura debe encontrarse en relación con el espesor de la misma y la dimensión de la pieza cortada, ya que esta determina el paso de la matriz.

Una tira metálica sometida a la operación de punzonado mediante una matriz debe encontrarse, en el momento de actuar la prensa, en su justa posición de trabajo.

La tira del material que se ha de cortar debe también poder avanzar de manera regular, situándose intermitentemente bajo el punzón de cortar, para esto debe proveerse a la matriz de un dispositivo adecuado que pueda determinar el paso y regular el avance en cada golpe de la prensa, este sistema viene determinado por la cantidad de piezas que se desea cortar, por el espesor de la tira de material matrizado y por la superficie de la pieza cortada como por ejemplo un retensor de perno que es uno de los sistemas mas elementales de retensores de tira; su empleo es muy corriente, y en velocidades relativamente pequeñas 150 golpes / min. Proporciona un trabajo bastante eficiente.

7. PLACA MATRIZ.- La placa matriz juntamente con el punzón, es, uno de los dos elementos primordiales para el corte. En la placa matriz se encuentra tallada con una exactitud meticulosa la figura de la pieza que se ha de obtener, y es el elemento que mas esfuerzo soporta de toda la estructura del útil.

8. ARMAZON O BASE DE LA MATRIZ.- Debido al elevado temple del acero de las matrices, su empleo sin bases adecuadas resulta peligroso, pues cualquier pequeña flexión puede originar su rotura, por otra parte, emplear la misma placa matriz como basamento supone un consumo considerable de material, y, siendo los aceros de alta aleación de un precio elevado.

9. COLUMNAS Y BUJES.- Las columnas de guía están constituidas de piezas cilíndricas perfectamente rectificadas. En la parte alta, que es por donde se desliza la placa de freno, llevan unas ranuras de forma anular para la buena distribución del aceite de engrase.

2.3 PROCESO DE EMBUTICION

Es el proceso de conformado en frío por el que se transforma una chapa plana en un cuerpo hueco, adaptándola a la forma definida por la matriz del útil, mediante la presión ejercida por el punzón.

Este proceso se explica en la Figura 2.15, en donde se obtiene una pieza embutida cilíndricamente:

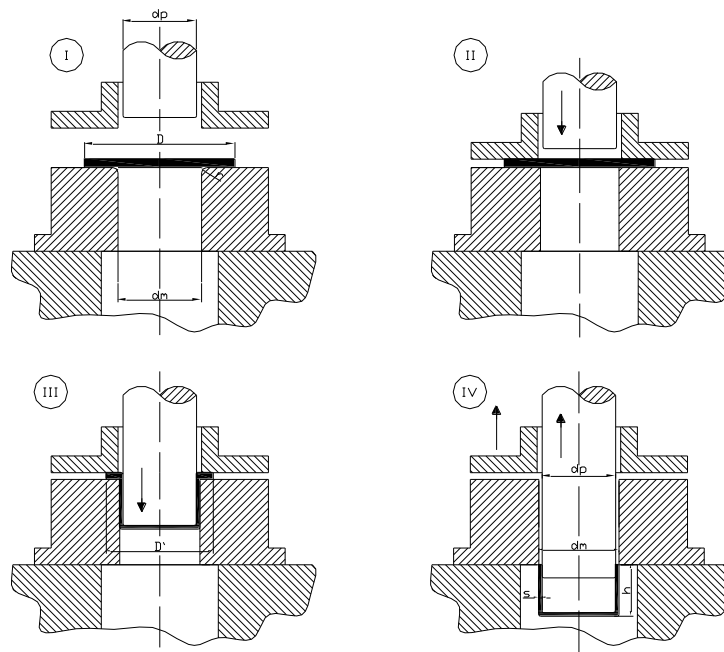


Figura 2.15 Proceso de Embutición de piezas cilíndricas huecas

- I. Se coloca el disco de chapa D sobre el aro para embutir.
- II. Descienden el pisón de sujeción y el punzón de embutir. El pisón entra antes en contacto con el disco de chapa y lo sujeta ejerciendo presión sobre su contorno exterior.
- III. El punzón de diámetro d_p , establece ahora contacto con la chapa y, presionando, la embute a través de la abertura del aro para embutir, con lo que el material del disco de chapa “fluye” por encima de la arista de embutición de radio r ; el diámetro exterior D de dicho disco, disminuye hasta alcanzar el valor de D' . La valona que así se forma queda todavía entre el aro a embutir y el pisón sujetador, denominándose brida de chapa. Ésta va disminuyendo de diámetro a medida que el punzón continúa introduciéndose, desapareciendo finalmente cuando se ha embutido totalmente la pieza. Si se desea que quede una brida de chapa, ha de limitarse la profundidad de embutición.
- IV. Una vez que se ha conseguido la forma hueca definitiva, habiendo el punzón alcanzado su posición mas baja, este y el pisón vuelve a subir. El canto superior de la pieza embutida tropieza contra el canto inferior del aro para embutir, tal como se muestra en la Figura 2.16 IV.

2.3.1 TIPOS DE EMBUTICION

EMBUTICION LIBRE.- El arrugamiento puede evitarse cuando la lamina es suficientemente rígida (Figura 2.16). Este es el caso para los embutidos poco profundos cuando la relación de embutición cumple con la Ecuación 2.10.

$$\frac{d_p}{D} < 1.2 \quad (2.10)$$

Donde:

d_p = diámetro de punzón de embutición., D = diámetro de disco de corte.

El arrugamiento de la lámina depende también del perfil de la matriz, el cual determina la magnitud de la compresión circunferencial.

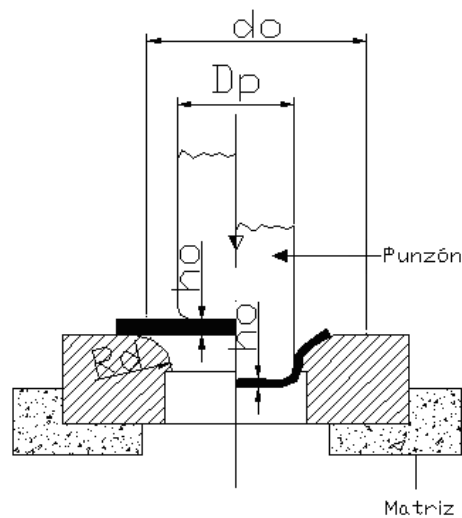


Figura 2.16 Embutición Libre

EMBUTICIÓN CON PISADOR¹¹.- Cuando la pieza es delgada y la razón se encuentra fuera de los límites de estirado se debe restringir el desplazamiento de la brida mediante un pisador (Fig. 2.17).

Este debe ejercer suficiente presión para evitar el arrugamiento, sin embargo una presión excesiva del pisador restringirá el deslizamiento del disco en el anillo de embutido y causaría fractura en la copa parcialmente conformada. Para producir una copa sana la presión del pisador se puede considerar en una aproximación, como 1.5% de S_y del material.

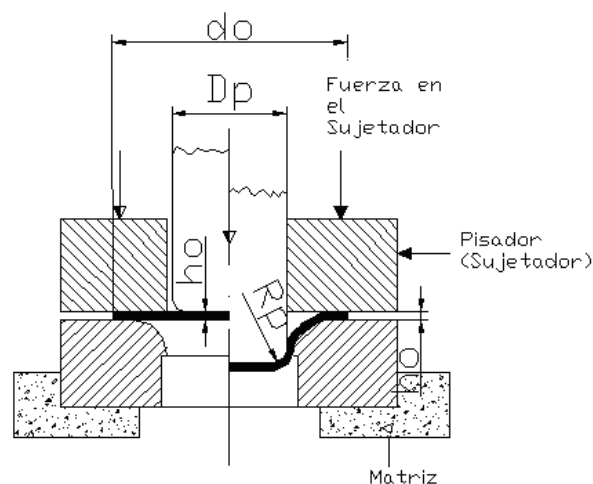


Figura 2.17 Embutición con pisador

¹¹ Placa metálica la cual cubre por completo a la pieza a ser embutida.

2.3.2 PARTES CONSTITUTIVAS Y CARACTERISTICAS

PUNZONES.- Una placa desmontable de acero duro templado va fijada con tornillos y pasadores a la placa porta punzón de acero semiduro. Las superficies que trabajan deben estar bien pulidas. Los agujeros, los tornillos y los sujetadores no deberán alcanzar las superficies de deslizamiento.

Las partes superiores de los punzones, para piezas a ejecutar en varias etapas, serán achaflanadas a 38° ó 40°, este chaflán permite repartir la presión del sujetador sobre una superficie y no sobre una línea, como ocurriría en un redondeado. Los punzones estarán provistos de taladros de fuga de aire dispuestos de tal manera que eviten deformaciones de la pieza embutida durante la separación.

MATRIZ.- La construcción es análoga a los punzones. Las partes que trabajan deben estar bien pulidas, y ha de verificarse bien el valor de los radios.

El Radio de Redondeo de las Aristas del casquillo de Embutición, puede producir los siguientes efectos: Un radio demasiado pequeño en la arista del casquillo produce roturas en el fondo, puesto que este trabaja como si se tratara de la matriz de corte, pero si el radio de la arista es demasiado grande produce pliegues que puede originar atascamientos en el huelgo de embutición. Se lo calcula con la expresión siguiente:

$$Rm = \frac{0,04 * D}{dp * \beta_{100}} * [50 + (D - dp)] * \sqrt{t} \quad (2.11)$$

Donde: Rm= Radio de redondeado de las aristas del casquillo de embutición, dc, β_{100} = Relación de gradación, t= espesor mm.

GUIAS CILINDRICAS O COLUMNAS.- Las guías cilíndricas son generalmente de acero fundido templado, según el tamaño de la herramienta, estarán ajustadas o no al sujetador. Cuando no se intenta su fijación al sujetador, hay que prever un reborde que los mantenga sobre la base, al final de la carrera.

ARMAZON.- Suele construirse de acero semiduro, se utiliza principalmente cuando las medidas del punzón no permiten la fijación directa de éste.

2.3.3 HUELGO EN EL PROCESO DE EMBUTICION

Por huelgo de embutición se entiende la separación entre el punzón y el aro de embutición, por lo general, el huelgo U_z se calcula partiendo del espesor de la chapa t , en mm. y de un coeficiente a , según las siguientes formulas empíricas:

$$U_{z1} = t + 0,07 * a * \sqrt{10 * t} \quad \text{Para chapa de acero} \quad (2.12)$$

$$U_{z2} = t + 0,02 * a * \sqrt{10 * t} \quad \text{Para chapa de aluminio blanda} \quad (2.13)$$

$$U_{z3} = t + 0,04 * a * \sqrt{10 * t} \quad \text{Para chapas de materiales no féreos} \quad (2.14)$$

$$U_{z4} = t + 0,20 * a * \sqrt{10 * t} \quad \text{Para chapas de aleaciones resistentes} \quad (2.15)$$

a altas temperaturas

Para embuticiones cilíndricas se cumple:

$$a = \beta_{100} * \frac{d_p}{D} \quad (2.16)$$

Donde:

d_p = Diámetro del punzón; D = Diámetro del recorte; β_{100} = Relación de gradación, la cual se la puede obtener de la Tabla 2.5.

Tabla 2.5 Relación de Gradación β_{100} (a) para algunos materiales

Material	1ra Emb.	2da Emb. sin R.I.*	2da Emb. con R.I.*
Chapa de acero cobreado	1,5	---	----
Chapa de acero Cor-Ten Calidad Normal	1,4	---	---
Chapa de acero chapada con cobre o latón 2 lados	2	1,4	---
Chapas de acero ferrifica 18% Cr, 1% Al	1,7	1,2	1,6
Nimonic 75 NiCr20 Ti Mat. N.4630	1,55	1,15	1,50
Chapa de titanio			

Continuación... Tabla 2.5 Relación de Gradación β_{100} (a) para algunos materiales

Titanio 35	1,9	---	1,7
Titanio 55	1,8	---	1,6
Cobre	2,1	1,3	1,9
Bronce al zinc SnBz6W	1,5	---	---
Bronce Al AlBz4W	1,7	1,2	---
Níquel	2,3	1,7	---
Plata Alemana CuNiZn Monel (CuNi)W	1,9	1,3	1,8
Tomback	2,2	1,3	1,9
Aluminio Puro Al 99,5 F7 (blando) 3.0255.10	2,1	1,6	2,0
F10 (semiduro) 3.0255.26	1,9	1,4	1,8
AlMn y AlMg F10 (blando) 3.0515.10 3.3515.10	1,85	1,3	1,75
AlMg 2 F18 (semiduro) 3.3525.26	1,95	1,4	1,9
AlMg 3 Si y F18 blando 3.3245.10 3.3527.10	2	1,4	1,85
AA1100 ó Al 99.0 Cu (ISO)	1,9	1,4	1,8

R.I.* Recocido Intermedio.

Fuente: Herramientas de Troquelar, Estampar y Embutir, Oehler- Kaiser GG, pag. 702.

2.3.4 LUBRICACION EN LA EMBUTICION

Para transformar una chapa plana en un cuerpo hueco mediante embutido se procede con una fuerza axial que castiga las fibras del material el punzón y matriz que tienen la función de moldear deben vencer el efecto producido por las fuerzas laterales que originan el frotamiento entre paredes.

Para hacer más fácil el proceso de embutición y reducir las posibilidades de romper las fibras del material, es necesario que durante el proceso se lubrique abundantemente con sustancias fluidas todas las superficies en tratamiento de la estampa con la chapa.

De este modo se prolonga la duración de la estampa.

Según los diversos materiales con los que se trabaje el lubricante puede ser de varias clases, como se puede apreciar en la Tabla 2.6.

El lubricante que produzca el mínimo aumento de superficie, o sea, un reducido estiramiento, es el que mejor responde a las exigencias del trabajo

Tabla 2.6 Lubricantes a usar en la embutición, en relación al material a deformar

Tipo de trabajo	Tipo de lubricante	Lubricante a usar			
		Aceros al Carbono	Aceros Inoxidables y aleados	Aluminio	Cobre, Latón, Bronce
Embutición poco profunda	Hidrosoluble	448	---	---	DO-17 o 421
	Oleosoluble	CC-2 o mezcla (1p. DO-2A +1p. aceite mineral)	---	---	CC-2 o DO-6 ^a
Embutición Profunda	Hidrosoluble	448 o DC-K	---	---	448
	Oleosoluble	DO-29 o mezcla (2 p.+ 1 p. Aceite mineral)	DO-2 ^a o DO-29	DO-29 o mezcla (2 p. DO-2A + 1 p. aceite mineral)	CB-66 o DO-29 o mezcla (2 p. DO-2A + 1 p. Aceite mineral)

Fuente: Stampaggio A. Freddo Delle Lamiere, pag 73.

Para una comprensión mas clara de las siglas del lubricante a utilizar, se procede a detallar en la Tabla 2.7, la sustancia que corresponde a cada sigla de referencia.

Tabla 2.7 Siglas de Referencia correspondiente a los principales lubricantes

Sustancia	Sigla de Referencia
Pasta de grasa y jabón, no pigmentada hidrosoluble	421
Pasta de grasa jabón y polvo lubricante, hidrosoluble	448
Aceite de base clorada, viscoso, soluble en aceite	DO-2 ^a
Aceite de base clorada, poco viscoso, transparente	DC-2
Mezcla de aceite DO-2 ^a y otros emulsionantes, soluble en aceite	DO-29
Aceite graso, no soluble en Agua pero si en aceite	DO-5 ^a
Aceite graso sulfurado, denso, soluble en aceite	CB-66
Aceite graso sulfurado, soluble en aceite lubricante	DO-6 ^a
Pasta jabonosa, soluble en agua	DC-5
Polvo granular jabonoso de "Film seco", soluble en agua	DC-K
Jabón liquido, soluble en agua	DO-17

Fuente: Stampaggio A. Freddo Delle Lamiere, pag 48.

2.3.5 METODOS DE CALCULO DEL DIAMETRO DE DISCO

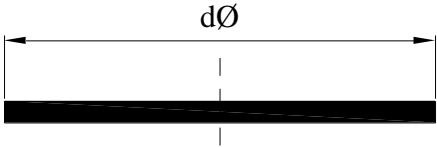
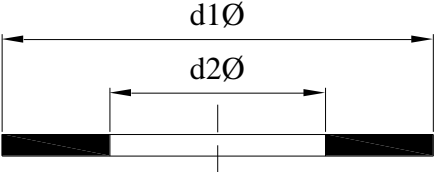
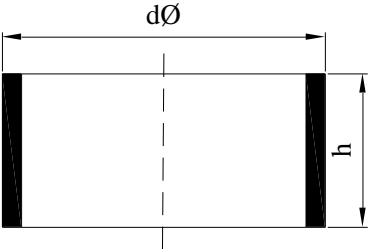
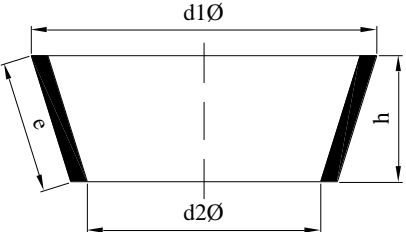
Para realizar el cálculo del recorte necesario para obtener cuerpos redondos es recomendable realizar una división de estos cuerpos en elementos independientes.

La Tabla 2.8 indica los 17 elementos de superficies características mas conocidos. Desde A hasta H aptos para superficies de embutición plana mas importantes, desde I hasta R los adecuados para superficies redondeadas.

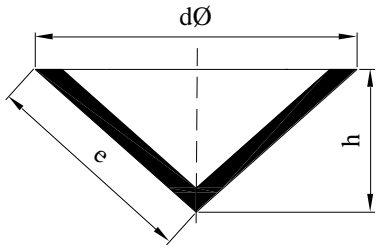
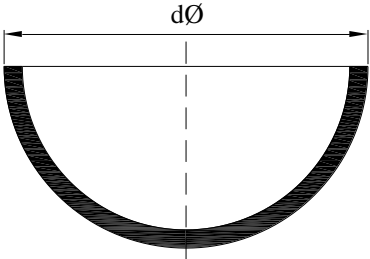
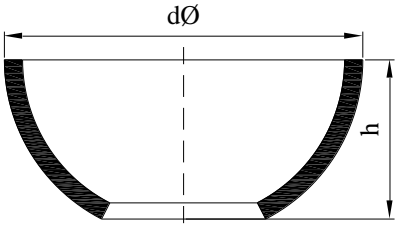
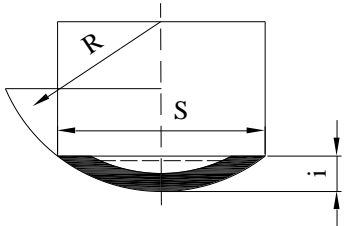
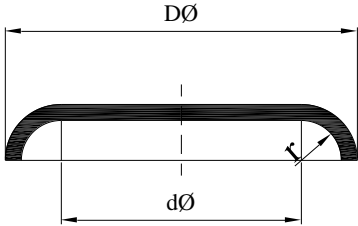
Para el cálculo del disco de chapa, el lugar de la superficie F, es mas útil la

expresión $\frac{4}{\pi} * F$, puesto que, sacando la raíz cuadrada de este valor se obtiene el diámetro citado para cada uno de los elementos de superficie característica.

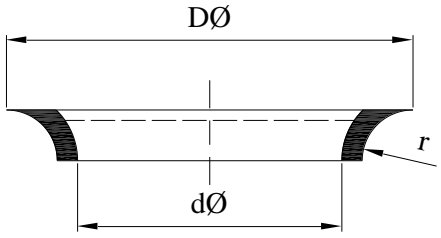
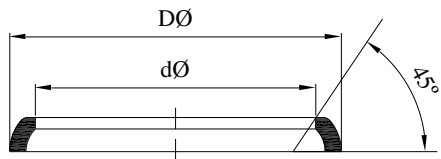
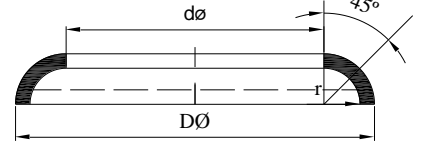
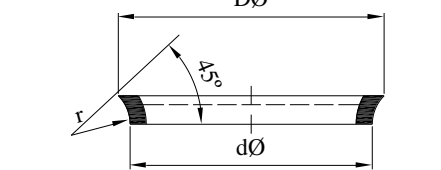
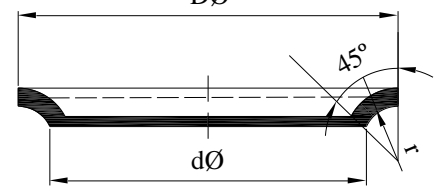
Tabla 2.8 Elementos de superficie para el cálculo del recorte

Elementos de Superficie	Área F	$\frac{4}{\pi} * F$
<p>A.</p> 	$\frac{\pi}{4} * d^2$	d^2
<p>B.</p> 	$\frac{\pi}{4} * (d1^2 - d2^2)$	$d1^2 - d2^2$
<p>C.</p> 	$\pi * d * h$	$4 * d * h$
<p>D.</p> 	$\frac{\pi * e}{2} * (d1 + d2)$ $= \frac{\pi * (d1 + d2)}{2} * \sqrt{h^2 + \frac{(d1 - d2)^2}{4}}$	$2 * e * (d1 + d2)$ $= 2 * (d1 + d2) * \sqrt{h^2 + \frac{(d1 - d2)^2}{4}}$

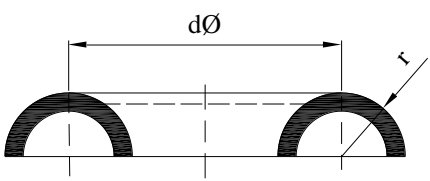
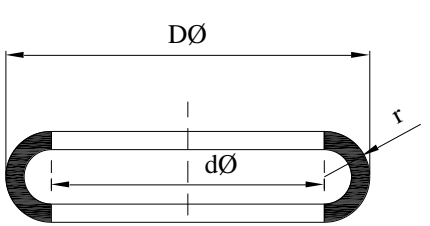
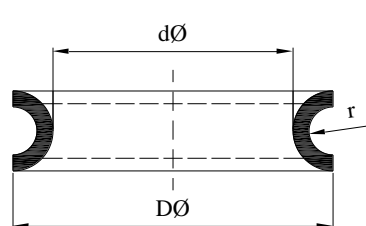
Continuación... Tabla 2.8 Elementos de superficie para el cálculo del recorte.

<p>E.</p> 	$\frac{\pi * d * e}{2}$ $= \frac{\pi * d}{2} * \sqrt{\frac{d^2}{4} + h^2}$	$2 * d * e$ $= 2 * d * \sqrt{\frac{d^2}{4} + h^2}$
<p>F.</p> 	$\frac{\pi * d^2}{2}$	$2 * d^2$
<p>G.</p> 	$\pi * d * h$	$4 * d * h$
<p>H.</p> 	$\pi * d * i = 2 * R * i * \pi$ $= \frac{\pi}{4} * (s^2 + 4 * i^2)$	$4 * d * i$ $= 8 * R * i$ $= s^2 + 4 * i^2$
<p>I.</p> 	$\frac{\pi^2 * r}{2} * (d + 1.3 * r)$ $= \frac{\pi^2 * r}{2} * (D - 0.7 * r)$	$2 * \pi * r * (d + 1.3 * r)$ $= 2 * \pi * r * (D - 0.7 * r)$

Continuación... Tabla 2.8 Elementos de superficie para el cálculo del recorte.

<p>K.</p> 	$\frac{\pi^2 * r *}{2}$ $(d + 0.7 * r)$ $= \frac{\pi^2 * r *}{2}$ $(D - 1.3 * r)$	$2 * \pi * r *$ $(d + 0.7 * r)$ $= 2 * \pi * r *$ $(D - 1.3 * r)$
<p>L.</p> 	$\frac{\pi^2 * r *}{4}$ $(d + 0.4 * r)$ $= \frac{\pi^2 * r *}{4}$ $(D - 0.2 * r)$	$\pi * r *$ $(d + 0.4 * r)$ $= \pi * r *$ $(D - 0.2 * r)$
<p>M.</p> 	$\frac{\pi^2 * r *}{4}$ $(d + 0.74 * r)$ $= \frac{\pi^2 * r *}{4}$ $(D - 0.68 * r)$	$\pi * r *$ $(d + 0.74 * r)$ $= \pi * r *$ $(D - 0.68 * r)$
<p>N.</p> 	$\frac{\pi^2 * r *}{4}$ $(d + 0.2 * r)$ $= \frac{\pi^2 * r *}{4}$ $(D - 0.4 * r)$	$\pi * r *$ $(d + 0.2 * r)$ $= \pi * r *$ $(D - 0.4 * r)$
<p>O.</p> 	$\frac{\pi^2 * r *}{4}$ $(d + 0.68 * r)$ $= \frac{\pi^2 * r *}{4}$ $(D - 0.74 * r)$	$\pi * r *$ $(d + 0.68 * r)$ $= \pi * r *$ $(D - 0.74 * r)$

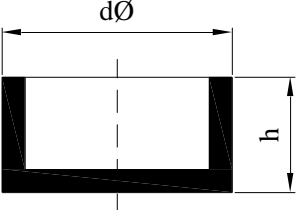
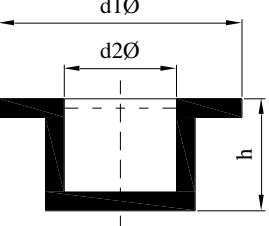
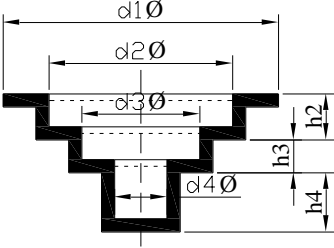
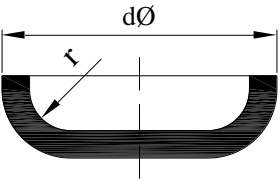
Continuación... Tabla 2.8 Elementos de superficie para el cálculo del recorte.

<p>P.</p> 	$\pi^2 * r * d$	$4 * \pi * r * d$
<p>Q.</p> 	$\pi^2 * r * (d + 1.27 * r)$ $= \pi^2 * r * (D - 0.73 * r)$	$4 * \pi * r * (d + 1.27 * r)$ $4 * \pi * r * (D - 0.73 * r)$
<p>R.</p> 	$\pi^2 * r * (d + 0.73 * r)$ $= \pi^2 * r * (D - 1.27 * r)$	$4 * \pi * r * (d + 0.73 * r)$ $4 * \pi * r * (D - 1.27 * r)$

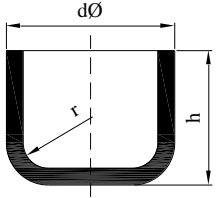
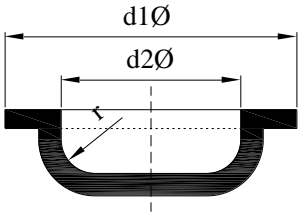
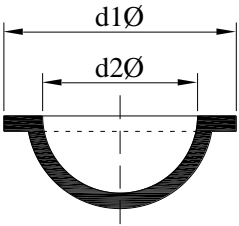
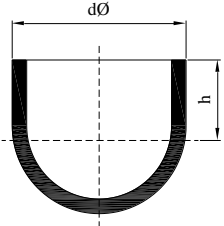
Fuente: Herramientas de Troquelar, Estampar y Embutir, Oehler - Kaiser, pag. 350-351

En la Tabla 2.8 se indican una serie de formas distintas para recipientes, las cuales aparecen muy a menudo; se acompañan la fórmula de cálculo para el diámetro del disco de chapa y se relacionan los elementos según la Tabla 2.9, de que esta compuesto cada recipiente, habiéndose constituido la fórmula de cálculo de acuerdo con ellos.

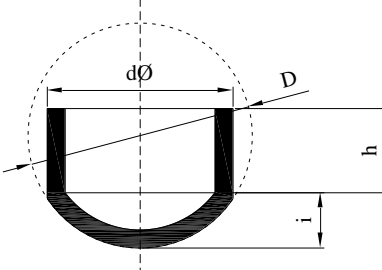
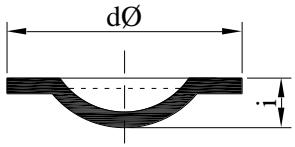
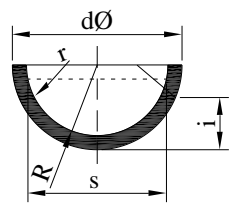
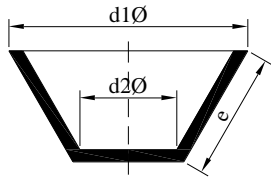
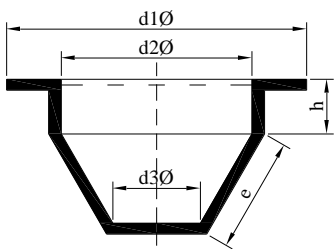
Tabla 2.9 Diámetro D1 de los discos de chapa necesarios para obtener diversas formas y recipientes.

Forma de Recipiente	\varnothing disco de chapa = $\sqrt{\frac{4}{\pi} * F}$	Elementos
<p>a.</p> 	$\sqrt{d^2 + 4 * d * h}$	A+C
<p>b.</p> 	$\sqrt{d1^2 + 4 * d2 * h}$	A+C+B =A1+C
<p>c.</p> 	$\sqrt{d1^2 + 4(d2h2 + d3h3 + d4h4)}$	A+C+B+ +C+B+C+ +B =A1+C2+ +C3+C4
<p>d.</p> 	$\sqrt{(d - 2r)^2 + 2\pi * r(d - 0.7r)}$	A+J

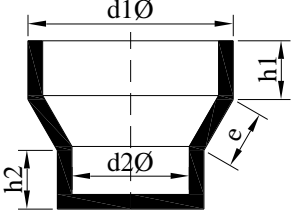
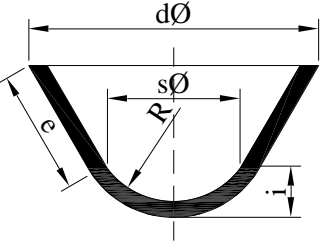
Continuación... Tabla 2.9 Diámetro D1 de los discos de chapa necesarios para obtener diversas formas y recipientes.

<p>e.</p> 	$\sqrt{(d - 2r)^2 + 4d(h - r) + 2\pi r(d - 0.7r)}$	<p>A+C+J</p>
<p>f.</p> 	$\sqrt{d1^2 - d2^2 + (d2 - 2r)^2 + 2\pi r(d2 - 0.7r)}$	<p>A+J+B</p>
<p>g.</p> 	$\sqrt{d1^2 + d2^2}$	<p>F+B</p>
<p>h.</p> 	$\sqrt{2d^2 + 4dh}$	<p>F+C</p>

Continuación... Tabla 2.9 Diámetro D1 de los discos de chapa necesarios para obtener diversas formas y recipientes.

<p>i.</p> 	$\sqrt{4dh + 4Di} \quad \text{ó} \quad \sqrt{4dh + d^2 + 4i^2}$	<p>H+C</p>
<p>k.</p> 	$\sqrt{d^2 + 4i^2}$	<p>H+B</p>
<p>l.</p> 	$\sqrt{s^2 + 4*i^2 + \pi*r*(d - 0.2*r)}$	<p>H+L</p>
<p>m.</p> 	$\sqrt{d2^2 + 2*e*(d1 + d2)}$	<p>A+D</p>
<p>n.</p> 	$\sqrt{d3^2 + 2*e*(d2 + d3) + 4d2h + d1^2 - d}$	<p>A+D+C+B</p>

Continuación... Tabla 2.9 Diámetro D1 de los discos de chapa necesarios para obtener diversas formas y recipientes.

<p>o.</p> 	$\sqrt{d2^2 + 4d2h2 + 2e(d1 + d2) + 4d1h1}$	<p align="center">A+C+D+C</p>
<p>p.</p> 	$\sqrt{s^2 + 4 * i^2 + 2 * e * (d + s)}$	<p align="center">H+D</p>

Fuente: Herramientas de Troquelar, Estampar y Embutir, Oehler - Kaiser, pag. 352-353

REGLA DE GULDIN

En cuerpos huecos complicados, que no pueden dividirse en elementos de superficie característica tales como los de la tabla 2.9 puede obtenerse la superficie total aplicando la siguiente regla:

Si una curva plana gira alrededor de un eje situado en un mismo plano, la superficie descrita por la curva, tiene un área igual al producto de la longitud de la curva por el trayecto descrito por su centro de gravedad.

La obtención de las dimensiones del recorte mediante cálculo presupone que el volumen del cuerpo después de la embutición es el mismo que tenía antes de realizar la operación, y sobre todo, que el espesor de la chapa continúa invariable

2.3.6 FUERZA DE EMBUTICION

La fuerza ejercida por un punzón en una embutición cilíndrica depende principalmente de la resistencia media a los cambios de forma, del diámetro de embutición, del diámetro del recorte y del espesor del material.

Esta fuerza crece con bastante rapidez al iniciarse la carrera del punzón y alcanza su valor máximo cuando este queda introducido hasta una profundidad determinada en el aro de embutición, profundidad que corresponde a la suma del radio de la arista de dicho aro con el radio del canto inferior del punzón.

Los pequeños huelgos de embutición tienen especial influencia, puesto que, debido al acortamiento del diámetro durante la operación de embutición, el efecto de recalado que ello acarrea, origina un aumento del espesor de la chapa hacia el borde o parte superior de la pared lateral, con lo que el material queda prendido, y eventualmente puede romperse.

El valor de esta fuerza se determina mediante la Ecuación 2.17:

$$P_z = 5 * d_p * t * k_{fm} * \ln \beta \quad (2.17)$$

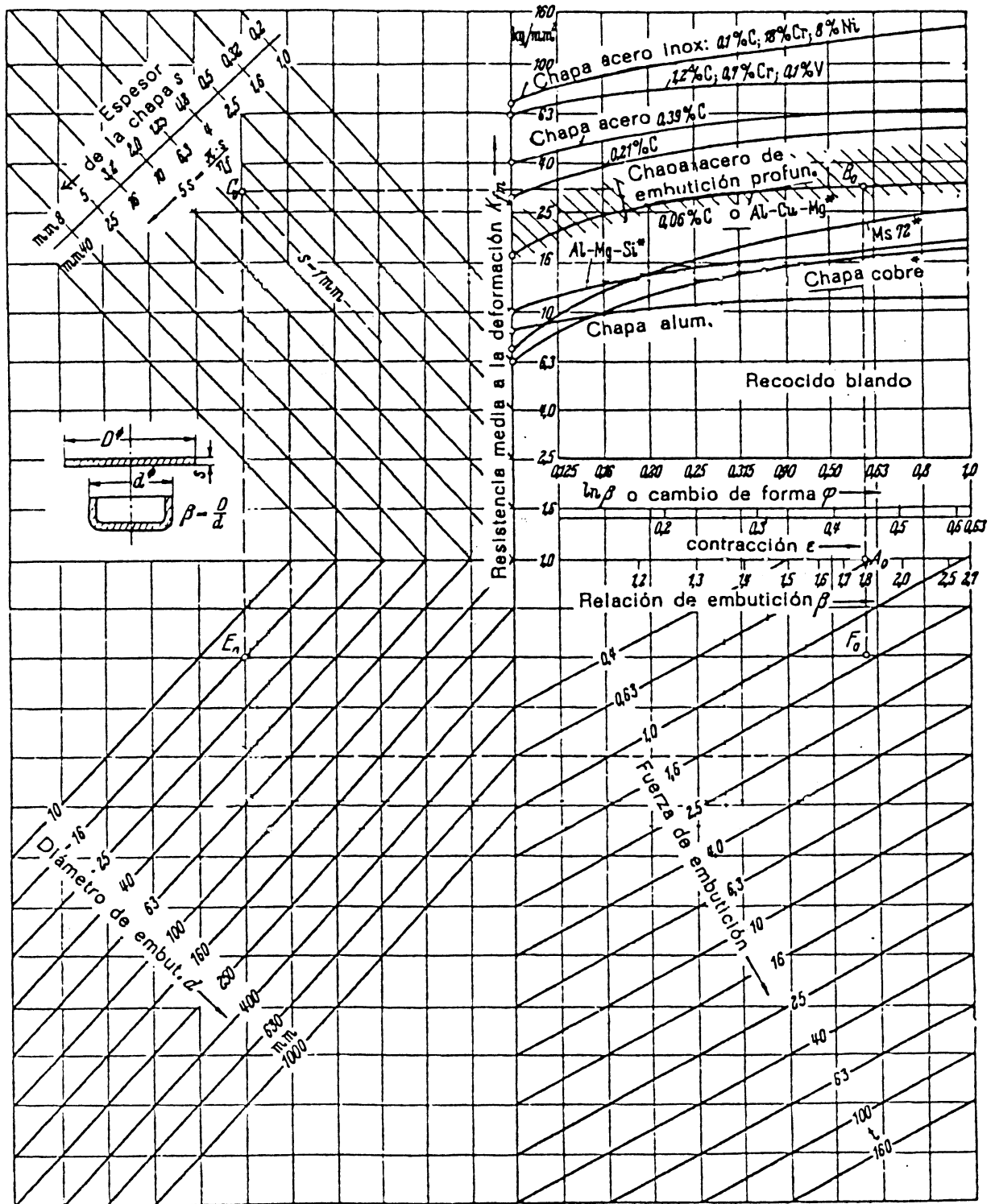
Donde:

P_z =Fuerza de Embutición; d_p = Diámetro de punzón de embutición; t = Espesor de la chapa (mm.); k_{fm} = Resistencia media al cambio de forma (Kg./mm²), este valor solo puede obtenerse mediante gráficos y β = Relación de embutición

$$\beta = \frac{D}{d}$$

METODO GRAFICO: Una forma más sencilla de obtener la fuerza de embutición según Siebel y Oehler es mediante la Figura 2.18.

Figura 2.18 Diagrama de Fuerzas de Embutición según Siebel y Oehler



En el cuarto superior de la derecha del grupo de cuatro diagramas de la Figura 2.18 se han trazado las curvas de la resistencia media al cambio de forma para

distintos materiales. Por tanto para un determinado valor β , puede obtenerse gráficamente, en el diagrama de arriba a la derecha, el valor k_{fm} .

Trazando desde el punto obtenido una horizontal hacia el cuarto superior de la izquierda, hasta que corte a una de las líneas inclinadas de 45° , que representan en cada caso el valor del espesor en milímetros de la chapa, s , multiplicado por 5, y bajando una vertical desde el punto de intersección hasta cortar, en el cuarto inferior de la izquierda, y la recta correspondiente al diámetro d del punzón de embutición, se obtiene otro punto de intersección desde que se traza una horizontal hacia la derecha, hasta cortar en el cuarto inferior de la derecha, la línea vertical que se baja desde el correspondiente valor β . Este último punto de intersección da la fuerza de embutición.

Aplicación de la Figura 2.18: Se desea embutir un recipiente, de diámetro interior $d=16$ mm., partiendo de un recorte, de diámetro $D=29$ mm., de chapa para embutir de 1mm de espesor, de acero con un 0.06% contenido de Carbono. En este caso $\beta= D/d=1.8$. Tomando este valor sobre la escala de β encontramos el punto A_o y, por él, trazamos una vertical que se prolonga tanto hacia arriba como hacia abajo, por lo que corta la curva relativa al material en el punto B_o . Por este punto se traza una horizontal que corta en el punto C_o a la recta inclinada de 45° correspondiente a $s=1$ mm., obtenido por interpolación. A continuación, desde C_o se traza una vertical que corta en el punto E_o a la línea inclinada de 45° correspondiente al diámetro del punzón d de 16 mm., en el diagrama situado debajo a la izquierda. Seguidamente se obtiene el valor de F_o correspondiente a la fuerza de embutición, trazando la horizontal por el punto E_o hasta cortar la vertical que pasa por el punto A_o . El valor de la fuerza de embutición así obtenido es, aproximadamente, de 1.5 Ton= 1.5 Mp. = 15 KN.

2.3.7 EMBUTICION DE PIEZAS DE ESPESOR VARIABLE (ESTIRAJE)

La operación de embutición por estirado consiste en hacer pasar, en operaciones sucesivas, un objeto embutido previamente a través de una placa que tiene un orificio (pasador) de diámetro ligeramente inferior al del recipiente que se desea estirar, hasta que toma la altura y el espesor que previamente se

han establecido. El resultado obtenido es una mayor longitud, con un adelgazamiento de las paredes laterales del objeto, manteniendo el espesor de la base constante e igual al del disco origen.

Fundamentalmente, la construcción de objetos por este procedimiento no es más que un proceso de trefilado en frío, en el cual las propiedades mecánicas del material son fundamentales además condición indispensable en el material es debe estar completamente recocido, el tanto por ciento de reducción del espesor, para cada pasada u operación, dependerá por lo tanto de la calidad del material y de su ductilidad. El diámetro requerido y el espesor del disco necesario vienen determinados por el volumen de la pieza; para ello con la ayuda de la Figura 2.19 y de la Ecuación 2.18.

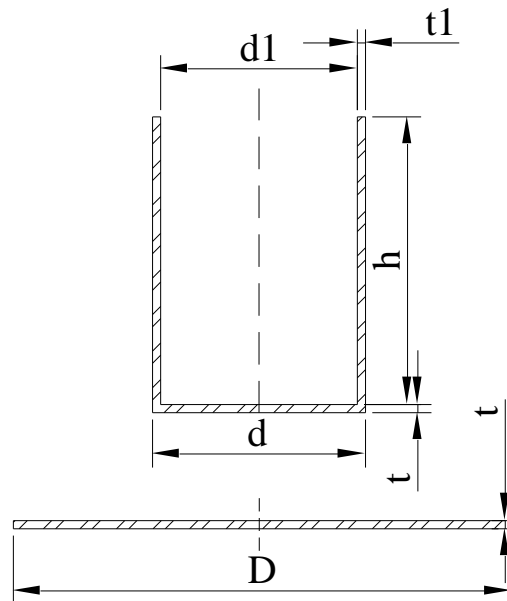


Figura 2.19 Determinación del diámetro y espesor requeridos para una embutición por estirado.

$$D = \sqrt{d^2 + (d^2 - d1^2) * \frac{h}{t}} \quad (2.18)$$

Donde:

D= Diámetro de disco de corte; d y d1= diámetro exterior y diámetro interior respectivamente del recipiente estirado; h= altura del recipiente y t= espesor del disco de recorte.

Es conveniente, entre cada dos operaciones, efectuar un recocido en el material, y así mismo se favorece mucho el proceso de estirado cobreando las piezas antes de cada pasada.

PRESIONES NECESARIAS PARA EL ESTIRADO.- Las presiones necesarias en cada estirado dependen de la sección estirada en cada operación. Se determina por medio de la Ecuación 2.19

$$p = d^2 * \pi * S_s * K_s \quad (2.19)$$

Donde:

p= presión necesaria para el estirado; d= Diámetro del recipiente después de estirado; S_s = Espesor de la pared estirada (diferencia entre el espesor de la pared antes y después del estirado) y K_s= Presión específica que depende del material, resistencia y cantidad de estirado.

2.3.8 EMBUTICION EN VARIAS FASES

Debido a la vigorosidad de ciertas embuticiones, en las que el diámetro de la pieza es muy pequeño en relación con la altura de la misma, es preciso efectuar la transformación en mas de una operación, debiendo determinar con la mayor exactitud posible la relación diámetro – profundidad, para cada una de las operaciones intermedias que deben efectuarse antes de obtener la pieza acabada.

Generalmente puede embutirse en una sola operación aquellas piezas pequeñas cuya profundidad es igual a la mitad del diámetro; tratándose de piezas grandes, solo pueden embutirse piezas cuya altura sea un tercio del diámetro de las mismas, para embuticiones mayores son necesarias mas operaciones.

La Figura 2.20 indica una secuencia de operaciones para un objeto cilíndrico de acero dulce.

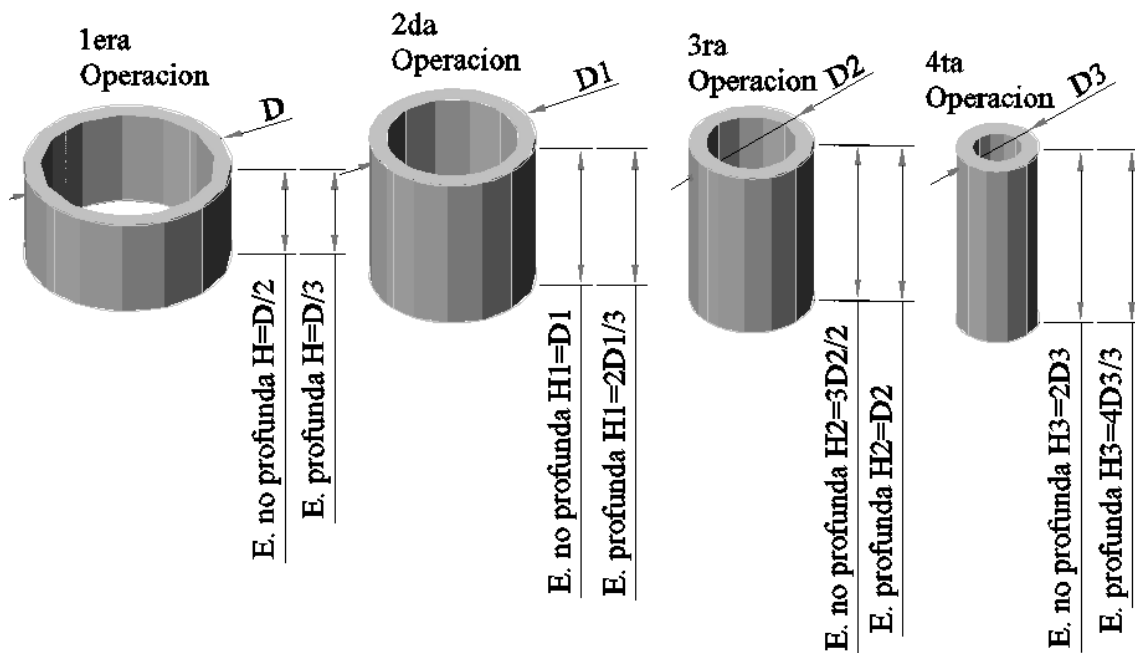


Figura 2.20 Secuencia de operaciones necesarias para la construcción de piezas según la relación de la profundidad de embutición con el diámetro.

De ella se deduce que el número n de operaciones necesarias para obtener un recipiente viene dado por la Ecuación 2.20:

$$n = \frac{h}{\alpha * d_m} = \frac{m * d_m}{\alpha * d_m} = \frac{m}{\alpha} \quad (2.20)$$

Por ejemplo:

$$m = \frac{h}{d} = 2 \frac{d_3}{d_3} = 2$$

Donde:

m = Número del diámetro,; d_m = Diámetro medio del recipiente; α = Factor alfa, $1/2$ para piezas de pequeñas dimensiones; $1/3$ para piezas de grandes dimensiones.

Las causas que principalmente exigen operar en varios tiempos, en las embuticiones profundas, estriban principalmente en la imposibilidad del material de poder resistir la elevada tensión radial que se desarrolla durante el proceso, la cual es función de la relación D/d .

2.3.9 DEFECTOS EN EL PROCESO DE EMBUTICION

En el proceso de embutición se presentan los siguientes defectos:

1. LÍNEAS DE FLUENCIA.- Se denominan también Lüders, aparecen en la zona del límite de alargamiento, dependiendo, por tanto, de este, o también, de la forma de la pieza, ya que, según esta, el comportamiento anisótropo del material hace que se inicie la deformación plástica en algunas zonas, mientras que en otras todavía no ha aparecido.

2. RELACION DE LIMITES DE RESISTENCIA A LA TRACCION S_y/S_u DESFAVORABLE.- Si la tensión correspondiente a S_y se aproxima demasiado al límite de rotura S_u , la diferencia que queda para que tenga lugar la compensación de tensiones es insuficiente para una deformación mediante embutición, por lo tanto la relación de límites de resistencia a la tracción debe ser lo menor posible, es decir, $S_y/S_u < 0.85$.

3. RETROCESO ELÁSTICO Y FORMACIÓN DE ARRUGAS.- En el proceso de embutición se puede apreciar este defecto mediante un factor k correspondiente a la reducción del diámetro. Las piezas que al ser embutidas sufren un adelgazamiento de sus paredes, no muestran este efecto de retroceso o reacción elástica.

Este fenómeno queda notablemente reducido por medio de paredes laterales verticales, acanaladuras estampadas o cualquier estampación hueca, así como con radios de redondeado pequeños en las esquinas del contorno del borde, y mejorando el engrase; en cambio, los radios grandes en la arista de embutición elevan al posibilidad de que aparezca el fenómeno.

4 Y 5. DEFECTOS PRESENTADOS POR LA CHAPA.- La aparición de tales defectos ocurre muy raramente, se detectan fácilmente en aquellas zonas en donde la pieza ha sufrido relativamente pocas sollicitaciones con la embutición y, a pesar de ello, aparece una rotura.

6. CORROSION EN PIEZAS DE LATON DEBIDA A LAS TENSIONES.- El origen de este fenómeno esta en que, debido a la fuerte deformación en frío, se han originado tensiones interiores y exteriores cuya acción nociva se pone de manifiesto en virtud del efecto corrosivo de los agentes atacantes, siendo para ello suficientes el amoniaco que esta presente en el aire.

7. MALA COLOCACION.- Frecuentemente, ocurre que, debido a las zonas estrechas que presentan poca resistencia a la deformación, la chapa se embute unilateralmente por encima de la arista de embutición y se deforma para dar lugar a la pared lateral, mientras que en las restantes zonas de la brida de la chapa todavía no se inicia esta embutición.

8. DIFERENCIAS DE ESPESOR EN LA CHAPA.- La comprobación de que una embutición incorrecta ha sido originada por diferencias de espesor en la chapa, la ofrece la verificación del espesor de la brida en las distintas zonas del contorno, a distancias iguales de la arista de embutición.

9. GRADACIÓN¹² EXCESIVA EN LA ELECCIÓN DE LAS FASES DE EMBUTICION.- El escalonado de embutición excesivamente grande en relación con la facilidad de embutición de un material, es frecuentemente un motivo de aparición de roturas en las piezas embutidas.

10. CHAPA DE POCA CALIDAD.- La señal característica de que la calidad de la chapa no es la adecuada consiste en la formación de fisuras en la dirección de laminación y la aparición de sinuosidades como las indicadas en el número 15 de la Tabla 2.10.

11. PUNZÓN DESCENTRADO.- El punzón descentrado en una medida e con respecto al aro de embutición, razón por la cual las piezas embutidas se rompen en la zona más estrecha del huelgo de embutición.

¹² Gradación: Relación máxima entre el diámetro de disco de recorte y el diámetro del punzón, la cual varia de acuerdo al material.

12. FORMACION DE FLECOS EN EL BORDE LATERAL.- Debido a una presión insuficiente del prensa chapas y a un redondeado demasiado grande de la arista de embutición, se forman pliegues que se aplanan en la zona en donde aparecen, o sea, en el interior de la pared lateral.

13. FORMACION DE SOPLADURAS EN EL CANTO Y EN LAS ESTRIAS DE LA PARED LATERAL.- Si la formación de sopladuras o burbujas se reparte de forma distinta en varias piezas embutidas con la misma matriz, y si aparecen con mayor intensidad cuando el engrase ha sido mas generoso que cuando se ha engrasado poco la herramienta, pueden corregirse tales inconvenientes mejorando la salida de desaireación.

14. DESGARROS PRODUCIDOS DEBAJO DE LA BRIDA DE LA CHAPA.- Este tipo de desgarros indicados en la Figura 7 de la Tabla 2.10 no se presentan muy frecuentemente puesto que, en la mayoría de los casos, las roturas se producen en las proximidades del borde del fondo y se presentan en aquellas piezas de embutición en las que, al diseñar la matriz, no se tuvo en cuenta que ha de dejarse, para el material comprimido un huelgo de embutición mayor en las esquinas que en los costados de la pieza.

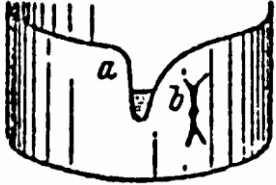
15. VESTIGIOS DE PRESION LUSTROSOS EN EL CANTO DE LA PARED LATERAL.- Estos vestigios son inevitables principalmente en piezas embutidas de chapa gruesa y no tienen ningún significado a su utilización posterior, siempre que, a consecuencia del aplastamiento, no se originen daños en la arista de embutición o que el cuerpo se rompa en aquella zona.

16. HUELGO EXCESIVAMENTE GRANDE Y FORMACIÓN DE LABIOS EN EL CANTO DE LA PARED LATERAL.- La consecuencia inmediata de un huelgo de embutición excesivo es la aparición de un labio en el canto superior de la pared lateral, así como de un abombado simultaneo de la pared, si no se exige una exactitud muy elevada en las dimensiones de la pieza embutida, este defecto carece de importancia, teniendo en cuenta, además, que, cuando se recorta el canto, desaparecerá el labio formado.

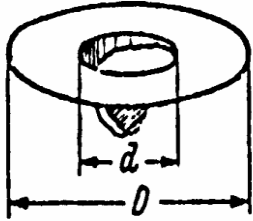
17. ESTRANGULAMIENTO ENCIMA DEL BORDE DEL FONDO.- En las piezas embutidas de paredes gruesas y con poco redondeado en el fondo aparece un estrangulamiento alrededor de este, que tiene relación con un pequeño debilitamiento de la pared en dicho lugar.

18. DEFECTOS EN PIEZAS EMBUTIDAS NO CILINDRICAS.- En piezas embutidas no cilíndricas, especialmente en las rectangulares, las causas de los defectos se deben casi siempre a un diseño incorrecto del recorte.

Tabla 2.10 Defectos de Embutición


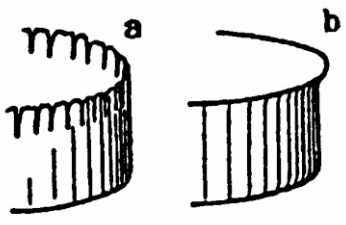
N.	Características externas Aspecto del defecto	Motivo del Defecto
1	 <p data-bbox="443 719 512 748">Fig. 1</p>	Demasiado tiempo de almacenaje; transporte o almacenamiento con calor excesivo.
2		Relación de estirado demasiado grande
3		Relación r/s demasiado grande
4		a) Rotura unilateral o pequeñas roturas transversales (véase la rotura a en las fig. 1 y 8 de esta tabla)
5		b) Pliegues de aspecto (Fig. 1)
6		c) Varias roturas a que, en piezas de latón, aparecen posteriormente.

Continuación... Tabla 2.10 Defectos de Embutición.


7	 <p data-bbox="432 1720 501 1749">Fig. 2</p>	Poco después de iniciarse la formación de la pared lateral, se desprende el fondo, quedando unido solo por un lado (Fig. 2).a)	Colocación descentrada del recorte.
8		b) La brida de chapa es mas ancha que la normal en dos zonas enfrentadas.	Espesor desigual de la chapa.
9		c) Brida de chapa de anchura uniforme.	El escalonado de embuticiones previsto es excesivo y no corresponde a la idoneidad del material para la embutición.
10			



1		d) Huellas de compresión intensas en comparación con la constitución del fondo, en la parte inferior rasgada de la pared lateral.	El punzón se desplaza en posición descentrada respecto al aro de la matriz.
---	--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------

Continuación... Tabla 2.10 Defectos de Embutición.

12	 <p>Fig. 3</p>	Las huellas de compresión en el borde de la pared lateral presentan, en las zonas opuestas t e i, distinta altura. (Fig. 3).	El punzón está inclinado respecto al aro de embutición.
13	 <p>Fig. 4</p>	El fondo se desgarró por todo el contorno, sin que se forme pared lateral.	El útil de embutir actúa como un útil de corte porque: a) El redondeado de la arista de embutición es demasiado agudo. b) El huelgo de embutición demasiado estrecho. c) La velocidad de embutición es excesiva.
14		El borde de la pared lateral presenta flecos con pliegues verticales, por lo demás, serían correctas (Fig 4a); o formación de labios.(Fig 4b)	a) Huelgo de embutición demasiado grande. b) Redondeado de la arista de embutición demasiado grande.

Continuación... Tabla 2.10 Defectos de Embutición.

15	 <p>Fig. 5</p>	Formación de sinuosidades en el borde. a) Sinuosidades formadas a 90° una de otra (Fig. 5)	Aparición inevitable de chapas anisótropas debe a la estructura de rodillos de laminación.
----	----------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------

			orientación de los cri
16		b) Formación irregular de Sinuosidades.	Espesor desigual chapa.
17	 Fig. 6	Formación de sopladuras en el borde del fondo (Fig. 6); a veces también se abomba el fondo.	a) Mala expulsión de b) Arista de embutición desgastada.
18	 Fig. 7	En una embutición casi correctamente obtenida aparece una brida con pliegues y con fisuras debajo que, en la mayoría de los casos son horizontales (Fig. 7)	a) Presión del pistón de chapas demasiado pequeño. b) Huelgo de embutición demasiado estrecho. c) Redondeado de borde con radio grande.

Continuación... Tabla 2.10 Defectos de Embutición.

19		Vestigios de presión H, lustrosos.	Huelgo de embutición demasiado estrecho.
20		Formación de labios (Fig. 4b) con pared lateral abombada.	Huelgo de embutición demasiado grande.
21		Estrangulamiento por encima del borde del fondo.	

CAPITULO 3

3. MATERIALES DUCTILES

3.1 CONCEPTOS BASICOS

La ductilidad¹³ es la propiedad que presentan algunos metales y aleaciones cuando, bajo la acción de una fuerza, pueden estirarse sin romperse permitiendo obtener alambres o hilos. A los metales que presentan esta propiedad se les denomina dúctiles.

En un ensayo de tracción, los materiales dúctiles presentan una fase de fluencia caracterizada por una gran deformación sin apenas incremento de la carga.

Desde un punto de vista tecnológico, al margen de consideraciones económicas, el empleo de materiales dúctiles presenta ventajas:

- **En la fabricación: ya que son aptos para los métodos de fabricación por deformación plástica.**
- **En el uso: presentan deformaciones notorias antes de romperse. Por el contrario, el mayor problema que presentan los *materiales frágiles*¹⁴ es que se rompen sin previo aviso, mientras que los materiales dúctiles sufren primero una acusada deformación, conservando aún una cierta reserva de resistencia, por lo que después será necesario que la fuerza aplicada siga aumentando para que se provoque la rotura.**

La ductilidad de un metal se valora de forma indirecta a través de la resiliencia¹⁵.

¹³ Es la capacidad de ciertos materiales de poder deformarse plásticamente y extenderse en forma de hilos cuando son sometidos a esfuerzos de tracción.

¹⁴ Materiales que frente a esfuerzos bruscos sufren rotura mediata.

¹⁵ Es la capacidad de un material de absorber energía en la zona elástica al someterlo a un esfuerzo de rotura.

3.2 TIPOS DE ALEACIONES

Los metales ferrosos, en particular el acero y el hierro gris, ocupan un lugar tan predominante en la economía que, para su exposición, los metales se dividen en grupos de ferrosos y no ferrosos.

La relación en resistencia a peso con frecuencia es importante.

Tabla 3.1 Metales No Ferrosos

METALES NO FERROSOS	
ALEACIONES LIGERAS	ALEACIONES PESADAS
Base de Aluminio	Base de Cobre
Base de Magnesio	Base de Zinc
Base de Titanio	Base de Níquel
Base de Berilio	Base de Estaño
	Base de Plomo

3.2.1 EL COBRE Y SUS ALEACIONES

En las aleaciones de cobre las conductividades eléctrica¹⁶ y térmica son propiedades secundarias, siendo el objetivo principal conseguir buenas propiedades mecánicas, facilidad de conformación, tanto por forja como por moldeo, y alta resistencia a la corrosión¹⁷.

Esta última propiedad quizás sea la más importante, puesto que, al igual que los aceros inoxidable especiales, el cobre es el único metal apto para ambientes agresivos con un costo considerablemente más bajo que el de los aceros.

¹⁶ Capacidad de los metales para conducir o ser buenos conductores de la electricidad.

¹⁷ Capacidad que poseen ciertos metales para evitar la oxidación producida por el ambiente y sus agentes.

Las aleaciones que tienen como base el cobre son los latones y los bronce. En los primeros el elemento de aleación es el cinc y en los segundos es el estaño.

1.1.1. 3.2.2 EL BRONCE Y SUS ALEACIONES

Los bronce son aleaciones de cobre y estaño, con un porcentaje en este último de entre un 3 y un 40%, aunque no se suele sobrepasar el 32%. Las propiedades de los bronce dependen de la proporción de estaño, pero en general, a medida que aumenta, el material resulta con mayor resistencia mecánica y a la corrosión, pero con menor conductividad eléctrica, más dura pero frágil. El color también varía de un rojo pálido hasta el amarillo a medida que aumenta la proporción de estaño.

Los bronce se dividen en dos grandes grupos, bronce especiales y bronce ordinarios, según contengan o no terceros elementos en la aleación.

1.1.1.1. Bronces Aleados

Son aquellos que contienen, además de cobre y estaño (aunque éste último puede no estar presente), uno o varios elementos adicionales que mejoran sus propiedades o les aportan propiedades específicas. Entre estos elementos tenemos el níquel, aluminio, plomo, berilio, etc.

Bronce al aluminio o cuproaluminio: Poseen contenidos de aluminio de hasta un 12%. Son materiales dúctiles y maleables, con buenas propiedades mecánicas y contra la corrosión, difíciles de moldear pero fáciles de forjar.

1.1.2. 3.2.3 EL LATON Y SUS ALEACIONES

Estas aleaciones poseen un contenido en cinc máximo de 50%, pues a porcentajes superiores, las aleaciones resultantes son muy frágiles. En general, poseen las propiedades esenciales del cobre (dúctiles, maleables, buenos conductores, etc.), pero con un menor costo, mayor facilidad para ser trabajados y algo más de resistencia mecánica.

Su color varía entre un gris oscuro hasta un amarillo a medida que disminuye el contenido en cinc. Los latones se dividen, al igual que los bronce, en ordinarios y en aleados.

Los latones ordinarios son los formados únicamente por cobre y cinc, y pueden dividirse en dos grupos: latones para moldeo y latones para forja. Los latones para moldeo requieren de pequeñas cantidades de otros elementos que faciliten su moldeabilidad.

Por su parte, los latones para forja se dividen a su vez en latones rojos, utilizados en joyería y decoración y en la fabricación de tubos flexibles, y en latones amarillos empleados para la fabricación de muelles y resortes.

Los latones especiales o aleados se comenzaron a preparar con el fin de obtener materiales con características similares a los bronce, con los que se obtenían productos de mejor calidad pero más difíciles de trabajar y más caros económicamente. Sin embargo, presentan el inconveniente de que la preparación de estos latones aleados resulta muy delicada.

Entre los latones especiales tenemos los latones con aluminio y estaño, en cantidades en torno a 1%, y que presentan una gran resistencia a la corrosión por agua marina. La adición de plomo en un 2% mejora la capacidad de mecanizado. Por último, entre los más importantes, tenemos los latones al manganeso, en los que la adición de pequeñas cantidades, en torno a un 2%, de este elemento mejora notablemente las propiedades anticorrosivas y la resistencia mecánica.

La aleación con un 40% de cinc y un 2% de manganeso se conoce como latones de alta resistencia, y se emplea en la fabricación de hélices y aparejos mecánicos.

1.2.

1.3. 3.2.4 EL CINC Y SUS ALEACIONES

El cinc es un metal de color blanco azulado, relativamente blando, extremadamente frágil a temperaturas ordinarias, pero se vuelve maleable entre los 120 y los 150°C, y se lamina fácilmente al pasarlo entre rodillos calientes.

Su aplicación más conocida sea quizás la de elemento protector para el hierro y acero mediante el galvanizado. El galvanizado consiste en la formación de una capa de cinc sobre la pieza a proteger.

1.4. 3.2.5 EL NIQUEL Y SUS ALEACIONES

El níquel es un metal de color blanco brillante, muy duro, tenaz, dúctil y maleable. Puede forjarse en frío y en caliente, estirarse y soldarse. Es muy resistente a la corrosión, tanto de los agentes atmosféricos, como de los ácidos y agentes alcalinos. Tiene propiedades magnéticas por debajo de 345°C, y constituye junto al hierro y el cobalto los metales ferromagnéticos.

Debido a su resistencia a la corrosión se emplea, al igual que el cinc y el cromo, en recubrimientos electrolíticos de metales, proceso conocido por niquelado.

1.5.

1.6. 3.2.6 EL ALUMINIO Y SUS ALEACIONES

El aluminio es el elemento metálico más abundante en la corteza terrestre; sólo los no metales oxígeno y silicio son más abundantes. Se encuentra normalmente en forma de silicato de aluminio puro o mezclado con otros metales como sodio, potasio, hierro, calcio y magnesio, pero nunca como metal libre. Sin embargo, los silicatos no son menos útiles, siendo la única mina de aluminio aprovechable la bauxita.

En el proceso de obtención de aluminio a partir de la bauxita, el consumo de energía es muy elevado, alrededor de 22.000 Kwh. por tonelada.

Además, los electrodos de grafito se desgastan siendo necesaria su reposición (momento que se aprovecha para extraer el aluminio formado). Todo esto hace que la obtención del aluminio sea económicamente costosa. Sin embargo, la energía necesaria para la recuperación del aluminio procedente del reciclaje es notablemente inferior, lo que ha llevado a un gran desarrollo de la industria del reciclaje de aluminio.

1.6.1.

1.6.2. PROPIEDADES Y APLICACIONES

El aluminio es un metal de color blanco plateado, de densidad 2.7 gr/cm^3 y punto de fusión 660°C . Se caracteriza por ser un metal dúctil y maleable, tenaz, de baja resistencia mecánica y buen conductor eléctrico y térmico.

Puede ser laminado tanto en frío como en caliente. Mediante laminación en caliente el espesor mínimo de las chapas es de 5mm, pero en frío pueden alcanzarse espesores de hasta 0.005mm (papel de aluminio).

Presenta una elevada afinidad con el oxígeno, lo que hace que su superficie se oxide rápidamente, adquiriendo un color más oscuro. Sin embargo, la fina capa de óxido formada es totalmente compacta y protege de la oxidación al resto de la masa mecánica.

Esta capa de óxido protector puede formarse de forma voluntaria mediante el proceso denominado anodizado (aluminio anodizado), que consiste básicamente en hacer actuar al aluminio de ánodo en una cuba electrolítica.

Debido a su elevada proporción resistencia-peso es muy útil para construir aviones, vagones ferroviarios y automóviles, y para otras aplicaciones en las que es importante la movilidad y la conservación de energía.

Por su buena conductividad eléctrica y bajo peso, se emplea en la conducción en líneas de alta tensión. Generalmente, los cables empleados consisten en un alma de acero que le da resistencia, rodeada de hilos de aluminio.

Su principal inconveniente radica en que resulta difícil de soldar, debido a la capa de óxido con que se recubre.

1.6.3. ALEACIONES DE ALUMINIO

Por tratarse de un metal muy blando, de baja resistencia mecánica, el aluminio suele alearse con otros elementos tales como: cobre, silicio, magnesio, etc.

ALEACIONES LIGERAS: Son en las que el aluminio puro está presente entre un 80 y un 99%. La obtención de estas aleaciones requiere de una preparación cuidadosa de la dosificación de los distintos componentes, puesto que se manejan elementos con propiedades muy diferentes.

El método más seguro es partir de una aleación madre, es decir, de una aleación con un alto contenido del elemento que se pretende introducir, y luego corregir los porcentajes añadiendo la cantidad necesaria de aluminio.

Las aleaciones de aluminio suelen dividirse en aleaciones para moldeo, y en aleaciones para forja, en las que se incluyen las deformables en frío. Las primeras evitan las grietas, roturas y porosidades al reducirse el coeficiente de contracción.

Dentro de este grupo tenemos las aleaciones con cobre, silicio y cobre. Las de forja se emplean para obtener elevadas resistencias, fabricándose las piezas mediante forja, laminación, estampa, etc. Entre las aleaciones y elementos de aleación más importantes tenemos:

EL COBRE: Se emplea para aumentar la dureza en proporciones de hasta un 15%, pues contenidos superiores hacen frágil la aleación. La aleación con un 4.5% de cobre y un 99.5% de aluminio es la denominada duraluminio, empleada en la construcción.

EL SILICIO: Entra en aleación con porcentajes entre el 5 y 20%. Mejora la resistencia mecánica y a la corrosión, pero sobre todo la fluidez para el moldeo, empleándose esta aleación para la obtención de piezas como cárteres de motores.

EL MAGNESIO: en porcentajes inferiores al 10%, permite obtener aleaciones aún más ligeras que el propio aluminio, pero de una mayor resistencia mecánica y a la corrosión. Se emplean en la fabricación de estructuras resistentes en la industria aeronáutica, naval y del automóvil.

El aluminio AA1100 el cual presenta una pureza del 99.5% y tiene un alto nivel de dureza debido a que es resultado de unirlo con el Cobre presenta excelente resistencia a la corrosión, anodización, soldadura y ductilidad. Entre sus propiedades mecánicas se destacan las siguientes que se observan en la Tabla 3.2

Tabla 3.2 Propiedades Mecánicas del AA1100

Aleación	Su (MPa)	Sy (MPa)	% de Elongación
AA1100	75.46	20.58	25

1.7. 3.2.7 EL TITANIO Y SUS ALEACIONES

El titanio es un metal de color blanco plateado, brillante, ligero que presenta, en general, buena resistencia mecánica; es extremadamente frágil en frío, pero es muy maleable y dúctil al rojo vivo moderado; presenta buena resistencia a la corrosión ambiental debido al pasivado de su capa superficial, y a la de agentes químicos corrosivos.

Debido a su resistencia y su peso ligero, el titanio se usa en aleaciones metálicas y como sustituto del aluminio. Aleado con aluminio y vanadio o molibdeno, se utiliza ampliamente en la industria aeroespacial en la fabricación de elementos de fuselaje, ya que sus aleaciones resultan más duras que el aluminio a igualdad de peso.

3.3 INFLUENCIA DE LOS MATERIALES EN LA EMBUTICION

En la mayoría de los casos el buen resultado del embutido depende de la calidad del material y de su tratamiento. La chapa de cualquier metal, para responder a las características del embutido, debe ser dulce y recocida. Un material poco dúctil no se presta para embutir; si se empleara, daría pésimos resultados y, en la mejor de las hipótesis, obtendríamos piezas agrietadas y sin resistencia.

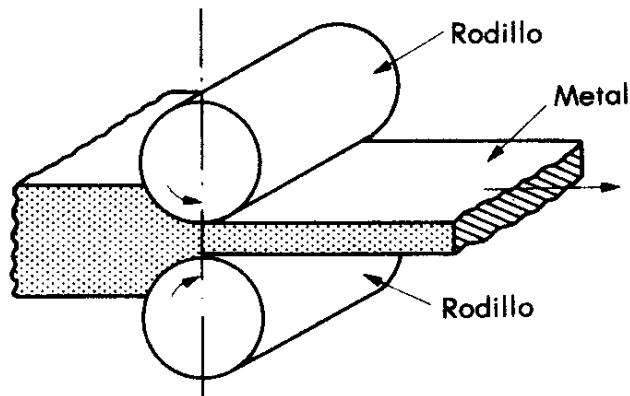
Todo cuanto sucede lo origina la deformación de las fibras del material de la chapa. Se explica por lo siguiente: mientras que empleando un determinado material de chapa se puede realizar un determinado ciclo operativo¹⁸, el empleo de otro material inferior y menos dúctil que el primero no se puede realizar, aun operando con las mismas estampas, ni si quiera la primera del ciclo. Es evidente que la calidad y el tipo de material tienen una gran influencia sobre el número de transformaciones que es necesario para obtener, de una pieza plana de chapa, un objeto hueco.

3.4 PROCESOS DE CONFORMADO MECANICO

3.4.1 LAMINADO

Este es un proceso en el cual se reduce el espesor del material pasándolo entre un par de rodillos rotatorios (Figura 3.1). Los rodillos son generalmente cilíndricos y producen productos planos tales como láminas o cintas. Este proceso de deformación puede llevarse a cabo, ya sea en caliente o en frío.

¹⁸ Ciclo dispuesto para efectuar un trabajo y obtener de forma mediata un producto.



1.7.1.1.1. **Figura 3.1 Laminado.**

3.4.2 FORJA

La forja es el proceso que modifica la forma de los materiales maleables sin arranque de viruta, la energía para este proceso se la obtiene mediante golpes o vía presión (Figura. 3.2).

El proceso se lo realiza en caliente o en frío, en la estampación en frío el material se deforma mas allá de su límite de resistencia, aumentando la tenacidad y disminuyendo el alargamiento, en el proceso en caliente los metales aumentan notablemente su plasticidad y simultáneamente disminuyen su resistencia a la deformabilidad. La energía aplicada en el trabajo de deformación es reducida ya que esta aumenta con la temperatura, se producen piezas uniformes, sólidas, compactas de buenas características mecánicas y de buena exactitud de dimensiones finales.

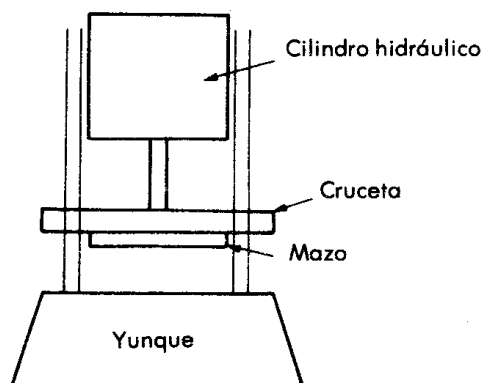


Figura 3.2 Forja.

Los metales forjables más importantes son: el acero, aluminio, aleaciones maleables de aluminio, cobre y aleaciones maleables de cobre, cabe recalcar que el grado de forjabilidad del acero depende fundamentalmente de su composición química y especialmente del contenido de carbono.

1.7.1.1.2. 3.4.3 RECALCADO

El recalcado se utiliza a menudo en la elaboración de ejes que requieren un ensanchamiento en alguna parte, puntas, centro, como también un ensanchamiento local en una pared de una pieza gruesa estampada, en segmentos de tubo y de elementos planos.

3.4.4 EXTRUSION

En este proceso un cilindro o trozo de metal es forzado a través de un orificio por medio de un émbolo, por tal efecto, el metal estirado y extruido tiene una sección transversal, igual a la del orificio del dado.

Hay dos tipos de extrusión, extrusión directa y extrusión indirecta o invertida. En el primer caso, el émbolo y el dado están en los extremos opuestos del cilindro y el material es empujado contra y a través del dado. En la extrusión indirecta el dado es sujetado en el extremo de un émbolo hueco y es forzado contra el cilindro, de manera que el metal es extruido hacia atrás, a través del dado.

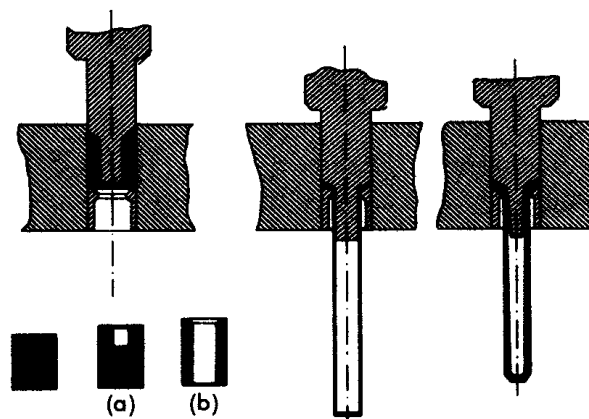


Figura 3.3 Extrusión, obtención de tubos.

La extrusión puede llevarse a cabo, ya sea en caliente o en frío, pero es predominantemente un proceso de trabajo en caliente.

3.4.5 TREFILADO O ESTIRADO DE ALAMBRE

Una varilla de metal se aguza en uno de sus extremos y luego estirada a través del orificio cónico de un dado. La varilla que entra al dado tiene un diámetro mayor y sale con un diámetro menor.

3.5 EFECTOS PRODUCIDOS POR LAS FUERZAS EXTERNAS E INTERNAS¹⁹.

3.5.1 EFECTOS DE UNA FUERZA EXTERNA

PLASTODEFORMACION

La plastodeformación es una deformación permanente gradual causada por una fuerza continuada sobre un material. Los materiales sometidos a altas temperaturas son especialmente vulnerables a esta deformación.

La pérdida de presión gradual de las tuercas, la combadura de cables tendidos sobre distancias largas o la deformación de los componentes de máquinas y motores son ejemplos visibles de plastodeformación.

En muchos casos, esta deformación lenta cesa porque la fuerza que la produce desaparece a causa de la propia deformación. Cuando la plastodeformación se prolonga durante mucho tiempo, el material acaba rompiéndose.

¹⁹ Capitulo 2.1.2. Propiedades Mecánicas.

FATIGA

La fatiga puede definirse como una fractura progresiva. Se produce cuando una pieza mecánica está sometida a un esfuerzo repetido o cíclico, por ejemplo una vibración.

Aunque el esfuerzo máximo nunca supere el límite elástico, el material puede romperse incluso después de poco tiempo. En algunos metales, como las aleaciones de titanio, puede evitarse la fatiga manteniendo la fuerza cíclica por debajo de un nivel determinado.

En la fatiga no se observa ninguna deformación aparente, pero se desarrollan pequeñas grietas localizadas que se propagan por el material hasta que la superficie eficaz que queda no puede aguantar el esfuerzo máximo de la fuerza cíclica. El conocimiento del esfuerzo de tensión, los límites elásticos y la resistencia de los materiales a la plastodeformación y la fatiga son extremadamente importantes en ingeniería.

1.8. 3.5.2 EFECTOS INTERNOS DE LAS FUERZAS A TENSION Y COMPRESION

BARRA CARGADA AXIALMENTE

Probablemente, el caso más sencillo que se puede considerar para empezar es el de una barra metálica inicialmente recta, de sección constante, sometida en sus extremos a dos fuerzas colineales dirigidas en sentidos opuestos y que actúan en el centro de las secciones.

Para que haya equilibrio estático, las magnitudes de las fuerzas deben ser iguales. Si están dirigidas en sentido de alejarse de la barra, se dice que ésta está sometida a tracción, mientras que si actúan hacia la barra, existe un estado de compresión.

Bajo la acción de estas dos fuerzas aplicadas se originan otras fuerzas internas dentro de la barra, que pueden estudiarse imaginando un plano que la corte en un punto cualquiera y sea perpendicular a su eje longitudinal.

DISTRIBUCION DE LAS FUERZAS RESISTENTES

Llegados a este punto, es necesario hacer alguna hipótesis sobre el modo en que varían estas fuerzas repartidas, y como la fuerza aplicada F actúa en el centro, se suele admitir que son uniformes en toda la sección.

Esta distribución probablemente no se dará nunca exactamente, a consecuencia de la orientación caprichosa de los granos cristalinos de que esta compuesta la barra; el valor exacto de la fuerza que actúa en cada elemento de la sección transversal en función de la naturaleza y la orientación de la estructura cristalina en ese punto, pero para el conjunto de la sección la hipótesis de una distribución uniforme da una exactitud aceptable desde el punto de vista de la ingeniería.

CAPITULO 4

4. VALORACION EXPERIMENTAL DE LA ECUACION DE VARIACION GEOMETRICA

4.1 ASPECTOS BASICOS

En el proceso de embutición de recipientes cilíndricos de pared delgada, se utiliza el aluminio AA 1100 que es un material de características básicas y funcionales para este tipo de proceso.

El procesamiento de la chapa metálica por embutición y estiraje permite obtener una gran variedad de productos cilíndricos, utilizando para su elaboración, prensas, matrices, moldes, troqueles que mediante la aplicación de presión se consigue la forma geométrica requerida.

Es menester recalcar que partiendo de un estudio del tipo experimental, se obtuvieron muestras en las que se comprueba que los daños en las piezas embutidas con o sin reducción del espesor, se debe a las siguientes consideraciones:

- Ecuaciones que al aplicarlas producen exceso en el cálculo del recorte, que no incluyen propiedades mecánicas y la capacidad de deformación molecular de los materiales dúctiles.
- Matrices y punzones de dimensiones y geometrías inapropiadas, con inadecuados grados de acabado superficial.

Referente a este estudio y como consecuencia del mismo se ve que trata de evitar el procedimiento de ensayo y error para la obtención de prototipos, que normalmente utilizan las industrias que producen recipientes mediante las operaciones de corte y embutición.

Para esto nos vemos en la necesidad de mejorar o coadyuvar a la investigación regenerando las Ecuaciones con un análisis corregido en el que se logre obtener el requerimiento planteado en el objetivo del proyecto.

4.2 DEDUCCION Y VARIABLES DE LA ECUACION DE VARIACION GEOMETRICA EVG

Para la deducción de la EVG tomamos en consideración, el diámetro del recorte que es quizá uno de los parámetros que mayor atención requiere en el cálculo de piezas de embutición profunda, radica en la determinación del diámetro del disco, el cual es uno de los problemas que mas se presenta en este tipo de proceso, deberá ser lo más exacto posible para evitar pliegues y demás defectos en la embutición, incurriendo en el desperdicio de chapa metálica que este fenómeno genera. Aquí, es necesario partir de la hipótesis de que el espesor del fondo y de la pared tienen las mismas dimensiones. Las medidas del recorte para embutir una pieza se pueden encontrar mediante los siguientes métodos:

- Matemáticamente, calculando la superficie de embutición y buscando el diámetro de un círculo que tenga similar superficie que se conoce como equivalencia de superficies.
- Mediante el teorema de Guldin para piezas de revolución, aplicando también la definición de radio de la fibra neutra similar a la operación de doblado de chapa metálica a 90° .

La Ecuación Normalizada (EN) toma en cuenta el principio de equivalencia de superficies como se puede apreciar en la Figura 4.1.

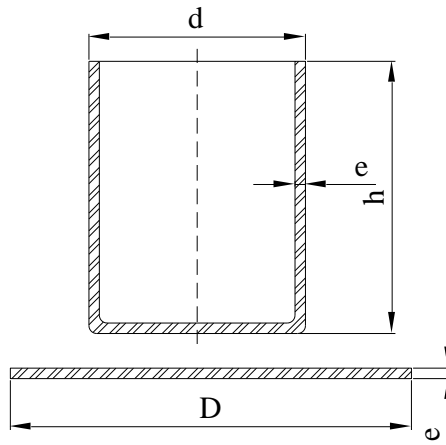


Figura 4.1 Recipiente Cilíndrico con Dos Superficies

Resultado de esta equivalencia se obtienen las Ecuaciones Normalizadas EN1 y EN2 que se aprecian en las ecuaciones que se encuentran en la Tabla 2.9, literales (a) y (e), respectivamente.

$$D = \sqrt{d^2 + 4dh}$$

(4.1)

Donde: D = diámetro del disco desarrollado o recorte, d = diámetro exterior del recipiente cilíndrico y h = altura de embutición.

$$D = \sqrt{(d - 2 * r)^2 + 4 * d * (h - r) + 2 * \pi * r * (d - 0.7 * r)} \quad (4.2)$$

Donde: D = diámetro del disco desarrollado o recorte, d = diámetro exterior del recipiente cilíndrico, r = radio externo del anillo de la base del cilindro y h = altura de embutición.

Pero las EN1 y EN2 correspondientes a las ecuaciones (4.1) y (4.2) respectivamente, no toman en cuenta el área de la superficie de revolución que es generada por el radio de embutición, lo que provoca un exceso de material en el cálculo del diámetro de recorte, principalmente en materiales dúctiles.

Mediante la Ecuación de Variación Geométrica (EVG), se considera 3 superficies y que la suma de las mismas permite determinar un valor del diámetro de disco desarrollado con mayor exactitud que el obtenido mediante la ecuación Normal (EN). Estas superficies se puede observar en la Figura 4.2.

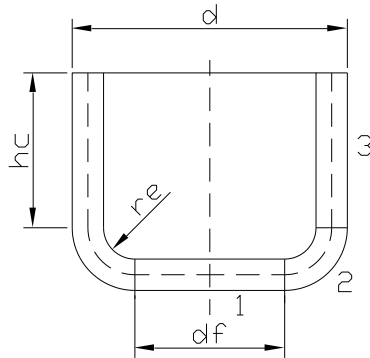


Figura 4.2 Recipiente Cilíndrico con Tres Superficies

1. Área formada por el diámetro de fondo d_f .
2. Área de revolución generada por el radio de Embutición, r_e .
3. Área de la pared cilíndrica, h_c .

4.2.1 AREA DE REVOLUCION GENERADA POR EL RADIO DE EMBUTICION

Para el cálculo de esta superficie es necesario determinar el radio de la arista inferior de punzón r_e , como se observa en la Figura 4.3.

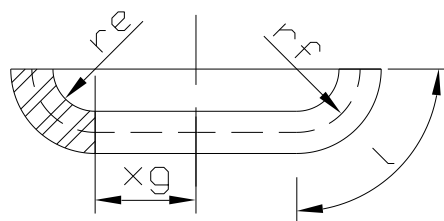


Figura 4.3 Posición de r_e , x_g y r_f en el Recipiente cilíndrico de Tres Superficies

El cual es constante a la salida de la matriz y que asegure evitar un corte por cizallamiento este valor se determina mediante la Ecuación (4.3) (fórmula de Kaezmarec).

$$r_e = 0,8\sqrt{(D-d)*t} \quad (4.3)$$

En la cual: r_e = radio de embutición, D = diámetro del disco o el que tenía en la última etapa en mm., d = diámetro de embutición a realizar, t = espesor de la chapa en mm.,

Para la determinación de la superficie de revolución generada por el radio de embutición se utiliza el teorema de Guldín²⁰ cuya expresión se presenta en la Ecuación (4.4)

$$A_s = 2\pi x_g l \quad (4.4)$$

Donde:

A_s = área de la superficie de revolución generada por el r_e ; x_g =distancia del eje de rotación al centro de gravedad de la generatriz y l = longitud de la generatriz considerando el radio de la fibra neutra

4.2.1.1 RADIO DE LA FIBRA NEUTRA

Cuando una placa es doblada, la parte interna de la sección es comprimida longitudinalmente mientras que la parte exterior es alargada como se muestra en la Figura 4.2. En una parte ubicada de 0.3 a 0.5 del espesor de la placa que sufre adelgazamiento del 25% al 30%, aparece un plano en que su longitud no varía con el doblado este plano es llamado el plano neutro y una fibra ubicada en este plano se conoce como línea neutra del doblado. Pero hay que considerar también el radio de embutición (r_e) para obtener el valor total del radio de la fibra neutra con todas estas consideraciones se obtiene la Ecuación (4.5)

$$r_f = r_e + 0.3*(t - \%reduccion*t) \quad (4.5)$$

²⁰ Métodos de Cálculo del Diámetro de Disco, Sección 2.3.5.

Donde: r_f = radio de la fibra neutra; r_e = Radio de Embutición, t = espesor del material.

4.2.1.2 LONGITUD DE LA GENERATRIZ

Para hallar la longitud de la generatriz se multiplica el radio de la fibra neutra por el ángulo que se asume tiene un valor similar al de doblado de chapa a 90° y se obtiene la Ecuación (4.6).

$$l = \frac{\pi r_f}{2} \quad (4.6)$$

La distancia hacia el centro de gravedad considerando un arco de cuadrante y con respecto al centro de gravedad total, esta dado por la Ecuación (4.7).

$$x_g = \frac{d_f}{2} + \frac{2r_f \operatorname{sen} \frac{\alpha}{2}}{\alpha} \quad (4.7)$$

Reemplazando estos valores en la Ecuación (4.4), obteniendo la Ecuación (4.8) que es la utilizada para el cálculo de la superficie de revolución:

$$A_s = x_g \pi^2 * [r_e + 0.3 * (t - t * \% \text{reducción})] \quad (4.8)$$

4.2.2 ÁREA DEL DIAMETRO DE FONDO d_f .

El diámetro de fondo se observa en la Figura 4.2 y esta dado por la diferencia entre el diámetro de embutición a realizar menos dos veces el radio de embutición mas el espesor del material, esto se aprecia en la Ecuación (4.9).

$$d_f = d - 2(t + r_e) \quad (4.9)$$

Donde: d = diámetro de embutición a realizar; d_f = diámetro de fondo ; t = espesor del material y r_e =radio de embutición.

Para el cálculo del área de la superficie formada por el diámetro de fondo se tiene la Ecuación (4.10):

$$A_f = \frac{\pi d_f^2}{4} \quad (4.10)$$

4.2.3 AREA DE LA PARED CILINDRICA, h_c .

La altura de la superficie cilíndrica se determina por la diferencia de la altura de embutición menos el radio de embutición mas el espesor del material como se lo observa en la Figura 4.2 y cuya Ecuación (4.11) es:

$$h_c = h - (r_e + t) \quad (4.11)$$

Donde: h_c = altura del cilindro; h = altura de embutición; r_e = radio de embutición; t = espesor del material.

La Ecuación (4.12) determina el área de la pared cilíndrica y es:

$$A_c = \pi d h_c \quad (4.12)$$

Donde: A_c = Área de la pared Cilíndrica; d = diámetro de embutición a realizar; h_c = altura de la pared cilíndrica.

Aplicando el principio de equivalencia, el área del disco desarrollado es igual a la sumatoria de las áreas del fondo, pared cilíndrica y superficie de revolución, con esta consideración se consigue una expresión matemática de mayor aproximación, para calcular el diámetro del recorte la cual es expuesta en la Ecuación (4.13):

$$D = \sqrt{df^2 + 4dhc + 4\pi r_f \left(\frac{d_f}{2} + \frac{2r_f \operatorname{sen} \frac{\alpha}{2}}{\alpha} \right)} \quad (4.13)$$

Donde: df = Diámetro de fondo; d = diámetro de embutición a realizar; h_c = altura de la pared cilíndrica; r_f = radio de la fibra neutra, α = ángulo de doblado de la chapa.

4.3 COMPROBACION

En el caso del proyecto, la determinación del diámetro de recorte D , será realizada asumiendo los valores de disco establecidos por las Ecuaciones

(4.1) y (4.2) que se basan en la Tabla 2.10, Capítulo 2, y también la ecuación de Variación Geométrica (EVG) que de forma inmejorable se acopla al requerimiento de ahorro de material en procesos de corte y embutición.

Tabla 4.1 Ecuaciones Aplicadas en la Comprobación de la Ecuación de Variación Geométrica.

DESCRIPCIÓN	ECUACIÓN APLICADA AL PROCESO	Ø DE CORTE (MM.)
EVG	$D = \sqrt{df^2 + 4 * d * hc + 4 * \pi * rf * \left(\frac{df}{2} + \frac{2 * rf * \sin(\alpha/2)}{\alpha} \right)}$	28.4*
EN1 Tabla 2.10 (Figura a)	$D = \sqrt{d^2 + 4 * d * h}$	32.5*
EN2 Tabla 2.10 (Figura e)	$D = \sqrt{(d - 2r)^2 + 4d(h - r) + 2\pi * r(d - 0,7r)}$	29.5*

* Estos cálculos se observan claramente en el *anexo A*.

Se puede verificar que de la aplicación de las ecuaciones tanto las normales como la de variación geométrica permiten hallar un diámetro de disco de corte necesario para el proceso de embutición, pero se logra determinar que la ecuación de variación geométrica permite obtener el menor diámetro de disco de corte mas adecuado en relación a las dos Ecuaciones Normalizadas.

CAPITULO 5

5. CALCULO Y DISEÑO DE LA MATRIZ DE CORTE

5.1 SELECCION DE MATERIALES

Es importante un conocimiento de los materiales en cualquier proceso de manufactura, debido a que presentan diferentes propiedades mecánicas, tecnológicas, razón por la cuál las posibilidades de maquinado suelen ser limitadas.

Los materiales presentan muchas alternativas y dependen de sus características. Sus precios también varían mucho y no necesariamente el material mas barato será el que presente un menor costo de manufactura.

5.1.1 ELEMENTOS DE MATRIZ DE CORTE

El presente proyecto es realizado con 5 diferentes tipos de aceros considerando que la matriz necesita diferentes grados de resistencia en sus partes conformantes. Estos materiales y sus principales características se detallan en la Tabla 5.1. .

Tabla 5.1 Materiales de los Elementos de la Matriz de Corte

N	ELEMENTO	MATERIAL	DESCRIPCION
1	Macho Portapunzones	Acero DF-2 AISI 01	Acero al manganeso-cromo-tugsteno, templable en aceite para uso general. Buena maquinabilidad, estabilidad dimensional en el temple y buena combinación de dureza y tenacidad tras temple y revenido. Suministrado a 190 HB aproximadamente.
	Anillos de Corte ø=29.5 mm. y ø= 32,5 mm.		
	Columnas y Bujes		

	Pasadores de guía		
--	--------------------------	--	--

Continuación...Tabla 5.1 Materiales de los Elementos de la Matriz de Corte.

2	Placa de Freno	Acero Estructural A-588	ASTM A709 Grado 50W. Acero estructural de baja aleación y alta resistencia capaz de resistir corrosión atmosférica. Propiedades Mecánicas: Resistencia a la 70 Ksi tracción: Esfuerzo de 50 Ksi Cadencia: Dureza: 220-235 HB
	Placa Portapunzones		
	Placa guía de punzones y Guía de Material.		
	Placa Matriz		
	Armazón		
	Punzón de Corte Ø=28.4 mm.	Acero SAE-1045	Acero con un porcentaje de Carbono del 45% de alta calidad de mayor resistencia mecánica que el acero de transmisión, utilizado para la fabricación de partes de maquinaria de pequeña sección sometidas a esfuerzos normales tales como: ejes, pernos, pasadores, portamatrices,

3	Casquillo de Corte Ø=28.4 mm		<p>punzones, puede utilizarse en condición de suministro o con tratamiento térmico de temple y revenido.</p> <p>Propiedades Mecánicas:</p> <p>Resistencia a la 65 Kg/mm² tracción:</p> <p>Esfuerzo de 32 Kg/mm² Cedencia:</p> <p>Dureza: 220-235 HB</p>
---	-----------------------------------------------	--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Continuación...Tabla 5.1 Materiales de los Elementos de la Matriz de Corte.

4	Punzón de Corte porta anillos	AISI 4140	<p>AISI 4140 es un acero aleado para construcción de maquinaria, que posee una alta resistencia especialmente en medidas pequeñas y medianas. Como norma, es suministrado templado y revenido.</p> <p>Propiedades Mecánicas:</p> <p>Resistencia a la 90-105 Kg/mm² tracción:</p> <p>Esfuerzo de 70 Kg/mm² Cedencia:</p> <p>Dureza: 275-320 HB</p>
---	------------------------------------------------	------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

5	Casquillo de Corte porta anillos.	AISI 4340	<p>AISI 4340 es un acero al molibdeno mas cromo y níquel, este combina alta resistencia mecánica con buena tenacidad. En forma estándar es suministrado bonificado, por lo que no se requerirá luego un tratamiento térmico.</p> <p>Propiedades Mecánicas:</p> <p>Resistencia a 90-110 Kg/mm² la tracción: Esfuerzo de 70 Kg/mm² Cedencia: Dureza: 270-330 HB</p>
---	-----------------------------------	-----------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

5.2 PARAMETROS DE DISEÑO

Los parámetros de diseño de la matriz de corte son necesarios para determinar las características de fabricación de cada uno de los elementos que conforman la matriz, para lo cual nos basamos en tablas de selección de dimensiones y cálculos²¹, se elaboran planos constructivos²² de todos los elementos conformantes de la matriz de corte, todos estos parámetros se detallan a continuación:

5.2.1 FUERZA DE CORTE

La fuerza de corte es el parámetro inicial en este estudio ya que de este valor depende la capacidad de la prensa a utilizar, la verificación de la

²¹ Todos los cálculos se los puede apreciar en el *Anexo A2*, Cálculo y Diseño de Matricería para Corte.

²² Planos Constructivos se los puede apreciar en el *Anexo D*

operación de corte para lo cual se utiliza las Ecuaciones expuestas en el Capítulo 2.2.4:

$$F_c = 0,8 \times S_u \times t \times L \quad (2.6)$$

$$F_e = 0,04 * F_c \quad (2.7)$$

$$F_{ex} = 0,015 * F_c \quad (2.8)$$

$$T = F_t * t \quad (2.9)$$

5.2.2 DISEÑO DE LA TIRA DE CORTE

Para el diseño de la tira de corte se debe tomar en cuenta los siguientes parámetros:

CALCULO DEL MAXIMO ESPESOR DE CORTE

En el caso de una chapa de aluminio y un punzón cilíndrico el máximo espesor en milímetros, para realizar una operación de corte exitosa es recomendable que el espesor de la chapa sea igual o menor que el diámetro del punzón más pequeño, como en la Ecuación 5.1:

$$t \leq d \quad (5.1)$$

PLANOS DE DISEÑO

Se dibujan las principales vistas de la pieza a realizar y si es necesario se realizan planos de corte y detalle, en nuestro caso se va a realizar el corte de discos con los siguientes diámetros: 28.4 mm., 29.5 mm. y 32.5 mm. razón por la cual es suficiente realizar el plano de la vista superior de estos discos.

DISPOSICIÓN DE FIGURAS

Seleccionar el tipo de disposición de piezas más acorde con el trabajo a realizar, para lo cual se utiliza los factores detallados en el Capítulo 2 sección 2.2.5 Disposición de Figuras, en nuestro caso utilizamos una disposición de figuras normal a lo largo de la tira de corte.

SEPARACION MINIMA ENTRE PIEZAS

Esta separación permite calcular la separación mínima entre dos piezas consecutivas para lo cual se selecciona uno de los criterios explicados en el Capítulo 2 Sección 2.2.5. . En nuestro caso aplicamos el criterio de que la separación mínima nunca debe ser inferior al propio espesor más $\frac{1}{2} * t$.

Otro factor a considerar en el diseño de la tira de corte es la distancia entre centros, la cual en nuestro proyecto varía debido a que se realizara cortes de discos de diámetros diferentes.

5.2.3 HUELGO DE CORTE

Este parámetro permite asegurar un correcto valor entre el juego existente entre el punzón de corte y el casquillo de corte y se lo puede determinar por medio de la Ecuación 2.4

$$j_{std} = \frac{3 + 0.5 * t^2}{100} \quad (2.4)$$

Donde:

J_{std} = Huelgo total (mm.); t = espesor (mm.)

Este cálculo se lo puede evaluar en el *anexo A2*.

5.2.4 DISEÑO DE LA MATRIZ DE CORTE

Nuestro proyecto analizando el punto de vista económico y que contempla la elaboración de 3 discos de corte de diámetro diferente se realiza con una placa matriz de casquillos y anillos de corte desmontables.

5.2.4.1. MACHO PORTA PUNZONES

Para el diseño de este elemento se debe considerar la potencia de la prensa, el diámetro interior y altura de acople de la prensa, así como también el ancho y profundidad de la ranura para el perno de seguridad.

5.2.4.2. PLACA DE FRENO

Según un catalogo de selección de placas de freno se podría utilizar una placa de freno de modelo cuadrado de 244 mm. de lado y un espesor de 31 mm. y de un material SAE 1010.

Esta placa de freno debe contener los siguientes agujeros: 4 para los pernos M8 de sujeción y 4 para los pasadores, 1 para el acople del macho porta punzones y bujes estos agujeros se realizan de acuerdo a lo indicado en los planos.

5.2.4.3. PLACA PORTA PUNZONES Y PLACA MATRIZ

Nuestro proyecto utilizara las mismas dimensiones para estas 2 placas para facilitar el proceso de manufactura.

El espesor de las placas deberá ser de 34 mm. salvo que al realizar los cálculos respectivos se determine un valor superior al indicado, este espesor es necesario debido a que el casquillo de corte es de espesor de 30 mm. Para la determinación de este valor de espesor mínimo se utiliza la Tabla 5.2

Tabla 5.2 Espesor de la placa Matriz

Espesor de la Tira (mm.)	Espesor de la Placa Matriz (mm.)
0 a 1.6	24
1.6 a 3.2	29
3.2 a 4.8	35
4.8 a 6.4	42
Mas de 6.4	48

Fuente: Manual de Matricería, Ing. Figueroa Pablo, 2005.

En nuestro caso tenemos una tira de corte de espesor 1.6 mm. es por esto que el espesor mínimo de las placas deberá ser de 24 mm., pero utilizaremos un espesor de 34 mm.

La distancia mínima entre el agujero de la matriz al borde de la cara exterior de la placa matriz, es normalmente igual a 1.2 veces el espesor de la placa matriz, este valor puede ser aumentado hasta 1.5 veces el espesor de la placa matriz para matrices mas grandes, o cuando haya ángulos o aristas en la abertura de la matriz.

Para el calculo de la separación mínima agujero de la matriz al borde de la cara exterior seleccionaremos un valor de 1.2 veces el espesor.

Seleccionamos el tamaño de matriz estándar para las placas con ayuda de la Figura 5.1 y de la Tabla 5.3.

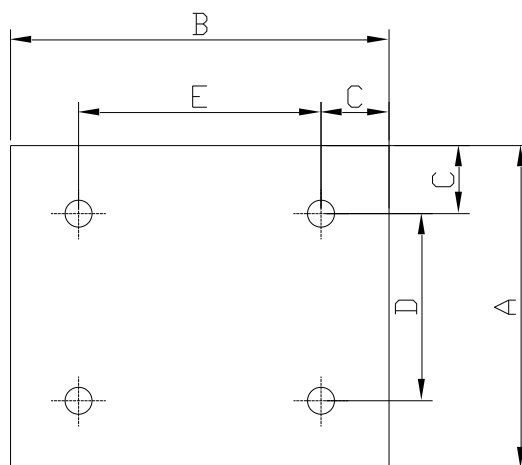


Figura 5.1 Dimensiones Normalizadas para Matrices Pequeñas

Las dimensiones de esta placa se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 5.3 Dimensiones Normalizadas para Matrices Pequeñas

A	B	C	D	E
76	89	16	44	57

76	127	16	44	95
102	102	16	70	70
102	127	16	70	95
102	154	16	70	121
126	126	21	84	84
126	154	21	84	113

Fuente: Manual de Matricería, Ing. Figueroa Pablo, 2005.

Para el estudio efectuado se seleccionan las dimensiones normalizadas de la placa matriz cuyas medidas son A=126 mm. ; B=154 mm.; C=17 mm.; D=84 mm.; E=113 mm.

Además se deben realizar agujeros roscados M8, como también agujeros para los pasadores.

En la placa porta punzones se debe realizar agujeros para el acoplamiento del punzón de corte y en la placa matriz para acoplar los casquillos de corte.

En la placa matriz se debe realizar un agujero que sirva para la sujeción de los casquillos mediante el uso de prisioneros.

Todas estas medidas y agujeros se los indica en los planos constructivos de la matriz de corte.

5.2.4.4. PUNZONES

Se diseña dos punzones el primero para la realización del corte de diámetro 28.4 mm. y el segundo será un porta anillos de corte y adicionalmente dos anillos de 29.5 y 32.5 mm. para realizar los cortes de disco, la parte superior de los punzones debe tener un diámetro que permita realizar un ajuste de interferencia entre punzón y placa de freno.

Para el diseño de los punzones se toma en cuenta la resistencia por impacto y el diseño geométrico el primer factor debido a que existe un

desplazamiento de toda la carga a través de una carrera antes de producirse el impacto contra la tira de corte, el segundo factor es necesario determinarlo debido a que cuando se produce el corte del disco el punzón actúa como una columna empotrada libre. Estos cálculos se realizan para los 2 punzones de corte y sus respectivas pastillas de corte.

Estos cálculos se los aprecia en el *anexo A2* de cálculos.

5.2.4.5. PLACA DE GUÍA DE LOS PUNZONES Y GUIA DE MATERIAL

Esta placa tiene características similares a las de la placa porta punzones, todas estas dimensiones se indican en los planos constructivos de la matriz de corte.

La placa guía de material adicionalmente debe tener un canal que sirva para la guía de la tira de corte cuya altura debe ser de 3 a 5 veces el espesor de la tira de corte y cuyo ancho debe considerar una pequeña holgura para asegurar un movimiento de avance suave.

5.2.4.6. CASQUILLOS DE CORTE

Este proyecto se basa en el diseño de dos casquillos de corte templados en aceite, con las siguientes características diámetro exterior de 63.66 mm., espesor de pastilla de 30 mm. un canal que servirá de sujeción del casquillo.

El primer casquillo de corte tiene un diámetro interno de 28.40 mm. con un acabado superficial N7; el segundo considera la realización de un agujero interno de diámetro 50 mm. y de altura 5 mm. este servirá para colocar dos anillos de corte. Estos anillos de corte deben tener diámetros internos de 29.5 mm. y 32.5 mm..

Todas estas características se las observa en los planos constructivos del *anexo D*.

5.2.4.7. ARMAZON

Debe tener las mismas dimensiones que la placa de freno es decir modelo cuadrado de 244 mm. de lado y un espesor de 31 mm. y de un material SAE 1010.

Esta placa de armazón debe contener los siguientes agujeros: 4 para los pernos M8 de sujeción y 2 agujeros para los pasadores, 1 de diámetro 34 mm. que sirve para el desalojo del disco de corte y finalmente 2 agujeros para las columnas, estos agujeros se realizan de acuerdo a lo indicado en los planos de construcción. .

5.2.4.8. COLUMNAS Y BUJES

Se considera la realización de dos columnas las cuales deben ir acopladas al armazón con un ajuste de interferencia y de dos bujes los cuales van ensamblados a la placa de freno con un ajuste de interferencia además cuentan con un diámetro interior que permita realizar un ajuste deslizante entre buje y columna.

Estos dos elementos deben tener un tratamiento térmico de templado en aceite.

5.2.4.9. PASADORES DE GUIA

Es necesaria la utilización de pasadores de guía con el fin de asegurar un correcto funcionamiento de las placas conformantes de la matriz, se puede apreciar este elemento en el plano constructivo correspondiente al *anexo D*.

5.3 TOLERANCIAS Y AJUSTES

El acabado de piezas que ensamblan en un principio se logran mediante prueba error hasta lograr un ajuste adecuado, pero en la actualidad por eliminar problemas de ensamble las piezas deben ser exactamente iguales en sus dimensiones, pero por factores tales como el calentamiento del material, vibraciones, etc., se dificulta lograr este

objetivo, por lo cual es permisible variaciones en las dimensiones especificadas que permitan satisfacer los requerimientos.

5.3.1. TOLERANCIA

Tolerancia se define como la cantidad que le es permitido variar a una dimensión especificada, y es la diferencia entre los límites superior e inferior especificados.

La forma de expresar las tolerancias adoptadas es mediante el sistema ISO, en el cual la dimensión especificada precede a la tolerancia expresada mediante una letra y un número.

Las tolerancias generales en la matriz de corte son de ± 0.1 mm., pero en algunos elementos que la constituyen la tolerancia que estos requieren por una mayor precisión se utiliza un valor de ± 0.02 mm., estas tolerancias se observan en los planos de diseño del *anexo D*.

5.3.2. AJUSTES

Ajuste es la cantidad de juego o interferencia resultante al instante en que se ensamblan las piezas.

Los ajustes pueden clasificarse como:

- Con juego
- Indeterminado o de transición
- Con interferencia, forzado o de contracción.

El ajuste se selecciona en base a requerimientos funcionales y logrará aplicando tolerancias adecuadas a cada una de las partes del ensamble.

Los ajustes para estos elementos que componen la matriz de corte son del tipo de ajuste con interferencia y con juego, tanto en medidas externas como en medidas internas y se muestran a continuación en la Tabla 5.4. .

Tabla 5.4 Tabla de Tolerancias y Ajustes

Elementos a Ensamblar	Tipo de ajuste	Diámetro mm.	Característica Interna		Característica Externa		Juego		Conclusión
							Máx.	Min.	
Buje y Placa de Freno	H7 – p6	35	Placa de Freno	+25	Buje	+42	-0.001	-0.042	Ajuste con Interferencia
			H7	+0	p6	+26			
Buje y Columna	H8–e8	24.5	Buje	+33	Columna	-40	0.106	0.04	Ajuste con juego
			H8	0	e8	-73			
Punzón y Placa Portapunzón	H7-p6	36.2	Placa Portapunzón	+25	Punzón	+42	-0.001	-0.042	Ajuste con Interferencia
			H7	0	p6	+26			
Punzón y Anillo de corte	H7-p6	16	Anillo de Corte	+18	Punzón	+29	-20.2	-29.2	
			H7	+0	P6	+18			
Casquillo de corte y Placa Matriz	H7-p6	63.66	Placa Matriz	+30	Casquillo de corte	+51	-0.002	-0.051	Ajuste con Interferencia
			H7	0	p6	+32			
Casquillo Porta anillos de corte y anillos de corte	H7-p6	50	Casquillo porta anillos de corte	+25	Anillos de corte	+42	-0.001	-0.026	Ajuste con Interferencia
			H7	+0	p6	+26			
Columna y Armazón	H7-p6	22	Armazón	+21	Columna	+35	-0.0001	-0.035	Ajuste con Interferencia
			H7	0	p6	+22			

Fuente: Metrología, Carlos González-Ramón Zeleny., Editorial McGraw-Hill, México México 1995, 1ra Edición, pp. 388-393

5.4 RESTRICCIONES

Las restricciones que presenta el proyecto son de características mecánicas del material, dimensionales en los elementos conformantes de la matriz de corte y de acabado superficial.

5.4.1 CONSTRUCCION DE LA MATRIZ

5.4.1.1. MACHO PORTA PUNZONES

El acero seleccionado DF-2 es el correcto ya que presenta características mecánicas apropiadas para el trabajo que tiene que realizar este elemento asimismo se requiere que posea las medidas exactas que se indican en el plano constructivo y con un acabado superficial N6.

5.4.1.2. PLACA DE FRENO DE LOS PUNZONES

Según un catalogo de selección de placas de freno el material adecuado a utilizar seria un SAE 1010 con una resistencia a la fluencia de 26 Ksi. y un espesor de 31 mm. pero por facilidades de adquisición de material optamos por usar el acero estructural A-588 con una resistencia a la fluencia de 50 Ksi. lo cual nos permite reducir el espesor a 19 mm. debido a que el A-588 presenta casi el doble de resistencia que el SAE 1010.

Igualmente se requiere que las medidas y tolerancias de esta placa sean las indicadas en el plano constructivo y con un acabado superficial N6, se debe poner mayor énfasis en los agujeros que servirán para el acople de los bujes debido a que estos requieren ajustes.

5.4.1.3. PLACA PORTA PUNZONES Y PLACA MATRIZ

Igualmente utilizamos el acero estructural A-588 por facilidades de adquisición. Estas placas deben tener necesariamente las mismas dimensiones que se indican en el plano constructivo para facilitar un ensamblaje adecuado.

Como se requiere que el espesor de las placas sea de 34 mm. y el valor de una placa con esta característica es muy costosa, se puede optar por unir dos placas de 20 y 15 mm. de espesor, con un filete de 10 mm. y a 45°, mediante el proceso MIG con CO2 a una presión de 1100 Psi. a 190 Amp. y con la utilización de un electrodo E71T-1 de diámetro 1.2 mm. Por último se requiere que estos elementos posean un acabado superficial N6.

5.4.1.4. PLACA DE GUÍA DE LOS PUNZONES Y GUIA DE MATERIAL

Esta placa tiene restricciones similares a las de la placa porta punzones de acuerdo a lo dimensional y el acabado superficial, en lo que respecta a la altura del canal se utilizara una altura de 3 mm. ya que es suficiente para permitir un correcto deslizamiento de la tira de corte.

Adicionalmente esta placa tiene que tener un agujero inicialmente de diámetro 29.5 mm. que servirá como extractor del disco de corte de diámetro 28.4 mm., posteriormente este agujero será de 30.5 mm. para permitir la extracción del disco de corte de 29.5 mm. y finalmente el agujero quedará de 33.5 mm. y extraerá el disco de corte de 32.5 mm.

5.4.1.5. ARMAZON

Tiene restricciones similares a las de la placa de freno, igualmente se requiere que las medidas y tolerancias de esta placa sean las indicadas en el plano constructivo y con un acabado superficial N6. Es necesario verificar las dimensiones de los agujeros que servirán para el acople de las columnas debido a que se utiliza un ajuste de interferencia.

5.4.1.6. COLUMNAS Y BUJES

Las columnas y bujes deben tener las medidas indicadas en los planos constructivos, se debe verificar la medida externa de los bujes y la parte inferior de las columnas ya que es necesario un ajuste por interferencia. Estos dos elementos deben tener tratamiento térmico de templado en aceite.

Para la elaboración de todos estos elementos es necesario personal con alto nivel de habilidad y capacidad para operar maquinaria industrial (torno, fresadora, rectificadora, etc.; así como también la utilización de metrología de alta precisión.

5.4.2 PUNZON Y CASQUILLO DE CORTE

5.4.2.1. PUNZONES

El acero SAE 1045 (Punzón) y DF-2 (Anillos de corte), presenta buenas propiedades mecánicas pero es necesario adicionar un tratamiento térmico de templeado en aceite N° 30 Las piezas de acero endurecidos se calientan a una temperatura elevada, pero bajo el punto de fusión del material. Luego se enfrían rápidamente en aceite para lograr un material más duro, con menos esfuerzos.

Las medidas y tolerancias deben ser igual a la de los planos constructivos, para permitir un correcto ajuste de interferencia entre el punzón - placa de freno y porta anillos de corte – anillos de corte.

Respecto al acabado superficial es necesario realizar dos tipos de acabado superficial un N7 para la parte inferior del punzón la cual realiza el corte del disco y un N6 para el resto del punzón. En el caso de los anillos de corte es necesario un acabado superficial N7.

5.4.2.2. CASQUILLOS DE CORTE

Las tolerancias dimensionales de los casquillos deben ser iguales a la de los planos constructivos debido a que estos elementos utilizan un ajuste de interferencia, es necesario también el tratamiento térmico similar al utilizado en los punzones de corte.

Adicionalmente del ajuste de interferencia para los casquillos de corte a la placa matriz es necesario colocar dos pernos de seguridad para asegurar que no se den desplazamientos de los casquillos durante el proceso de corte caso similar se presenta en el casquillo porta anillos de corte y anillos de corte que igualmente es necesario sujetarlos por medio

de pernos, para asegurar que no existan desplazamientos de los anillos dentro del casquillo durante el proceso de corte.

5.5 PROCESOS DE MANUFACTURA

Para la construcción de la matriz de corte es necesario de operaciones como: trazado, corte con plasma de la placa de acero estructural A-588, amolado para eliminar imperfecciones del corte y también procesos de manufactura como torneado, fresado y rectificado cuyas características se detallan a continuación

TORNEADO

El torno mecánico (Figura 5.2), es una máquina-herramienta para mecanizar piezas por revolución, arrancando material en forma de viruta mediante una herramienta de corte. Esta será apropiada al material a mecanizar y puede estar hecha de acero al carbono, acero rápido, acero rápido al cobalto, widia, cerámica, diamante, etc., aunque siempre será más dura y resistente que el material mecanizado.

El movimiento principal en el torneado es de rotación y lo lleva a cabo la pieza, mientras que los movimientos de avance y penetración son generalmente rectilíneos y los lleva a cabo la herramienta. Con el nombre genérico de torneado se conoce al conjunto de operaciones de mecanizado que pueden efectuarse con el torno.



Figura 5.2 Torno mecánico del Laboratorio de Máquinas Herramientas de la CIME.

Las operaciones que se realizaron para la elaboración de las placas, casquillos y punzones fueron: cilindrado y taladrado, mediante diferentes tipos de herramientas y útiles intercambiables con formas variadas según la operación de conformado que se realizó.

FRESADO

La **fresadora** es una maquina herramienta (Figura 5.3), la cual por medio del fresado que es una operación donde el elemento que se desplaza longitudinalmente es la pieza a dar forma mientras que la herramienta tiene exclusivamente un movimiento de giro. Normalmente su aplicación principal es la fabricación de superficies planas y de ruedas dentadas (mediante fresas especiales denominadas fresas madre) con un buen acabado superficial.

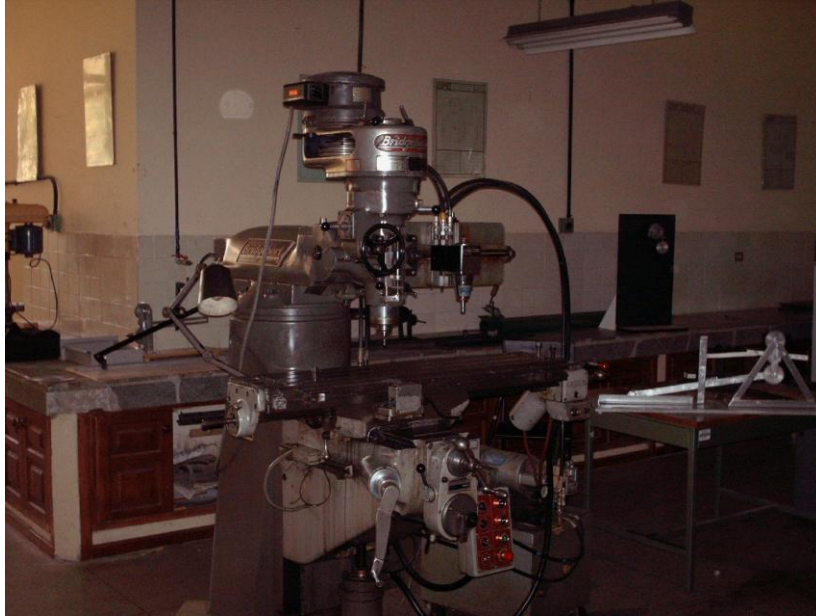


Figura 5.3 Fresadora vertical del Laboratorio de Máquinas Herramientas de la CIME.

El fresado se utilizó para lograr una correcta perpendicularidad entre los lados de las placas y para la elaboración del canal de la placa guía de material mediante el uso de la bailarina con cuchilla de widia.

RECTIFICADO

La rectificadora (Figura 5.4) máquina herramienta que permite realizar un proceso de acabado empleado en la manufactura cuya finalidad es obtener una superficie con características adecuadas para la aplicación particular del producto que se está manufacturando. En algunos casos el proceso de rectificado puede tener la finalidad adicional de lograr que el producto entre en especificaciones dimensionales.

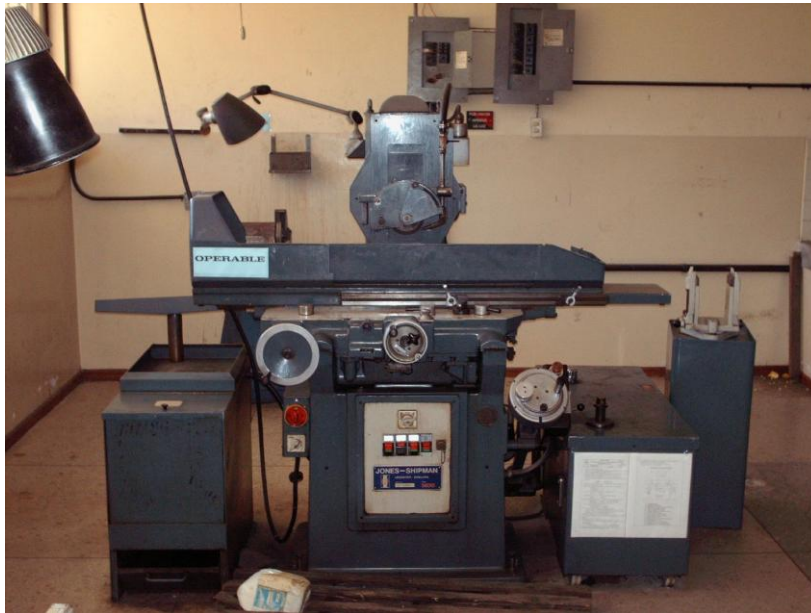


Figura 5.4 Rectificadora de superficies planas del Laboratorio de Máquinas Herramientas de la CIME.

El rectificado se utilizo para dar el acabado superficial requerido para cada elemento que conforma la matriz de corte.

5.5.1 DIAGRAMAS DE PROCESOS

Es la representación grafica de las operaciones y secuencia para la obtención de un producto, para lo cual se emplea la simbología ASME la cual es la más utilizada, entre los principales símbolos tenemos los mostrados en la figura 5.5:

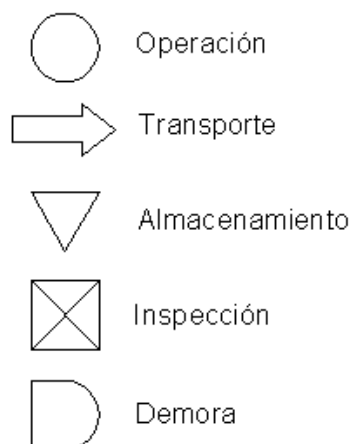


Figura 5.5 Simbología ASME

Los diagramas de procesos permiten visualizar las etapas consecutivas pertinentes al proceso de fabricación, y nos ayuda a identificar los movimientos innecesarios para optimizar así el proceso.

5.5.2 CONSTRUCCION

Las partes constitutivas de la matriz de corte fueron construidos en su totalidad en los talleres de Maquinas y Herramientas de la CIME, en un tiempo de 5 semanas aproximadamente utilizando todas las herramientas y maquinaria que posee la instalación mencionada. En nuestro caso nos encargados de este proyecto posteriormente al diseño, y se elaboraron los siguientes elementos:

- Macho Portapunzón
- Placa de Freno
- Punzón de corte
- Punzón porta anillos de corte
- Anillos de corte
- Placa guia de punzones y guia de material
- Casquillos de corte
- Placa Matriz
- Armazón
- Pasadores de guía
- Bujes
- Columnas.

Los elementos que se detallaron fueron construidos en base a los planos constructivos y diagramas de procesos indicados en los *Anexos D y B* respectivamente.

Además de los elementos construidos se adquirieron miembros de sujeción como pernos y prisioneros métricos los cuales no necesitan ser fabricados, puesto que los encontramos en el mercado.

5.6 ENSAMBLAJE

El ensamblaje se refiere a la unión ordenada de todas las partes o componentes que se construyeron para lograr como resultado el conjunto de partes o miembros que poseen relación mutua con el propósito final de obtener la matriz de corte.

El ensamble de la matriz se presenta de forma clara en el *Anexo D* mediante los planos de despiece y ensamble.

5.6.1 CALIBRACION Y PUESTA A PUNTO

Para la puesta a punto de la matriz se deberá tomar muy en cuenta que la precisión con la que se ejecuto tanto el cálculo como también sus medidas finales obtenidas al considerar las diferentes tolerancias que estas requieren, es así que la rectitud e inmejorable acabado de las superficies de las placas utilizadas, las aristas que las componen , la cilíndricidad tanto en sus columnas, bujes y punzones son referentes al momento del centrado y cuadraje de la matriz antes de proceder a ejecutar las primeras pruebas, para evitar este problema que es muy común en trabajos de corte es indispensable que los pasadores sirvan como una guía principal anticipando su posición al ajuste de los pernos. Además al tratarse de un punzón y un casquillo porta anillos de corte e intercambiables se considera también el ajuste necesario que debe tener estos elementos para asegurar un buen corte y evitar accidentes.

CAPITULO 6

6. CÁLCULO Y DISEÑO DE LA MATRIZ DE EMBUTICION

6.1 SELECCION DE MATERIALES

6.1.1 ELEMENTOS DE MATRIZ DE EMBUTICION

Los materiales utilizados en la matriz de embutición son los especificados en la Tabla 6.1, los cuales son los más apropiados en consideración al análisis previo de los cálculos obtenidos.

Tabla 6.1 Materiales de los Elementos de la Matriz de Embutición

N	ELEMENTO	MATERIAL	DESCRIPCIÓN
1	Punzón de Embutición Ø=12.86 mm.	Acero SAE-1045	Las descripciones de cada material utilizado se especifican en la Tabla 5.1, Capítulo 5.
	Casquillo de Embutición Ø=28.5 mm., Ø=29.6 mm. y Ø=32.6 mm.		
2	Matriz	Acero Estructural A- 588	
	Armazón		
3	Columnas y bujes	Acero DF-2 = AISI 01	

6.2 PARAMETROS DE DISEÑO

Este proyecto basado en el punto de vista económico se ejecuta con una placa matriz de casquillos o pastillas postizas de embutición, casquillo de embutición y punzón de embutición semejante al de la matriz de corte.

Para el diseño se consideran los siguientes parámetros:

6.2.1 EMBUTICION LIBRE

La matriz esta hecha sin pisador debido a que no es necesario ya que los radios de redondeo no son tan grandes y no existe una deformación en el disco en el momento en que se realiza en el embutido esto no da lugar a la formación de pliegues en la zona de curvatura que queda por encima de la arista de embutición. Claro que existen diseños sencillos de pisadores para diámetros pequeños (diámetro de punzón de embutición $d_p < 40\text{mm.}$), y para piezas embutidas de pared delgada.

$$\frac{d_p}{D} < 1.2 \quad (2.10)$$

En el diseño de la matriz se concluye que no es necesaria la presencia de este elemento de sujeción ya que el disco de corte que se requiere para la embutición es el que mas se acopla a nuestros requerimientos.

El cálculo correspondiente se visualiza en el *anexo A3*, del cálculo y diseño de la matriz de embutición

6.2.2 ESPESOR DE EMBUTICION

En nuestra investigación se utilizan discos de aluminio de espesor 1/16 pulg. (1.6 mm.), ya que en el mercado local las planchas de aluminio se encuentran del espesor que requiere el proyecto, además los diámetros de disco de corte serán de 28.4 mm., 29.5 mm. y 32.5 mm. los cuales son

obtenidos mediante el cálculo previo al proceso de corte, realizado en el *anexo A1 de cálculos del capítulo 4.*

6.2.3 DISEÑO DE LA MATRIZ DE EMBUTICION

6.2.3.1. CASQUILLO DE EMBUTICION

- Redondeo de Aristas de Embutición.- **Hay que considerar el redondeado de las aristas de embutición, que es obtenido mediante la Ecuación 2.11.**

$$Rm = \frac{0,04 * D}{dp * \beta_{100}} * [50 + (D - dp)] * \sqrt{t} \quad (2.11)$$

6.2.3.2. PUNZON DE EMBUTICION

- Radio de Redondeado del Punzón.- **En nuestro caso se calcula el redondeado de la arista inferior del punzón mediante la ecuación 4.3.**

$$r_e = 0,8 * \sqrt{(D - d) * t} \quad (4.3)$$

Este valor se lo determina en la sección de cálculos del *anexo A3.*

Se obtuvo un valor de $r_e=4$ mm. de radio, que nos permite asegurar que no se produce un corte por cizallamiento debido a que el radio del redondeado del punzón no puede ser menor que el radio de redondeado de la arista del casquillo de embutición. Cabe indicar que es necesario tomar en cuenta un valor de factor de gradación del aluminio AA1100.

6.2.3.3. HUELGO DE EMBUTICION

Para el cálculo del huelgo de embutición se utiliza la Ecuación 2.13 que es la que se apega a este caso por la utilización de la chapa de aluminio.

$$U_z = t + 0,02 * a * \sqrt{10 * t} \quad (2.13)$$

De donde:

U_z = huelgo de embutición para chapa de aluminio; t = espesor del material en mm.; a = coeficiente de forma

En embuticiones cilíndricas se cumple la siguiente relación:

$$a = \beta_{100} * \frac{d_p}{D} \quad (2.16)$$

Donde:

a = coeficiente de forma el cual se encuentra en función del factor de gradación del material; D =Diámetro de disco; d_p = Diámetro de punzón de embutición en mm.

Los cálculos de esta sección se presentan en el *anexo A3*, del Cálculo y diseño de la matriz de embutición.

6.2.3.4. LUBRICACION

El ensayo SWIFT para embutición de copas recomienda un aceite cuya viscosidad sea de 764 cSt, pero también se puede usar un aceite graso como el MAGNUS DO-5 insoluble en agua, color pajizo, con viscosidad SAE-10; que contiene un porcentaje discreto de compuestos grasos y aceitosos y es especial para la Embutición de metales no ferrosos.

Pero en nuestro mercado es factible encontrar el aceite SAE-10W 30, cuya viscosidad es de 761.5 cSt.

6.2.3.5. FUERZA DE EMBUTICION

Este valor se calcula con la Ecuación 2.15 y este valor se confirma mediante el uso de la Figura 2.19 del Diagrama de Fuerzas de Embutición según Siebel y Oehler:

$$P_z = 5 * dp * t * k_{fm} * \ln \beta \quad (2.15)$$

Donde:

P_z = Fuerza de Embutición; dp = Diámetro de punzón de embutición; t =Espesor de la chapa (mm.); k_{fm} = Resistencia media al cambio de forma (Kg./mm²), este valor solo puede obtenerse mediante gráficos y β = Relación de embutición ($\beta = \frac{D}{d}$).

El análisis propio para esta fase se visualiza en el *anexo A3* correspondiente al Diseño de la Matriz de Embutición.

6.2.3.6. EMBUTICION EN VARIAS FASES

La embutición en varias fases se aplica en procesos de embutición en los que se requieren obtener cilindros con mayor deformación de su espesor y es necesario ejecutar un número superior de operaciones. En el proyecto se verifica mediante los respectivos cálculos en el *anexo A3*, del Diseño de la Matriz de Embutición, que la operación de embutido del discos de corte de diámetros 32.5 mm., 29.5 mm. y 28.4 mm., se efectuarán en 2 fases.

Dentro de embutición en varias fases se consideran los valores del diámetro exterior de cilindro, la altura del cilindro, de la misma forma el factor α para piezas de dimensiones pequeñas.

6.3 TOLERANCIAS Y AJUSTES

6.3.1 TOLERANCIAS

En lo relacionado a las tolerancias generales en la matriz de embutición se puede acotar que son de +/- 0.1 mm., salvo en el casquillo y punzón de embutición elementos que requieren de tolerancias de mayor precisión utilizando un valor de +/- 0.02 mm. en ambos casos.

Estas tolerancias serán observadas en los planos de construcción del *anexo D*.

6.3.2 AJUSTES

AJUSTE ENTRE CASQUILLO DE EMBUTICION Y PLACA MATRIZ

El ajuste existente entre estos dos componentes es un ajuste con interferencia cuyas características tanto internas como externas se ven en la tabla 6.3. .

AJUSTE ENTRE PUNZON DE EMBUTICION Y PLACA PORTA PUNZON

Los ajustes para estos elementos son de interferencia en medidas externas e internas y se muestran en la tabla 6.3. .

Tabla 6.3 Tabla de tolerancias y ajustes²³

Elementos a Ensamblar	Tipo de ajuste	Diámetro mm.	Característica Interna		Característica Externa		Juego		Conclusión
							Máx.	Min.	
Punzón de Embutición y Placa Portapunzón	H7-p6	36.2	Placa Portapunzón	+25	Punzón	+42	-0.001	-0.042	Ajuste con Interferencia
			H7	0	p6	+26			
Casquillo de Embutición y Placa Matriz	H7-p6	63.66	Placa Matriz	+30	Casquillo de Embutición	+51	-0.002	-0.051	Ajuste con Interferencia
			H7	0	p6	+32			

Los Valores expuestos en la anterior tabla están dados en micrómetros (1 μ m. = 0.001 mm.)

²³ Fuente: Metrología, Carlos González-Ramón Zeleny., Editorial McGraw-Hill, México México 1995, 1ra Edición, pp. 388-393

6.4 RESTRICCIONES

6.4.1 CONSTRUCCION DE LA MATRIZ

Características de la materia prima.- **los aceros utilizados para la construcción del troquel múltiple poseen propiedades mecánicas que permiten su maquinabilidad como lo demuestra la tabla 6.1. .**

Espesor de la Placa Matriz (30 mm. tolerancia +- 0).- **El espesor de la placa matriz de embutición posee es de 32 mm., esto se debe a que al alojar la pastilla o casquillo de embutición en su cavidad interna, para de esta manera permitir que el casquillo se inserte de forma total en dicha cavidad y se evite así que en el instante en que se proceda al proceso de embutido se produzca una extracción forzada si se produce un remordimiento entre el punzón y el disco de embutido. Claro que para prever esta desalineación se debe sujetar la placa con el casquillo utilizando prisioneros.**

Características de Manufactura.- **Necesario tener la habilidad y capacidad necesaria para manipular y operar maquinaria industrial (torno, fresadora, rectificadora, etc.), para ahorrar tiempo de construcción de placa matriz y casquillo de embutición y accesorios además de gastos de consumo energético.**

Instrumentos de alta precisión.- **micrómetros de precisión 0.01 mm., pie de rey 0.02 mm. y 0.05 mm., comparador de reloj 0.01 mm. .**

Prisioneros como seguridad para el casquillo de embutición.- **se los utiliza con la finalidad de evitar desplazamiento axial del casquillo en el instante de la realización del proceso de embutición y al momento de la extracción del material.**

Acabados superficiales de placas.- **Es necesario un acabado superficial N6 por lo las superficies de la matriz permite acoplar los elementos en contacto de forma regular.**

6.4.2 PUNZON Y CASQUILLO DE EMBUTICION

Tratamiento Térmico.- **El tratamiento térmico realizado al punzón y casquillo de embutición es templado en aceite N° 30. Este es un proceso ejecutado a baja temperatura, especialmente en aceros, con el que se obtiene el equilibrio deseado entre la dureza y la tenacidad del producto final. Las piezas de acero endurecidos se calientan a una temperatura elevada, pero bajo el punto de fusión del material. Luego se enfrían rápidamente en aceite o en agua para lograr un material más duro, con menos estrés interno, pero más frágil. Para reducir la fragilidad, el material pasa por un recocido que aumenta la tenacidad y disminuye su dureza.**

Acabados superficiales de punzón y casquillo.- **Indispensable un acabado superficial N7 o tipo espejo el cual permite acoplar las superficies en contacto de forma óptima.**

Casquillo de Embutición (Conicidad diferente para cada disco de corte).- **La conicidad en los casquillos de embutición y sus cambios en la forma del mismo al realizar el proceso de embutición en los diferentes discos de embutido difiere, dependiendo del ataque que se requiere dar para permitir una penetración del punzón junto al disco en el orificio de embutido. Este valor de conicidad es el que busca tener un mayor ángulo de ingreso del componente que se embute con el punzón en el casquillo, para de esta manera obtener una sola operación de embutición, logrando que el objeto que se embute evite que sus paredes sufran pliegues al instante de su ingreso y estos son los detallados en la Tabla 6.4:**

Tabla 6.4 Diámetros de Discos utilizados en el Proceso de Embutición

Diámetro disco de corte (mm.)	Angulo de Conicidad (°)
28.4	15
29.5	20
32.5 **	25

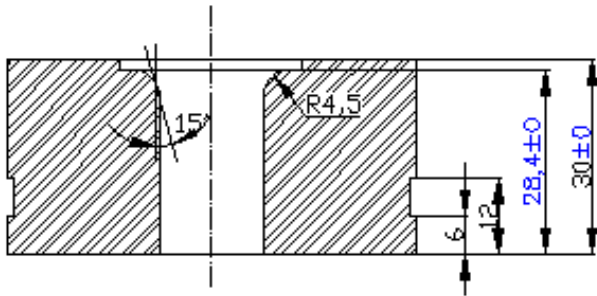
Como se puede notar en la Tabla 6.4, el ángulo de conicidad aumenta a medida que el diámetro de disco aumenta, existiendo una relación directamente proporcional.

**** En el caso del diámetro de disco $D=32.5$ mm., no es posible realizar la embutición en una sola fase, debido a que la altura que permite la obtención de la forma del cilindro dada por el casquillo de embutición, es susceptible a desaparecer si el ángulo de conicidad aumenta y en este particular el diámetro externo de embutido será mayor a 16 mm., diámetro que es el requerimiento en este proyecto.**

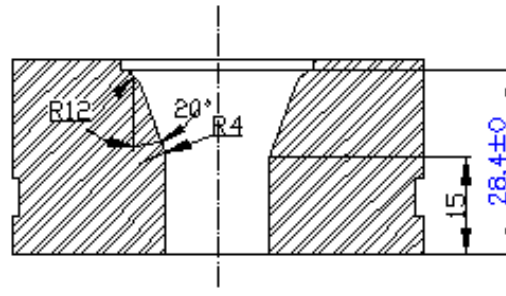
Para variar el ángulo de conicidad se efectúa una inclinación de la torreta por lo tanto se le da un ángulo de ataque a la cuchilla de widia mediante el cilindrado interior del casquillo proporcionando que se desbaste el material y así obtener el ángulo que permita obtener el cilindro.

A continuación se puede ver la variación del ángulo de conicidad que se aplica a cada diámetro de disco a embutir en la Figura 6.1..

DISCO D=28,4 mm



DISCO D=29,5 mm



DISCO D=32,5 mm

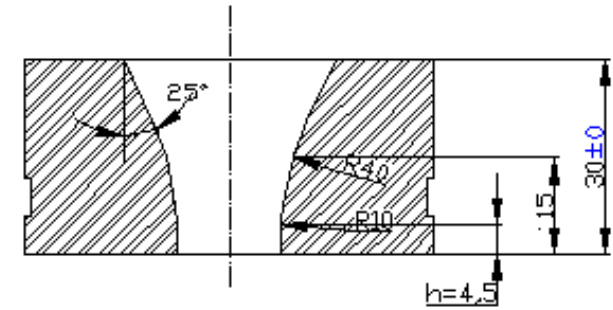


Figura 6.1 Variación del Angulo de Inclinación y efectos producidos en el Casquillo de Embutición

Radio en Cuchilla (Punzón).- **El radio en la cuchilla que efectúa la cabeza del punzón tiene una aproximación a los 4 mm., se debe esta aseveración a que fue medido dicho diámetro en un proyector de perfiles por tal motivo esta consideración.**

6.5 PROCESOS DE MANUFACTURA

Dentro de lo referente a procesos de manufactura requeridos para la construcción de la matriz de embutición se presentan algunos aspectos tanto del tipo operacional, así también del tipo ingenieril en función de los materiales empleados:

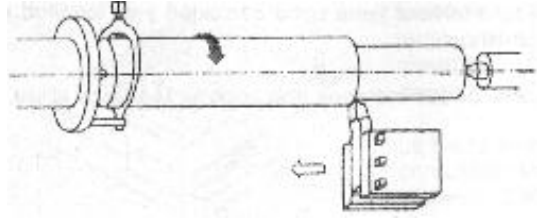
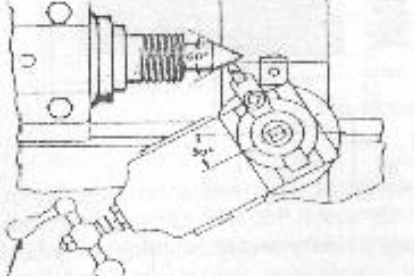
MATERIAL

El material utilizado en la manufactura del punzón de embutición y casquillo de embutición es el acero AISI-1045, material que por sus características y propiedades es utilizado en trabajos de matricería, y además su fácil maquinabilidad permite que la fabricación de estos elementos sean efectuados de forma inmediata y sin mayor dificultad.

TORNEADO

Las operaciones de torneado que se efectuaron en la fase de construcción de los elementos de embutición se describen en la Tabla 6.6:

Tabla 6.5 Operaciones Básicas del Torneado

<p><i>Cilindrado</i></p> <p>La función de esta técnica es la de reducir el diámetro de la probeta hasta que la misma se encuentre dentro de las tolerancias indicadas en los planos de diseño</p>	
<p><i>Refrentado</i></p> <p>Es una operación mediante la cuál se logra obtener una cara perpendicular al eje.</p> <p>Existen dos formas para realizar esta operación: herramienta curva para refrentar y herramienta de costado acodada.</p>	
<p><i>Torneado Cónico</i></p> <p>Este tipo de procesos puede ser realizado por dos métodos: el primero mediante desplazamiento del contrapunto o por rotación del carro superior.</p>	
<p><i>Taladrado</i></p> <p>Se puede ejecutar en el torno, haciendo avanzar a la broca dentro del trabajo rotatorio a lo largo de su eje, siempre que la línea de centros coincida con la del eje del torno. Para realizar esta operación se monta una broca helicoidal en el lugar del contrapunto, la pieza que debe ser maquinada gira en voladizo sujeta a un plato autocentrante.</p>	

--	--

6.5.1 DIAGRAMAS DE PROCESOS

En la matriz de embutición se utilizaron procesos cuya representación grafica de actividades y secuencias se puede apreciar en el *anexo B*.

6.5.2 CONSTRUCCION

La construcción de elementos necesarios para conformar la matriz de embutición se realizaron en los talleres de Maquinas y Herramientas de la Fábrica de Municiones del Ejército “Santa Bárbara”, optimizando tanto el tiempo como el empleo de la maquinaria y accesorios que poseen las mencionadas instalaciones, a esto se adiciona el empeño personal de quienes ejecutamos el proyecto en fase constructiva y de diseño, llevada a cabo en dos semanas aproximadamente, tiempo en el cual se realizaron los siguientes elementos:

- Punzón de Embutición**
- Casquillo de Embutición**

Acotamos que todos los miembros citados anteriormente fueron contruidos basados en los diagramas de procesos indicados en el presente capitulo, en la sección 6.5.1. .

6.6 ENSAMBLAJE

El ensamblaje nos permite el funcionamiento óptimo de los elementos componentes de la matriz de embutición para obtener de esta manera el mejor procedimiento al ejecutar el embutido de los discos de corte.

El ensamble de la matriz se presenta de forma clara en el *anexo C* mediante planos de ensamble.

6.6.1 CALIBRACION Y PUESTA A PUNTO

De similar manera que en la matriz de corte, en la puesta a punto de la matriz de embutición es primordial tomar en cuenta que la precisión en el cálculo como también sus últimas medidas serán consideradas las tolerancias que la misma demanda al momento del centrado y cuadrage de la matriz previo a la realización de las pruebas de embutición, siendo preciso el uso de los pasadores que sirven como guía principal al instante del ajuste de los pernos de sujeción.

En la calibración de la matriz de embutición se debe tomar en consideración que los cilindros embutidos a realizarlos en las pruebas de embutido, son efectuados con los diferentes diámetros de disco que previamente fueron cortados y estos poseen de características diferentes, por lo tanto dependen:

Si la fibra del disco posterior al corte se encuentra a compresión o a tracción, si los discos son lubricados o si son sometidos a embutición sin lubricante. Estos particulares permiten que el proceso a ejecutarse y con la cantidad que se requiere en cada ensayo, obtenga variantes en sus características al embutirlos, proporcionando diferencias por el comportamiento de las fibras que al sufrir la presión de embutido se comportan de formas similares salvo consideraciones.

CAPITULO 7

7. PRUEBAS DE EMBUTICION Y ANALISIS DE RESULTADOS

7.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

En las pruebas de funcionamiento de la matriz de corte y posteriormente de la matriz de Embutición se elaboran 200 cilindros de prueba de los cuales la mitad utiliza el valor calculado del diámetro de corte mediante la EVG y la cantidad restante utilizando la EN2, cabe recalcar que no se utiliza la EN1 debido que a pesar de variar la conicidad en el casquillo de embutición son necesarias 2 fases de embutición para obtener el producto deseado como se menciona en el capítulo 6, sección 6.4.2 PUNZON Y CASQUILLO DE EMBUTICION.

Para poder observar la influencia que presenta las propiedades mecánicas del aluminio AA-1100 dentro del proceso de embutición se realizó esta operación en sublotes de 10 piezas y considerando las siguientes características como se observa en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1 Características de los cilindros embutidos

Característica	Piezas/Lote	N de Sublotes	EVG	EN2
			Total	Total
Utilizando lubricante	10	2	20	20
Compresión	10	3	30	30
Tracción	10	3	30	30
Sin utilizar lubricante	10	2	20	20

Total	10	100	100
--------------	-----------	------------	------------

Para la obtención de los cilindros a tracción y compresión se va considerar la distribución de fibras en el material en el proceso de corte como se observa en la Figura 7.1.

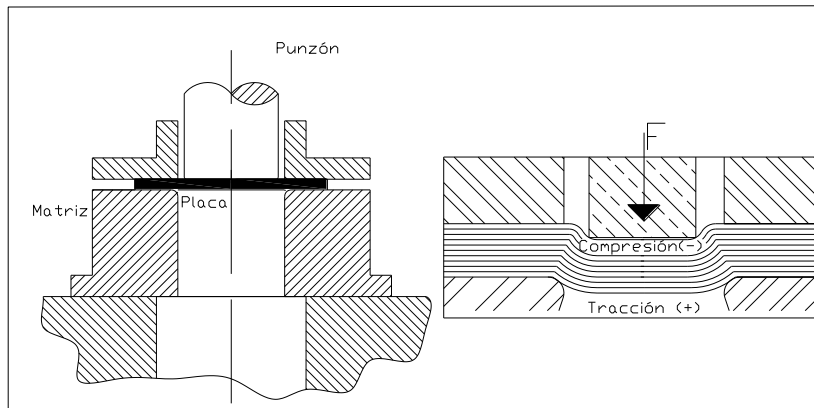


Figura 7.1 Distribución de Fibras de Material en el Proceso de Corte

Se puede observar que las Fibras del material en la parte superior (contacto con el punzón de corte) se encuentran a compresión, mientras que en la parte inferior las fibras se encuentran a tracción.

Posteriormente se realizan las correspondientes mediciones de los cilindros utilizando pie de rey y micrómetros digitales, para realizar cartas de control $(\bar{X}-R)$ y cálculo del error porcentual entre la EVG, EN2 y un valor ideal, que permitan indicar gráficamente la diferencia existente y poder realizar un análisis de resultados.

7.1.1 ALTURA DE LA SUPERFICIE CILINDRICA

Para este análisis se necesita determinar los siguientes parámetros: hmin= Altura mínima; tps= espesor de la pared superior; tpi= espesor de la pared inferior; tp promedio= promedio entre tps y tpi; hcm= Altura de

la superficie cilíndrica medida. En el ejemplo de cálculo se ilustra de forma precisa la aplicación.

Ejemplo de Cálculo:

hc medida

hmin := 12.5 mm

Altura medida en el cilindro embutido

re := 4

Radio de Embutición calculado mediante la Ecuación (4.3)

tppromedio := 1.57

Espesor de pared promedio medido en el cilindro embutido

hcm := hmin – (re + tppromedio) Ecuación (4.11)

hcm := 6.93 mm

Los valores correspondientes a hcm de los cilindros embutidos se presentan a continuación:

7.1.1.1 ECUACIÓN DE VARIACIÓN GEOMÉTRICA (EVG).

Los datos de los cilindros con esta característica se aprecian en las Tablas 7.2, 7.3, 7.4 y 7.5 respectivamente.

Tabla 7.2 Altura de la superficie cilíndrica medida (hcm) Utilizando Lubricante

N	h min	tps	tpi	tp promedio	hcm
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	12.50	1.58	1.56	1.57	6.93
2	12.45	1.52	1.52	1.52	6.93
3	12.65	1.58	1.56	1.57	7.08
4	12.70	1.58	1.56	1.57	7.13
5	12.45	1.58	1.57	1.58	6.88
6	12.30	1.58	1.58	1.58	6.72
7	12.45	1.57	1.56	1.57	6.89
8	12.30	1.56	1.57	1.57	6.74
9	12.45	1.56	1.59	1.58	6.88
10	12.45	1.58	1.57	1.58	6.88
\bar{X}					6.90
R					0.41

Continuación... Tabla 7.2 Altura de la superficie cilíndrica medida (hcm)

Utilizando Lubricante

N	h min	tps	tpi	tp promedio	hcm
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	12.53	1.54	1.56	1.55	6.98
2	12.69	1.56	1.55	1.56	7.14
3	12.64	1.57	1.58	1.58	7.07
4	12.79	1.59	1.60	1.60	7.20
5	12.80	1.60	1.60	1.60	7.20
6	12.94	1.59	1.59	1.59	7.35
7	12.65	1.55	1.56	1.56	7.10
8	12.73	1.57	1.57	1.57	7.16
9	12.83	1.55	1.55	1.55	7.28
10	12.80	1.56	1.56	1.56	7.24
				\bar{X}	7.17
				R	0.37

Tabla 7.3 Altura de la superficie cilíndrica medida (hcm) a Compresión.

N	h min	tps	tpi	tp promedio	hcm
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	12.71	1.56	1.56	1.56	7.15
2	12.97	1.58	1.58	1.58	7.39
3	12.85	1.57	1.56	1.57	7.29
4	13.12	1.6	1.6	1.60	7.52
5	12.72	1.58	1.58	1.58	7.14
6	12.53	1.57	1.56	1.57	6.97
7	12.67	1.56	1.57	1.57	7.11
8	12.88	1.58	1.58	1.58	7.30
9	12.73	1.58	1.57	1.58	7.16
10	12.71	1.58	1.59	1.59	7.13
				\bar{X}	7.21
				R	0.56

Continuación... Tabla 7.3 Altura de la superficie cilíndrica medida (hcm) a
Compresión

N	h min	tps	tpi	tp promedio	hcm
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	13.11	1.55	1.55	1.55	7.56
2	13.08	1.56	1.56	1.56	7.52
3	12.72	1.56	1.57	1.57	7.16
4	12.66	1.56	1.57	1.57	7.10
5	12.89	1.56	1.57	1.57	7.33
6	13.2	1.58	1.59	1.59	7.62
7	12.48	1.54	1.55	1.55	6.94
8	13.5	1.57	1.57	1.57	7.93
9	13.23	1.57	1.56	1.57	7.67
10	13.35	1.56	1.54	1.55	7.80
\bar{X}					7.46
R					0.99

N	h min	tps	tpi	tp promedio	hcm
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	13.61	1.55	1.55	1.55	8.06
2	13.36	1.57	1.56	1.57	7.80
3	13.54	1.56	1.57	1.57	7.98
4	13.36	1.58	1.58	1.58	7.78
5	12.50	1.56	1.56	1.56	6.94
6	13.10	1.59	1.59	1.59	7.51
7	12.53	1.58	1.58	1.58	6.95
8	12.75	1.56	1.56	1.56	7.19
9	12.50	1.58	1.59	1.59	6.92
10	13.38	1.56	1.57	1.57	7.82
\bar{X}					7.49
R					0.52

Tabla 7.4 Altura de la superficie cilíndrica medida (hcm) a Tracción

N	h min	tps	tpi	tp promedio	hcm
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	12.7	1.59	1.59	1.59	7.11
2	12.79	1.57	1.57	1.57	7.22
3	13.12	1.56	1.57	1.57	7.56
4	12.72	1.56	1.57	1.57	7.16
5	12.78	1.57	1.56	1.57	7.22
6	12.42	1.6	1.59	1.60	6.83
7	12.32	1.61	1.61	1.61	6.71
8	12.59	1.59	1.59	1.59	7.00
9	12.77	1.59	1.59	1.59	7.18
10	12.8	1.61	1.6	1.61	7.20
\bar{X}					7.12
R					0.51

N	h min	tps	tpi	tp promedio	hcm
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	12.46	1.58	1.59	1.59	6.88
2	12.84	1.55	1.55	1.55	7.29
3	12.45	1.57	1.57	1.57	6.88
4	13.02	1.61	1.61	1.61	7.41
5	12.76	1.58	1.58	1.58	7.18
6	12.71	1.57	1.57	1.57	7.14
7	12.84	1.6	1.6	1.60	7.24
8	12.65	1.57	1.58	1.58	7.08
9	12.73	1.59	1.6	1.60	7.14
10	12.62	1.59	1.59	1.59	7.03
\bar{X}					7.13
R					0.41

N	h min	tps	tpi	tp promedio	hcm
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	12.88	1.56	1.57	1.57	7.32
2	12.65	1.57	1.56	1.57	7.09
3	12.93	1.59	1.59	1.59	7.34
4	12.47	1.58	1.59	1.59	6.89
5	12.69	1.57	1.57	1.57	7.12
6	13.1	1.58	1.59	1.59	7.52
7	12.48	1.61	1.61	1.61	6.87
8	12.82	1.61	1.61	1.61	7.21
9	12.53	1.55	1.55	1.55	6.98
10	12.84	1.58	1.58	1.58	7.26
\bar{X}					7.16
R					0.47

Tabla 7.5 Altura de la superficie cilíndrica medida (hcm) Sin Lubricante

N	h min	tps	tpi	tp promedio	hcm
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	12.64	1.58	1.59	1.59	7.06
2	12.65	1.58	1.57	1.58	7.08
3	12.85	1.57	1.57	1.57	7.28
4	12.84	1.57	1.58	1.58	7.27
5	12.68	1.57	1.56	1.57	7.12
6	12.74	1.57	1.57	1.57	7.17
7	12.95	1.59	1.6	1.60	7.36
8	12.64	1.6	1.6	1.60	7.04
9	12.65	1.58	1.58	1.58	7.07
10	12.74	1.6	1.6	1.60	7.14
				\bar{X}	7.16
				R	0.30

N	h min.	tps	tpi	tp promedio	hcm
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	12.67	1.61	1.61	1.61	7.06
2	12.77	1.6	1.61	1.61	7.17
3	12.65	1.61	1.61	1.61	7.04
4	12.73	1.58	1.58	1.58	7.15
5	12.87	1.61	1.62	1.62	7.26
6	13.04	1.57	1.57	1.57	7.47
7	12.38	1.61	1.6	1.61	6.78
8	12.7	1.56	1.57	1.57	7.14
9	12.98	1.59	1.58	1.59	7.40
10	13.27	1.56	1.57	1.57	7.71
				\bar{X}	7.22
				R	0.93

7.1.1.2 CARTA DE CONTROL ($\bar{X}-R$)

Un resumen de los resultados obtenidos que sirven para desarrollar las cartas de control ($\bar{X}-R$) se observan en las Tablas 7.6 y 7.7 y en las Figuras 7.2 y 7.3, respectivamente.

Tabla 7.6 Características de la Carta (\bar{X})

N. de Sublotos	Característica	Promedio de hcm mm.	LCS	LCI	Especificación
1	Utilizando Aceite	6.90	7.37	7.03	6.8
2	Utilizando Aceite	7.17			
3	Compresión	7.21			
4	Compresión	7.46			
5	Compresión	7.49			
6	Tracción	7.12			
7	Tracción	7.13			
8	Tracción	7.16			
9	Sin Aceite	7.16			
10	Sin Aceite	7.22			
	\bar{X}	7.20			

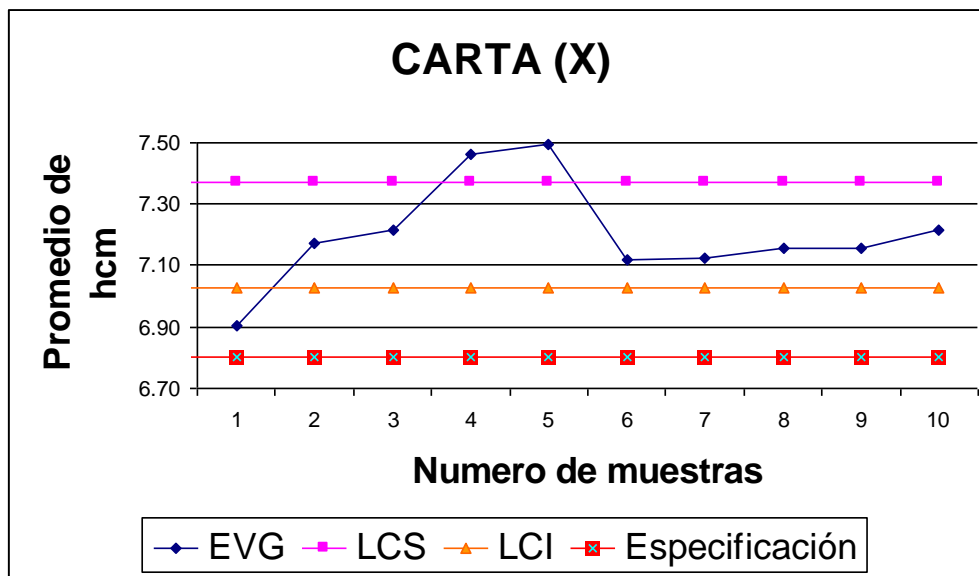


Figura 7.2 Carta de control (\bar{X}) de hcm aplicando la EVG

Análisis de la Carta (\bar{X}):

Se observa una variación por exceso de materia prima y también un cambio uniforme en las características del aluminio.

Tabla 7.7 Características de la CARTA (R)

N. de Sublotos	Característica	Promedio de R mm.	LCS	LCI
1	Utilizando Aceite	0.41	0.97	0.12
2	Utilizando Aceite	0.37		
3	Compresión	0.56		
4	Compresión	0.99		
5	Compresión	0.52		
6	Tracción	0.51		
7	Tracción	0.41		
8	Tracción	0.47		
9	Sin Aceite	0.30		
10	Sin Aceite	0.93		
\bar{R}		0.55		

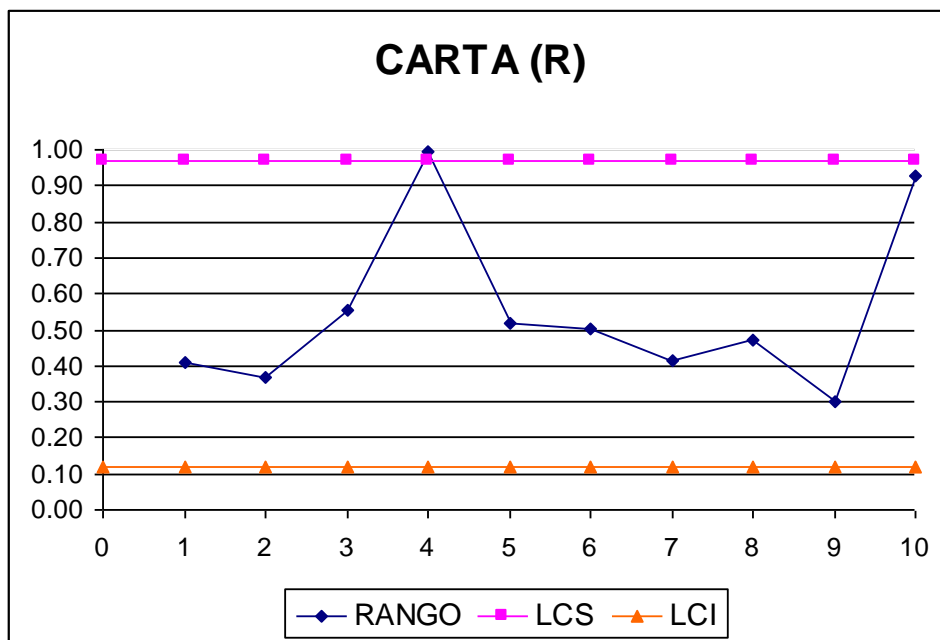


Figura 7.3 Carta de control (R) de hcm aplicando la EVG

Análisis de la CARTA (R):

Existe un punto mal calculado debido a que el instrumento de medición utilizado no fue el adecuado y por exceso de aluminio.

7.1.1.3 ECUACIÓN NORMALIZADA 2 (EN2):

Los datos de los cilindros con esta característica se aprecian en las tablas 7.8, 7.9 , 7.10 y 7.11.

Tabla 7.8 Altura de la superficie cilíndrica medida (hcm) Utilizando Lubricante

N	h min
	mm.
1	13.98
2	13.91
3	13.81
4	13.95
5	14.10
6	13.99
7	13.89
8	14.63
9	14.34
10	14.10
\bar{X}	14.07
R	0.82

N	h min
	mm.
1	14.13
2	14.48
3	14.49
4	13.78
5	13.97
6	13.97
7	13.96
8	13.96
9	14.04
10	14.47
\bar{X}	14.13
R	0.71

Tabla 7.9 Altura de la superficie cilíndrica medida (hcm) a Compresión

N	h min
	mm.
1	13.76
2	13.68
3	14.57
4	13.89
5	14.34
6	13.81
7	14.02
8	13.91
9	13.76
10	13.76

\bar{X}	13.95
R	0.89

N	h min
	mm.
1	14.01
2	14.43
3	14.43
4	14.26
5	13.9
6	14.59
7	13.82

8	14.03
9	13.77
10	13.69
\bar{X}	14.09
R	0.74

N	h min
	mm.
1	13.87
2	13.93
3	13.76
4	13.77

5	14.42
6	14.49
7	13.93

8	14.03
9	14.47
10	14.45

\bar{X}	14.11
R	0.73

Tabla 7.10 Altura de la superficie cilíndrica medida (hcm) a Tracción

N	h min
	mm.
1	13.72
2	14.06
3	13.96
4	14.23
5	13.84
6	14.35
7	14.13
8	14.26
9	14.09
10	14.09
\bar{X}	14.07
R	0.63

N	h min
	mm.
1	13.82
2	14.01
3	13.81
4	14.39
5	14.12
6	13.93
7	14.22
8	13.94
9	13.83
10	14.27
\bar{X}	14.03
R	0.58

N	h min
	mm.
1	14
2	13.82
3	13.52
4	14.11
5	14.09
6	13.49
7	13.65
8	13.9
9	13.5
10	13.7
\bar{X}	13.78
R	0.61

Tabla 7.11 Altura de la superficie cilíndrica medida (hcm) Sin Lubricante

N	h min
	mm.
1	13.99
2	13.84
3	13.87
4	13.33
5	13.83
6	13.9
7	13.81
8	13.49
9	13.77
10	13.65
\bar{X}	13.75

R	0.66
---	------

N	h min
	mm.
1	13.71
2	13.67
3	14.18
4	13.89
5	13.8
6	13.58
7	13.98
8	13.8

9	13.81
10	14.12
\bar{X}	13.85

R	0.60
---	------

7.1.1.4 CARTA DE CONTROL ($\bar{X}-R$)

El resumen de los resultados obtenidos y que servirán para desarrollar las cartas de control ($\bar{X}-R$) se observan en las Tablas 7.12 y 7.13 y en las Figuras 7.4 y 7.5, respectivamente.

Tabla 7.12 Características de la Carta (\bar{X})

N de Sublotos	Característica	Promedio de hcm mm.	LCS	LCI	Especificación
1	Utilizando Aceite	14.07	14.2	13.77	12.4
2	Utilizando Aceite	14.13	14.2		
3	Compresión	13.95	14.2		
4	Compresión	14.09	14.2		
5	Compresión	14.11	14.2		
6	Tracción	14.07	14.2		
7	Tracción	14.03	14.2		
8	Tracción	13.78	14.2		
9	Sin Aceite	13.75	14.2		
10	Sin Aceite	13.85	14.2		
\bar{X}		13.98			

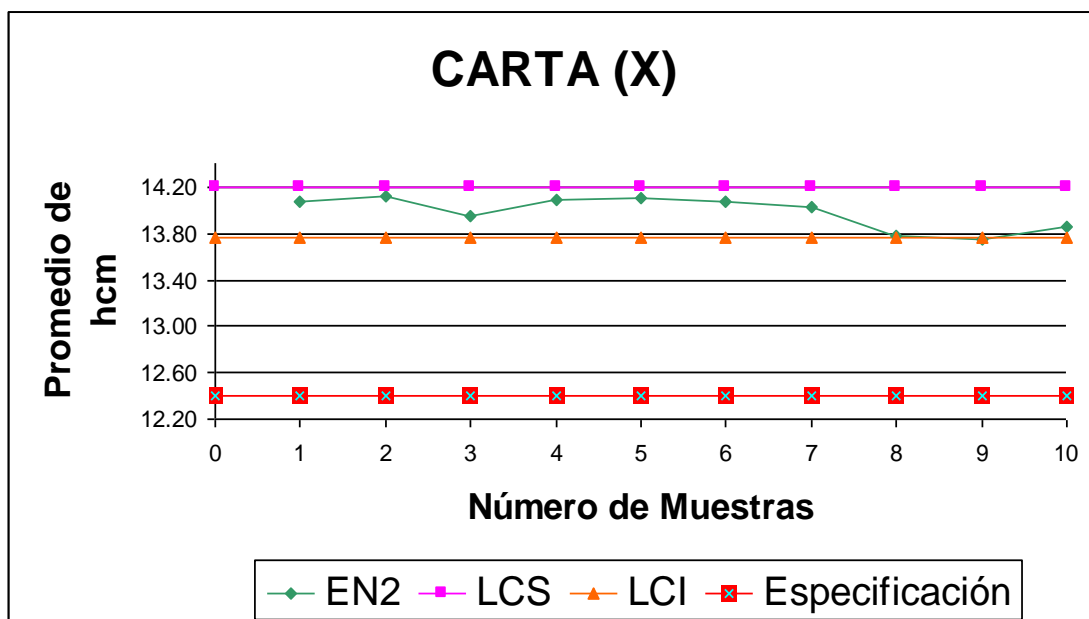


Figura 7.4 Carta de control (\bar{X}) de hcm aplicando la EN2

Análisis de Carta (\bar{X}): **Se observa una variación por exceso de materia prima y también un cambio uniforme en las características del aluminio cuando se realiza la embutición Sin Lubricante.**

Tabla 7.13 Características de la carta de control (R)

N. de Sublote	Característica	Promedio de R mm.	LCS	LCI
1	Utilizando Aceite	0.82	1.24	0.16
2	Utilizando Aceite	0.71		
3	Compresión	0.89		
4	Compresión	0.74		
5	Compresión	0.73		
6	Tracción	0.63		
7	Tracción	0.58		
8	Tracción	0.61		
9	Sin Aceite	0.66		
10	Sin Aceite	0.60		
	\bar{R}	0.70		

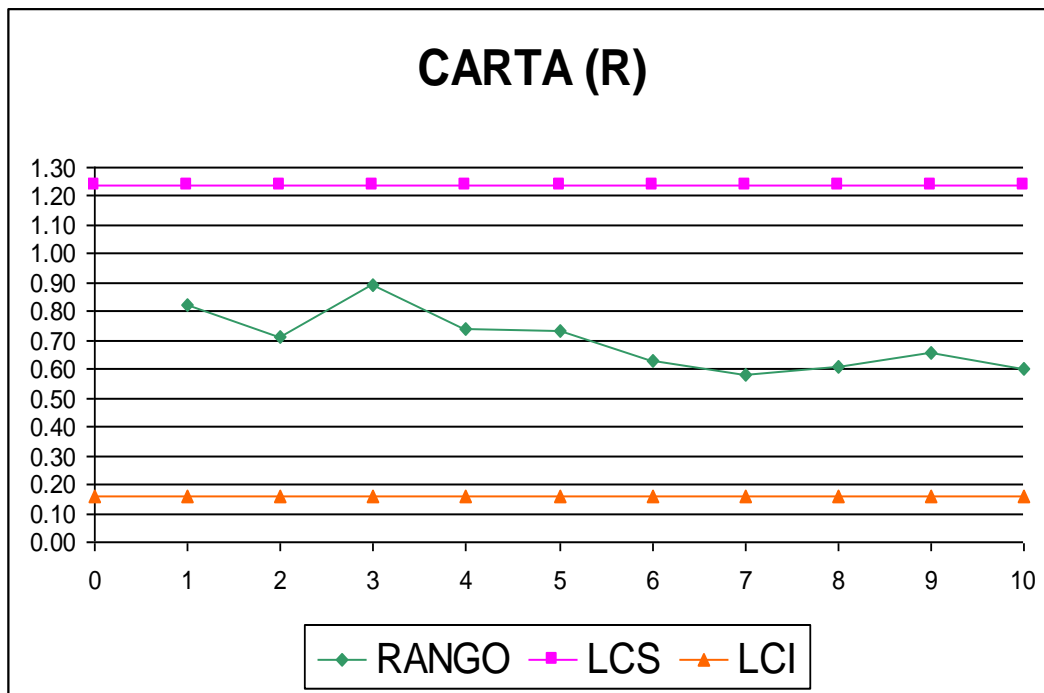


Figura 7.5 Carta de control (R) de hcm aplicando la EN2

Análisis de la carta (R):

El rango de valores se encuentra dentro de los límites de control, lo cual asegura que los datos tomados fueron correctos.

7.1.1.5 ERROR PORCENTUAL ENTRE ESPECIFICACIONES - EVG – EN2

Mediante el cálculo de este error se puede determinar cual de las dos ecuaciones permite obtener una mayor aproximación a la altura real del cilindro. Estos valores se los puede apreciar en la Tabla 7.14 y visualizar en las Figuras 7.6 y 7.7

Tabla 7.14 Cálculo de Error Porcentual

N.de Sublot	Característica	EVG		Error %	EN2		Error %
		CARTA (X)	Esp. 1	Esp1-EVG	CARTA (X)	Esp. 2	Esp2-EN2
1	Utilizando Aceite	6.90	6.8	-1.52	14.07	12.4	-13.47
2	Utilizando Aceite	7.17	6.8	-5.44	14.13	12.4	-13.91
3	Compresión	7.21	6.8	-6.08	13.95	12.4	-12.50
4	Compresión	7.46	6.8	-9.71	14.09	12.4	-13.65
5	Compresión	7.49	6.8	-10.19	14.11	12.4	-13.81

6	Tracción	7.12	6.8	-4.65	14.07	12.4	-13.49
7	Tracción	7.13	6.8	-4.79	14.03	12.4	-13.18
8	Tracción	7.16	6.8	-5.26	13.78	12.4	-11.11
9	Sin Aceite	7.16	6.8	-5.24	13.75	12.4	-10.87
10	Sin Aceite	7.22	6.8	-6.10	13.85	12.4	-11.73
		Promedio		-5.90			-12.77

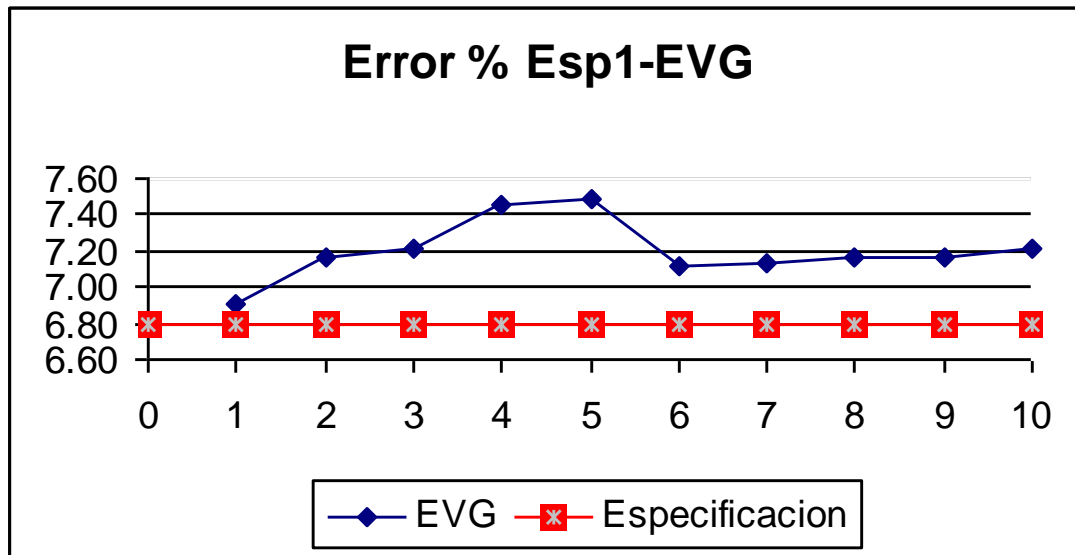


Figura 7.6 Error % entre la EVG y la especificación del hcm

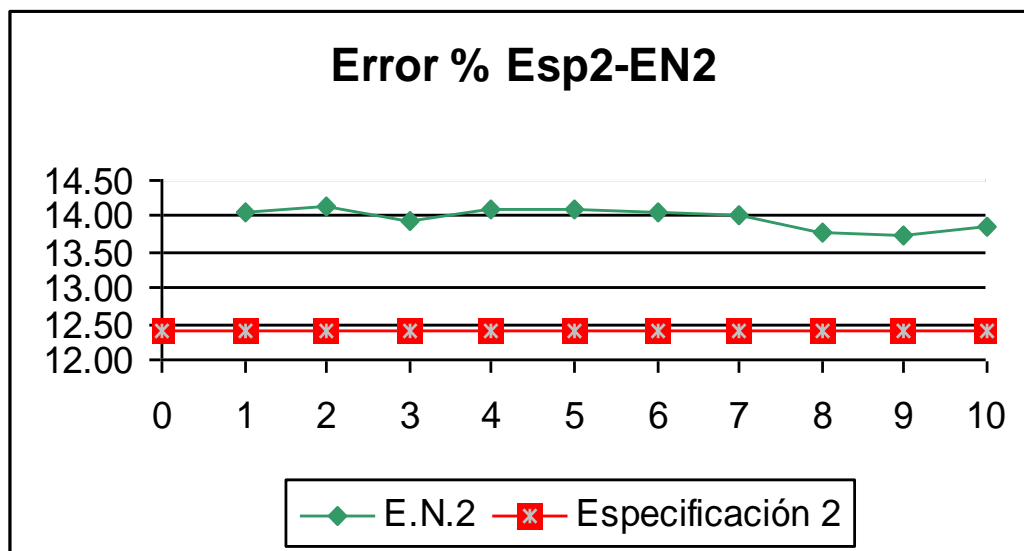


Figura 7.7 Error % entre la EVG y la especificación del hcm

La EVG presenta menor % de error en lo que respecta al cálculo de hcm.

7.1.2 DIAMETRO DE FONDO

Para este análisis se necesita determinar los siguientes parámetros: d_{ext} = Diámetro exterior del cilindro embutido; t_{ps} = espesor de la pared superior; t_{pi} = espesor de la pared inferior; t_p promedio= promedio entre t_{ps} y t_{pi} ; d_f = Diámetro de fondo. El ejemplo de cálculo se presenta a continuación.

Ejemplo de Cálculo:

d_f

$r_e := 4$

Radio de Embutición calculado mediante Ecuación (4.3)

$d_{ext} := 16.04 \text{ mm}$

Diámetro Exterior del Cilindro Embutido

$t_{ppromedio} := 1.57$

Espesor de pared promedio medido en el cilindro embutido

$d_f := d_{ext} - 2 \cdot (t_{ppromedio} + r_e)$

Diámetro de Fondo Ecuación (4.9)

$d_f := 4.9 \text{ mm}$

Los valores correspondientes al d_f de los cilindros embutidos se presentan a continuación:

7.1.2.1 ECUACIÓN DE VARIACIÓN GEOMÉTRICA (EVG):

Los datos de los cilindros con esta característica se aprecian en las tablas 7.15.

Tabla 7.15 Diámetro de Fondo (d_f) Utilizando Lubricante

N	d_{ext}	t_{ps}	t_{pi}	t_p promedio	Diámetro de Fondo
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	16.04	1.58	1.56	1.57	4.90
2	16.03	1.52	1.52	1.52	4.99
3	16.03	1.58	1.56	1.57	4.89
4	16.04	1.58	1.56	1.57	4.90
5	16.04	1.58	1.57	1.58	4.89
6	16.03	1.58	1.58	1.58	4.87
7	16.03	1.57	1.56	1.57	4.90

8	16.04	1.56	1.57	1.57	4.91
9	16.04	1.56	1.59	1.58	4.89
10	16.04	1.58	1.57	1.58	4.89
				\bar{X}	4.90
				R	0.10

N	d ext	tps	tpi	tp promedio	Diámetro de Fondo
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	16.04	1.54	1.56	1.55	4.94
2	16.03	1.56	1.55	1.56	4.92
3	16.03	1.57	1.58	1.58	4.88
4	16.03	1.59	1.60	1.60	4.84
5	16.03	1.60	1.60	1.60	4.83
6	16.02	1.59	1.59	1.59	4.84
7	16.02	1.55	1.56	1.56	4.91
8	16.03	1.57	1.57	1.57	4.89
9	16.03	1.55	1.55	1.55	4.93
10	16.02	1.56	1.56	1.56	4.90
				\bar{X}	4.89
				R	0.11

Tabla 7.16 Diámetro de Fondo (df) a Compresión

N	d ext	tps	tpi	tp promedio	Diámetro de Fondo
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	16.04	1.56	1.56	1.56	4.92
2	16.02	1.58	1.58	1.58	4.86
3	16.03	1.57	1.56	1.57	4.90
4	16.04	1.6	1.6	1.60	4.84
5	16.03	1.58	1.58	1.58	4.87
6	16.04	1.57	1.56	1.57	4.91
7	16.04	1.56	1.57	1.57	4.91
8	16.02	1.58	1.58	1.58	4.86
9	16.02	1.58	1.57	1.58	4.87
10	16.04	1.58	1.59	1.59	4.87
				\bar{X}	4.88
				R	0.06

N	d ext	tps	tpi	tp promedio	Diámetro de Fondo
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	16.03	1.55	1.55	1.55	4.93
2	16.02	1.56	1.56	1.56	4.90
3	16.02	1.56	1.57	1.57	4.89
4	16.02	1.56	1.57	1.57	4.89
5	16.03	1.56	1.57	1.57	4.90
6	16.02	1.58	1.59	1.59	4.85
7	16.02	1.54	1.55	1.55	4.93
8	16.04	1.57	1.57	1.57	4.90
9	16.02	1.57	1.56	1.57	4.89
10	16.03	1.56	1.54	1.55	4.93
				\bar{X}	4.90
				R	0.08

N	d ext	tps	tpi	tp promedio	Diámetro de Fondo
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	16.02	1.55	1.55	1.55	4.92
2	16.03	1.57	1.56	1.57	4.90
3	16.03	1.56	1.57	1.57	4.90
4	16.03	1.58	1.58	1.58	4.87
5	16.04	1.56	1.56	1.56	4.92
6	16.04	1.59	1.59	1.59	4.86
7	16.03	1.58	1.58	1.58	4.87
8	16.03	1.56	1.56	1.56	4.91
9	16.04	1.58	1.59	1.59	4.87
10	16.04	1.56	1.57	1.57	4.91
				\bar{X}	4.89
				R	0.05

Tabla 7.17 Diámetro de Fondo (df) a Tracción

N	d ext	tps	tpi	tp promedio	Diámetro de Fondo
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	16.04	1.59	1.59	1.59	4.86
2	16.03	1.57	1.57	1.57	4.89
3	16.03	1.56	1.57	1.57	4.90
4	16.04	1.56	1.57	1.57	4.91
5	16.03	1.57	1.56	1.57	4.90
6	16.03	1.6	1.59	1.60	4.84
7	16.04	1.61	1.61	1.61	4.82
8	16.03	1.59	1.59	1.59	4.85
9	16.04	1.59	1.59	1.59	4.86
10	16.03	1.61	1.6	1.61	4.82
				\bar{X}	4.87
				R	0.1

N	d ext	tps	tpi	tp promedio	Diámetro de Fondo
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	16.04	1.58	1.59	1.59	4.87
2	16.03	1.55	1.55	1.55	4.93
3	16.04	1.57	1.57	1.57	4.90
4	16.02	1.61	1.61	1.61	4.80
5	16.03	1.58	1.58	1.58	4.87
6	16.02	1.57	1.57	1.57	4.88
7	16.03	1.6	1.6	1.60	4.83
8	16.03	1.57	1.58	1.58	4.88
9	16.03	1.59	1.6	1.60	4.84
10	16.04	1.59	1.59	1.59	4.86
				\bar{X}	4.87
				R	0.10

N	d ext	tps	tpi	tp promedio	Diámetro de Fondo
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	16.04	1.56	1.57	1.57	4.91
2	16.03	1.57	1.56	1.57	4.90
3	16.04	1.59	1.59	1.59	4.86
4	16.03	1.58	1.59	1.59	4.86
5	16.03	1.57	1.57	1.57	4.89
6	16	1.58	1.59	1.59	4.83
7	16.03	1.61	1.61	1.61	4.81
8	16.03	1.61	1.61	1.61	4.81
9	16.02	1.55	1.55	1.55	4.92
10	16.03	1.58	1.58	1.58	4.87
				\bar{X}	4.87
				R	0.11

Tabla 7.18 Diámetro de Fondo (df) Sin Lubricante

N	d ext	tps	tpi	tp promedio	Diámetro de Fondo
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	16.04	1.58	1.59	1.59	4.87
2	16.02	1.58	1.57	1.58	4.87
3	16.03	1.57	1.57	1.57	4.89
4	16.03	1.57	1.58	1.58	4.88
5	16.02	1.57	1.56	1.57	4.89
6	16.02	1.57	1.57	1.57	4.88
7	16.03	1.59	1.6	1.60	4.84
8	16.02	1.6	1.6	1.60	4.82
9	16.04	1.58	1.58	1.58	4.88
10	16.03	1.6	1.6	1.60	4.83

\bar{X}	4.87
R	0.07

N	d ext	tps	tpi	tp promedio	Diámetro de Fondo	
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	
1	16.03	1.61	1.61	1.61	4.81	
2	16.03	1.6	1.61	1.61	4.82	
3	16.04	1.61	1.61	1.61	4.82	
4	16.03	1.58	1.58	1.58	4.87	
5	16.02	1.61	1.62	1.62	4.79	
6	16.04	1.57	1.57	1.57	4.90	
7	16.03	1.61	1.6	1.61	4.82	
8	16.02	1.56	1.57	1.57	4.89	
9	16.03	1.59	1.58	1.59	4.86	
10	16.03	1.56	1.57	1.57	4.90	
					\bar{X}	4.85
					R	0.11

7.1.2.2 CARTA DE CONTROL ($\bar{X}-R$)

Para el desarrollo de las cartas de control ($\bar{X}-R$) es necesario el resumen de resultados el cual se observa en las Tablas 7.19 y 7.20 y en las Figuras 7.8 y 7.9, respectivamente.

Tabla 7.19 Características de la carta de control (\bar{X})

N. de Sublotos	Característica	Promedio de Diámetro de Fondo mm.	LCS	LCI	Especificación
1	Utilizando Aceite	4.90	4.9	4.85	4.8
2	Utilizando Aceite	4.89			
3	Compresión	4.88			
4	Compresión	4.90			
5	Compresión	4.89			
6	Tracción	4.87			
7	Tracción	4.87			
8	Tracción	4.87			

9	Sin Aceite	4.87			
10	Sin Aceite	4.85			
	\bar{X}	4.88			

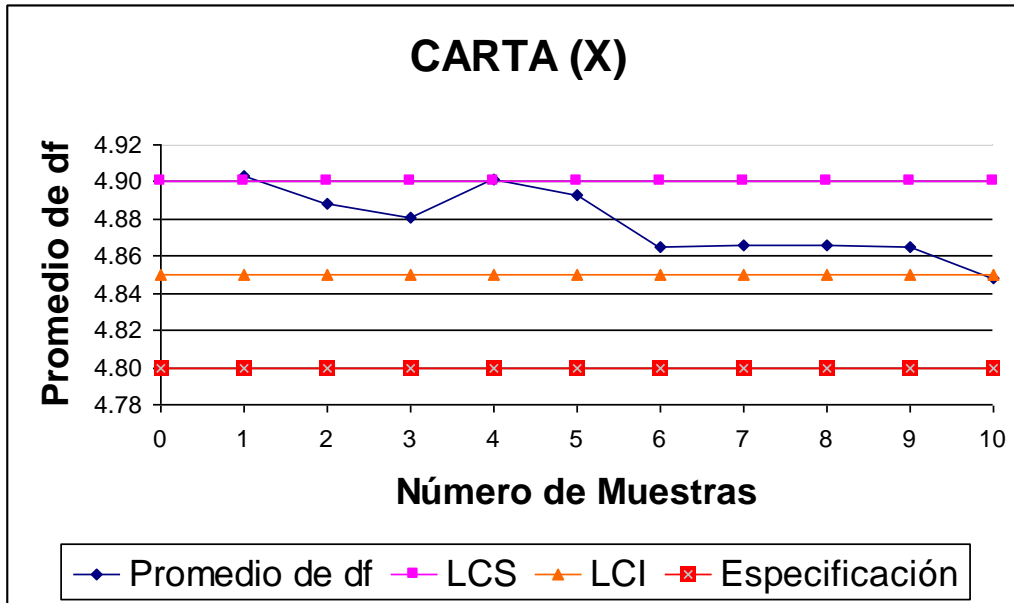


Figura 7.8 Carta de control (\bar{X}) de df aplicando la EVG

Análisis de la Carta (\bar{X}):

El promedio del diámetro de fondo se encuentra dentro de los límites de control calculados, no existe variación en las propiedades mecánicas del material.

Tabla 7.20 Características de la carta de control (R)

N. de Sublotes	Característica	Promedio de (R) mm.	LCS	LCI
1	Utilizando Aceite	0.10	0.09	0.01
2	Utilizando Aceite	0.11		
3	Compresión	0.06		
4	Compresión	0.08		
5	Compresión	0.05		
6	Tracción	0.09		

7	Tracción	0.10		
8	Tracción	0.11		
9	Sin Aceite	0.07		
10	Sin Aceite	0.11		
	\bar{R}	0.09		

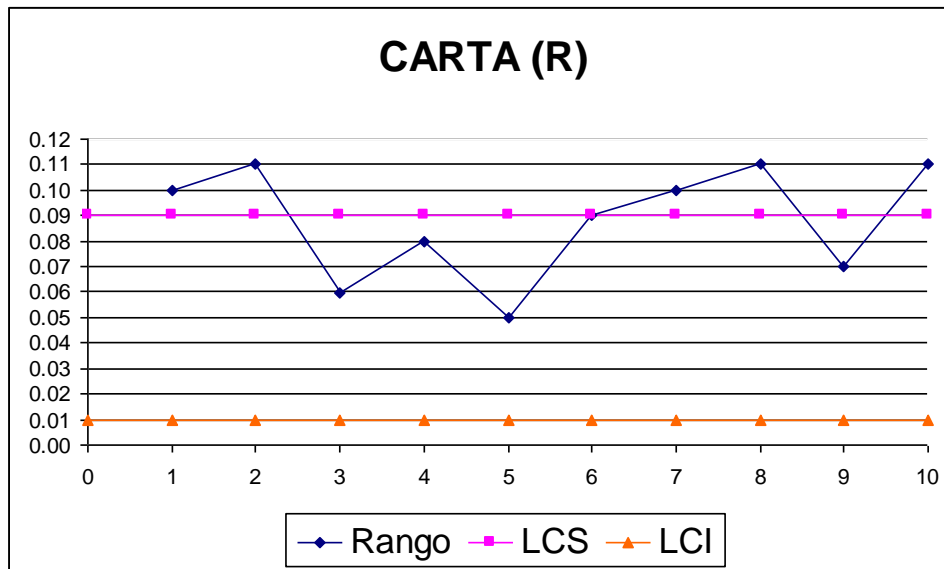


Figura 7.9 Carta de control (R) de df aplicando la EVG.

Análisis de la Carta (R):

Existen puntos mal calculados debido a que el instrumento de medición utilizado no fue el adecuado y por exceso de aluminio.

7.1.2.3 ECUACIÓN NORMALIZADA 2 (EN2):

Los datos de los cilindros con esta característica se aprecian en las tablas 7.21, 7.22, 7.23 y 7.24.

Tabla 7.21 Diámetro de Fondo (df) Utilizando Lubricante

N	d ext	tps	tpi	tp promedio	Diámetro de Fondo
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	16.05	1.59	1.60	1.60	4.86
2	16.03	1.61	1.58	1.60	4.84
3	16.04	1.60	1.60	1.60	4.84
4	16.02	1.59	1.60	1.60	4.83
5	16.06	1.60	1.59	1.60	4.87
6	16.01	1.60	1.59	1.60	4.82
7	16.04	1.58	1.60	1.59	4.86
8	16.02	1.59	1.57	1.58	4.86
9	16.04	1.56	1.59	1.58	4.89
10	16.01	1.59	1.58	1.59	4.84
				\bar{X}	4.85
				R	0.07

N	d ext	tps	tpi	tp promedio	Diámetro de Fondo
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	16.01	1.59	1.60	1.60	4.82
2	16.02	1.60	1.58	1.59	4.84
3	16.04	1.59	1.60	1.60	4.85
4	16.03	1.60	1.58	1.59	4.85
5	16.04	1.59	1.59	1.59	4.86
6	16.04	1.59	1.60	1.60	4.85
7	16.04	1.60	1.59	1.60	4.85
8	16.03	1.60	1.60	1.60	4.83
9	16	1.59	1.58	1.59	4.83
10	16.01	1.60	1.59	1.60	4.82
				\bar{X}	4.84
				R	0.04

Tabla 7.22 Diámetro de Fondo (df) a Compresión

N	d ext	tps	tpi	tp promedio	Diámetro de Fondo
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	16.03	1.59	1.6	1.60	4.84
2	16.06	1.6	1.6	1.60	4.86
3	16	1.6	1.56	1.58	4.84
4	16.04	1.6	1.58	1.59	4.86
5	16.02	1.58	1.6	1.59	4.84
6	16.02	1.58	1.58	1.58	4.86
7	16.01	1.6	1.58	1.59	4.83
8	16.03	1.6	1.59	1.60	4.84

9	16.09	1.59	1.57	1.58	4.93
10	16.06	1.59	1.56	1.58	4.91
				\bar{X}	4.86
				R	0.10

N	d ext	tps	tpi	tp promedio	Diámetro de Fondo
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	16.03	1.6	1.58	1.59	4.85
2	16.03	1.6	1.58	1.59	4.85
3	16	1.58	1.6	1.59	4.82
4	16.04	1.59	1.59	1.59	4.86
5	16.08	1.6	1.58	1.59	4.90
6	16.02	1.6	1.59	1.60	4.83
7	16.01	1.59	1.6	1.60	4.82
8	16	1.6	1.59	1.60	4.81
9	16.02	1.59	1.6	1.60	4.83
10	16.05	1.6	1.6	1.60	4.85
				\bar{X}	4.84
				R	0.08

N	d ext	tps	tpi	tp promedio	Diámetro de Fondo
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	16.02	1.6	1.59	1.60	4.83
2	16.01	1.59	1.57	1.58	4.85
3	16.04	1.58	1.59	1.59	4.87
4	16.05	1.59	1.6	1.60	4.86
5	16.02	1.6	1.6	1.60	4.82
6	16.02	1.59	1.60	1.60	4.83
7	16.01	1.60	1.59	1.60	4.82
8	16	1.59	1.60	1.60	4.81
9	16.02	1.60	1.60	1.60	4.82
10	16.01	1.59	1.58	1.59	4.84
				\bar{X}	4.84
				R	0.06

Tabla 7.23 Diámetro de Fondo (df) a Tracción

N	d ext	tps	tpi	tp promedio	Diámetro de Fondo
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	16.02	1.6	1.58	1.59	4.84
2	16.05	1.59	1.61	1.60	4.85
3	16.02	1.58	1.59	1.59	4.85
4	16.05	1.6	1.59	1.60	4.86
5	16.07	1.6	1.57	1.59	4.90
6	16.02	1.62	1.58	1.60	4.82
7	16.03	1.6	1.59	1.60	4.84
8	16.07	1.59	1.59	1.59	4.89

9	16.04	1.6	1.6	1.60	4.84
10	16.04	1.59	1.58	1.59	4.87
				\bar{X}	4.86
				R	0.06

N	d ext	Tps	tpi	tp promedio	Diámetro de Fondo
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	16.03	1.6	1.59	1.60	4.84
2	16.01	1.59	1.58	1.59	4.84
3	16.05	1.59	1.59	1.59	4.87
4	16.04	1.58	1.57	1.58	4.89
5	16.02	1.6	1.58	1.59	4.84
6	16.02	1.6	1.59	1.60	4.83
7	16.03	1.59	1.6	1.60	4.84
8	16	1.58	1.59	1.59	4.83
9	16.05	1.6	1.59	1.60	4.86
10	16	1.6	1.58	1.59	4.82
				\bar{X}	4.85
				R	0.07

N	d ext	tps	tpi	tp promedio	Diámetro de Fondo
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	16	1.59	1.58	1.59	4.83
2	16.06	1.6	1.59	1.60	4.87
3	16.01	1.6	1.59	1.60	4.82
4	16.01	1.58	1.59	1.59	4.84
5	16.03	1.59	1.58	1.59	4.86
6	16.05	1.58	1.58	1.58	4.89
7	16.04	1.59	1.57	1.58	4.88
8	16.02	1.6	1.6	1.60	4.82
9	16.03	1.6	1.6	1.60	4.83
10	16.07	1.59	1.58	1.59	4.90
				\bar{X}	4.85
				R	0.08

Tabla 7.24 Diámetro de Fondo (df) Sin Lubricante

N	d ext	tps	tpi	tp promedio	Diámetro de Fondo
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	16.04	1.59	1.59	1.59	4.86
2	16.05	1.6	1.6	1.60	4.85
3	16.02	1.6	1.6	1.60	4.82

4	16.04	1.62	1.59	1.61	4.83
5	16.03	1.6	1.59	1.60	4.84
6	16.05	1.6	1.6	1.60	4.85
7	16.04	1.59	1.61	1.60	4.84
8	16.04	1.59	1.59	1.59	4.86
9	16.04	1.6	1.59	1.60	4.85
10	16.02	1.59	1.57	1.58	4.86
				\bar{X}	4.85
				R	0.04

N	d ext	tps	tpi	tp promedio	Diámetro de Fondo
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	16.07	1.59	1.58	1.59	4.90
2	16.05	1.6	1.58	1.59	4.87
3	16.05	1.6	1.6	1.60	4.85
4	16.02	1.6	1.59	1.60	4.83
5	16.04	1.58	1.57	1.58	4.89
6	16.03	1.59	1.59	1.59	4.85
7	16.04	1.59	1.58	1.59	4.87
8	16.05	1.58	1.6	1.59	4.87
9	16.04	1.6	1.6	1.60	4.84
10	16.02	1.6	1.59	1.60	4.83
				\bar{X}	4.86
				R	0.07

7.1.2.4 CARTA DE CONTROL ($\bar{X}-R$)

El resumen de los resultados obtenidos y que serán útiles para desarrollar las cartas de control ($\bar{X}-R$) se observan en las Tablas 7.25 y 7.26 y en las Figuras 7.10 y 7.11, respectivamente.

Tabla 7.25 Características de la carta de control (\bar{X})

N de Sublote	Característica	Promedio de Diámetro de Fondo mm.	LCS	LCI	Especificación
1	Utilizando Aceite	4.85	4.87	4.83	4.8
2	Utilizando Aceite	4.84			

3	Compresión	4.86
4	Compresión	4.84
5	Compresión	4.84
6	Tracción	4.86
7	Tracción	4.85
8	Tracción	4.85
9	Sin Aceite	4.85
10	Sin Aceite	4.86
\bar{X}		4.85

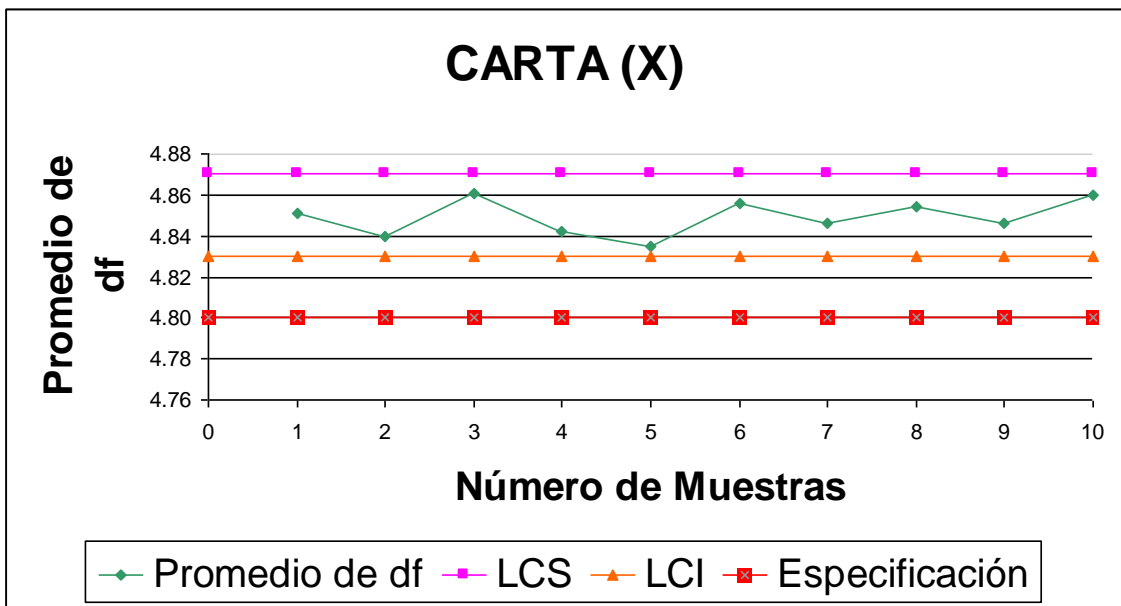


Figura 7.10 Carta de control (\bar{X}) de df aplicando la EN2

Análisis de la Carta de control (\bar{X}):

Se observa que se produce un ciclo recurrente lo cual fue producido por un cambio de operador de la prensa y por el cambio de instrumento de medida.

Tabla 7.26 Características de la carta de control (R)

N de Sublotes	Característica	Promedio de (R) mm.	LCS	LCI
1	Utilizando Aceite	0.07	0.07	0.01
2	Utilizando	0.04		

	Aceite		
3	Compresión	0.10	
4	Compresión	0.08	
5	Compresión	0.06	
6	Tracción	0.06	
7	Tracción	0.07	
8	Tracción	0.08	
9	Sin Aceite	0.04	
10	Sin Aceite	0.07	
	\bar{R}	0.07	

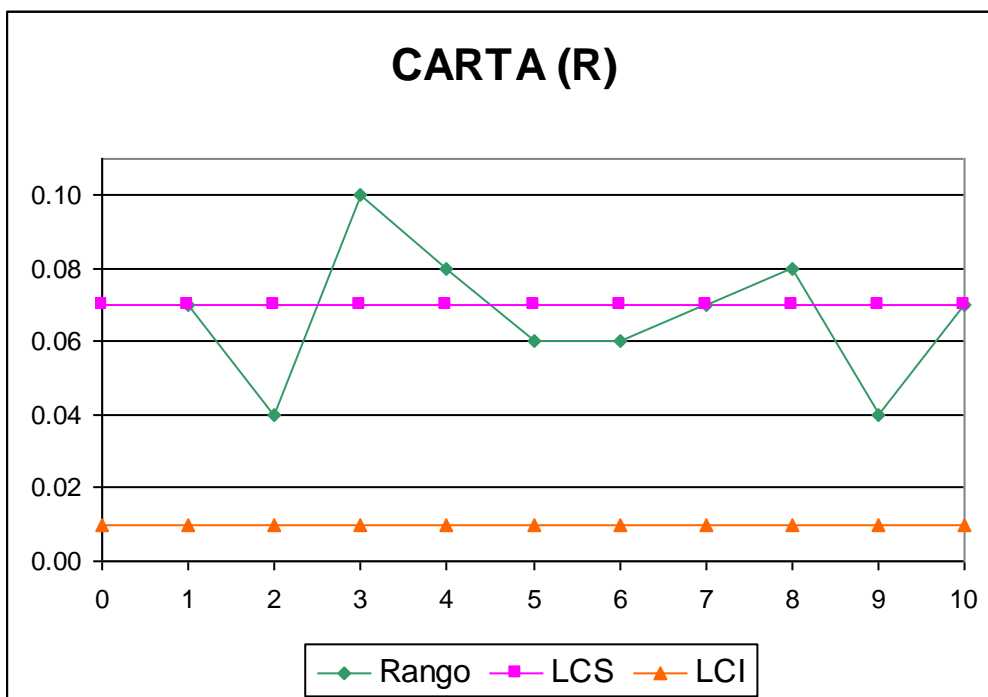


Figura 7.11 Carta de control (R) de df aplicando la EN2

Análisis de la Carta de control (R):

Debido al cambio de operador de la prensa se produjo el exceso de material en los puntos que e encuentran fuera de los límites de control.

7.1.2.5 ERROR PORCENTUAL ENTRE EVG-EN2-ESPECIFICACIÓN

Mediante el cálculo de este error se puede determinar cual de las dos ecuaciones permite obtener una mayor aproximación al diámetro de

fondo real del cilindro. Estos valores se los puede apreciar en la Tabla 7.27 y visualizar en la Figura 7.12

Tabla 7.27 Cálculo de Error %

N de Sublotos	Característica	EVG	EN2	Especificación mm.	Error %	Error %
		CARTA (X)	CARTA (X)		Esp - EVG	Esp - EN2
1	Utilizando Aceite	4.90	4.85	4.8	-2.1	-1.1
2	Utilizando Aceite	4.89	4.84	4.8	-1.8	-0.8
3	Compresión	4.88	4.86	4.8	-1.7	-1.3
4	Compresión	4.90	4.84	4.8	-2.1	-0.9
5	Compresión	4.89	4.84	4.8	-1.9	-0.7
6	Tracción	4.87	4.86	4.8	-1.4	-1.2
7	Tracción	4.87	4.85	4.8	-1.4	-1.0
8	Tracción	4.87	4.85	4.8	-1.4	-1.1
9	Sin Aceite	4.87	4.85	4.8	-1.4	-1.0
10	Sin Aceite	4.85	4.86	4.8	-1.0	-1.3
Promedio					-1.6	-1.0

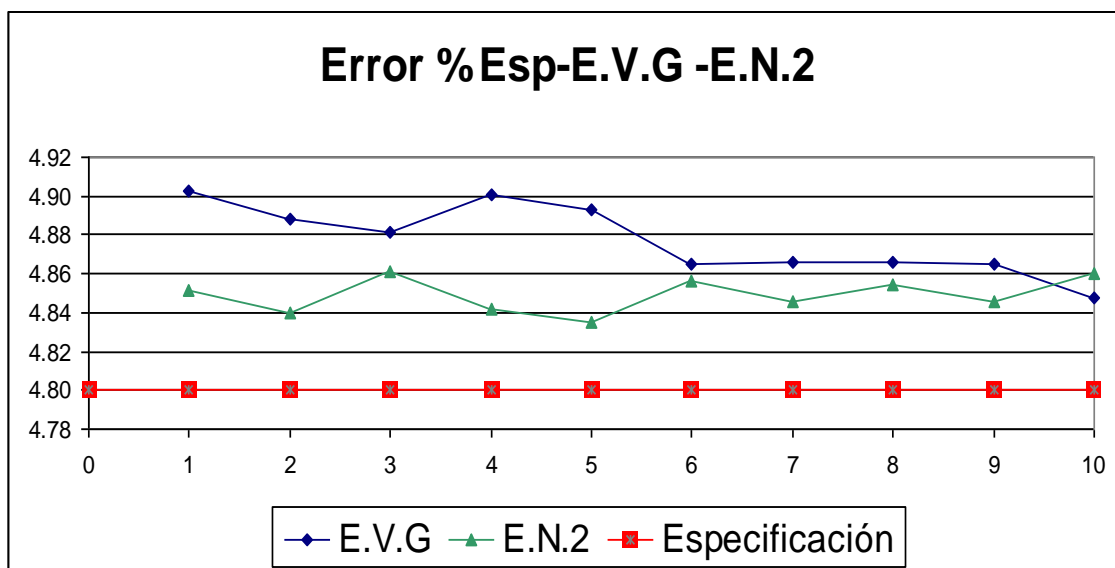


Figura 7.12 Error % entre la EVG -EN2 y la especificación del df.

La EN2 presenta menor % de error en lo que respecta al cálculo de df.

7.1.3 RADIO DE LA FIBRA NEUTRA

Para este análisis se necesita determinar los siguientes parámetros: espesor de la base y r_f = Radio de la Fibra Neutra.

Ejemplo de Cálculo:

r_f

$r_e := 4$

Radio de Embutición calculado mediante la Ecuación (4.3)

$t_b := 1.6 \text{ mm}$

Espesor de la base medido en el Cilindro Embuti

$r_f := r_e + 0.3 \cdot (t_b - 0.25 \cdot t_b)$

Radio de la Fibra Neutra Ecuación (4.5)

$r_f := 4.36 \text{ mm}$

Los valores correspondientes al r_f de los cilindros embutidos se presentan a continuación:

7.1.3.1 ECUACIÓN DE VARIACIÓN GEOMÉTRICA (EVG):

Los datos de los cilindros con esta característica se aprecian en las Tablas 7.28, 7.29, 7.30 y 7.31.

Tabla 7.28 Radio de la Fibra Neutra (r_f) Utilizando Lubricante

	Espesor en la base	r_f
N	mm.	mm.
1	1.60	4.360
2	1.57	4.354
3	1.56	4.351
4	1.60	4.360
5	1.60	4.360
6	1.58	4.354
7	1.58	4.356
8	1.60	4.360
9	1.59	4.358
10	1.60	4.360
	\bar{X}	4.357
	R	0.006

	Espesor en la base	r_f
N	mm.	mm.
1	1.60	4.360
2	1.58	4.356
3	1.58	4.356
4	1.57	4.352
5	1.58	4.356
6	1.57	4.353
7	1.57	4.354
8	1.59	4.358
9	1.58	4.356
10	1.57	4.353
	\bar{X}	4.355
	R	0.008

Tabla 7.29 Radio de la Fibra Neutra (rf) a Compresión

N	Espesor en la base	rf
	mm.	mm.
1	1.60	4.360
2	1.57	4.353
3	1.59	4.357
4	1.60	4.360
5	1.58	4.356
6	1.60	4.360
7	1.60	4.360
8	1.56	4.351
9	1.57	4.353
10	1.60	4.361
	\bar{X}	4.357
	R	0.007

N	Espesor en la base	rf
	mm.	mm.
1	1.58	4.356
2	1.57	4.353
3	1.59	4.357
4	1.57	4.354
5	1.59	4.358
6	1.58	4.356
7	1.59	4.358
8	1.60	4.360
9	1.58	4.356
10	1.59	4.358
	\bar{X}	4.356
	R	0.007

N	Espesor en la base	rf
	mm.	mm.
1	1.57	4.353
2	1.58	4.356
3	1.57	4.353
4	1.58	4.356
5	1.60	4.360
6	1.60	4.360
7	1.59	4.358
8	1.60	4.360
9	1.60	4.360
10	1.60	4.360
	\bar{X}	4.358
	R	0.007

Tabla 7.30 Radio de la Fibra Neutra (rf) a Tracción

N	Espesor en la base	rf
	mm.	mm.
1	1.60	4.361
2	1.59	4.358
3	1.57	4.353
4	1.60	4.360
5	1.57	4.353
6	1.60	4.359
7	1.60	4.360
8	1.60	4.359
9	1.60	4.360
10	1.58	4.356
	\bar{X}	4.358
	R	0.008

N	Espesor en la base	rf
	mm.	mm.
1	1.60	4.360
2	1.59	4.358
3	1.60	4.360
4	1.55	4.350
5	1.58	4.356
6	1.57	4.353
7	1.58	4.356
8	1.58	4.355
9	1.59	4.358
10	1.60	4.360
	\bar{X}	4.356
	R	0.005

N	Espesor en la base	Rf
	mm.	mm.
1	1.60	4.360
2	1.59	4.358
3	1.60	4.360
4	1.58	4.355
5	1.59	4.357
6	1.59	4.358
7	1.58	4.356
8	1.60	4.360
9	1.57	4.353
10	1.58	4.356
	\bar{X}	4.357
	R	0.007

Tabla 7.31 Radio de la Fibra Neutra (rf) Sin Lubricante

N	Espesor en la base	rf
	mm.	mm.
1	1.60	4.360
2	1.58	4.356
3	1.59	4.358
4	1.58	4.356
5	1.57	4.353
6	1.57	4.353
7	1.58	4.355
8	1.57	4.353
9	1.60	4.360
10	1.58	4.355
	\bar{X}	4.356
	R	0.005

N	Espesor en la base	rf
	mm.	mm.
1	1.60	4.360
2	1.60	4.360
3	1.60	4.360
4	1.59	4.358
5	1.58	4.356
6	1.60	4.360
7	1.60	4.360
8	1.59	4.358
9	1.59	4.358
10	1.60	4.360
	\bar{X}	4.359
	R	0.000

7.1.3.2 CARTA DE CONTROL ($\bar{X}-R$)

Para el desarrollo de las cartas de control ($\bar{X}-R$) es necesario elaborar las tablas 7.32 y 7.33 y las Figuras 7.13 y 7.14 las cuales contienen un resumen de los resultados del cálculo del Radio de la Fibra Neutra.

Tabla 7.32 Características de la carta de control (\bar{X})

N de Sublote	Característica	Promedio de rf mm.	LCS	LCI	Especificación
1	Utilizando Aceite	4.357	4.359	4.355	4.36
2	Utilizando Aceite	4.355			
3	Compresión	4.357			
4	Compresión	4.356			
5	Compresión	4.358			
6	Tracción	4.358			
7	Tracción	4.356			
8	Tracción	4.357			
9	Sin Aceite	4.356			
10	Sin Aceite	4.359			
	\bar{X}	4.357			

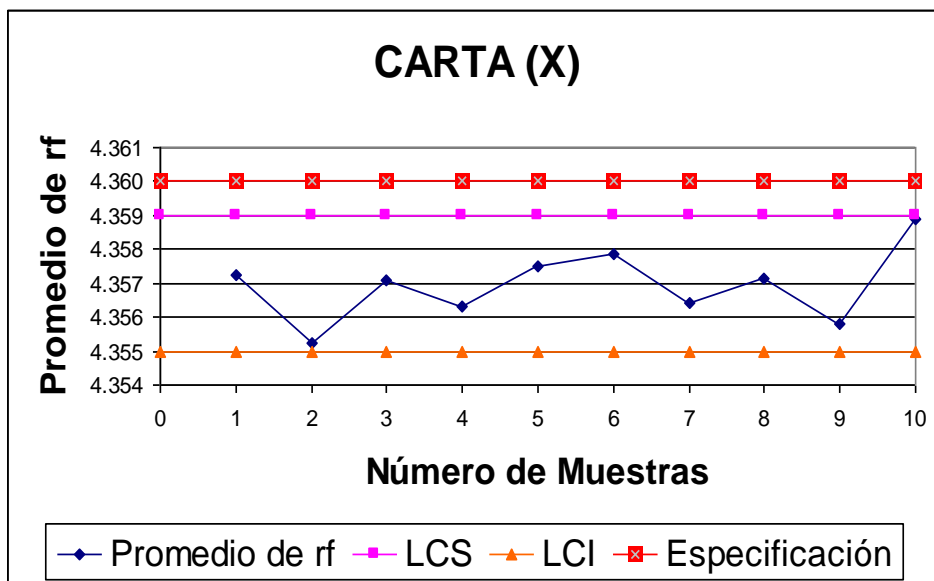


Figura 7.13 Carta de control (\bar{X}) de rf aplicando la EVG

Análisis de la Carta de control (\bar{X}):

El promedio del diámetro de fondo se encuentra dentro de los límites de control calculados, no existe variación en las propiedades mecánicas del material.

Tabla 7.33 Características de la carta de control (R)

N de Sublote	Característica	Promedio de (R) mm.	LCS	LCI
1	Utilizando Aceite	0.006	0.011	0.001
2	Utilizando Aceite	0.008	0.011	0.001
3	Compresión	0.007	0.011	0.001
4	Compresión	0.007	0.011	0.001
5	Compresión	0.007	0.011	0.001
6	Tracción	0.008	0.011	0.001
7	Tracción	0.005	0.011	0.001
8	Tracción	0.007	0.011	0.001
9	Sin Aceite	0.005	0.011	0.001
10	Sin Aceite	0.000	0.011	0.001
\bar{R}		0.006		

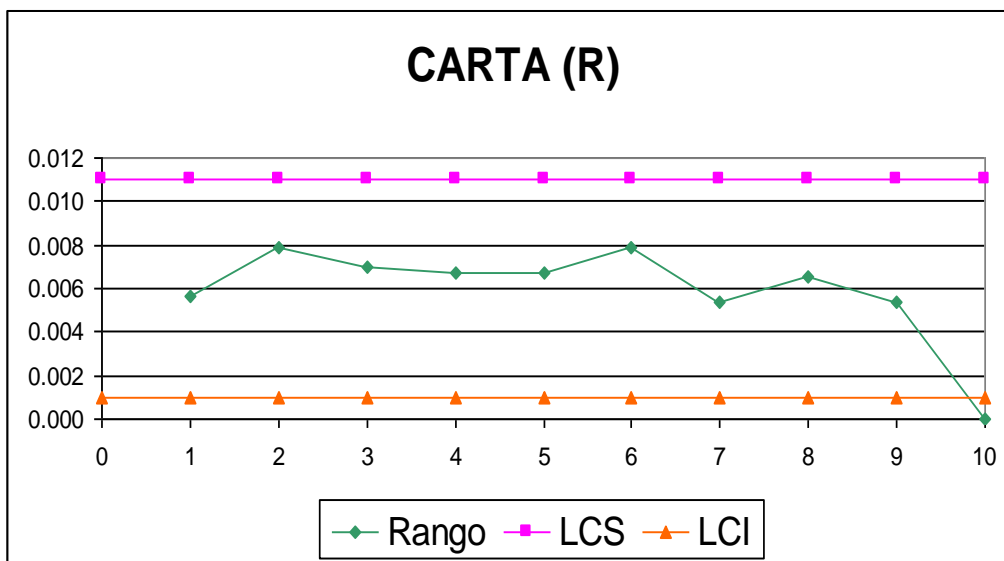


Figura 7.14 Carta de control (R) de rf aplicando la EVG

Análisis Carta de control (R):

Existe un punto mal calculado debido a que el instrumento de medición utilizado no fue el adecuado y por exceso de aluminio.

7.1.3.3 ECUACIÓN NORMALIZADA 2 (EN2):

Los datos de los cilindros con esta característica se aprecian en las tablas 7.34, 7.35, 7.36 y 7.37.

Tabla 7.34 Radio de la Fibra Neutra (rf) Utilizando Lubricante

N	Espesor en la base	rf
	mm.	mm.
1	1.59	4.358
2	1.57	4.353
3	1.60	4.360
4	1.57	4.353
5	1.60	4.360
6	1.58	4.356
7	1.60	4.360
8	1.58	4.355
9	1.60	4.360
10	1.58	4.355
	\bar{X}	4.357
	R	0.007

N	Espesor en la base	rf
	mm.	mm.
1	1.57	4.353
2	1.58	4.356
3	1.60	4.360
4	1.59	4.358
5	1.59	4.358
6	1.59	4.358
7	1.60	4.360
8	1.59	4.358
9	1.57	4.353
10	1.58	4.355
	\bar{X}	4.357
	R	0.007

Tabla 7.35 Radio de la Fibra Neutra (rf) a Compresión

N	Espesor en la base	rf
	mm.	mm.
1	1.59	4.358
2	1.60	4.360
3	1.57	4.353
4	1.60	4.360
5	1.58	4.356
6	1.59	4.357
7	1.59	4.358
8	1.60	4.360
9	1.59	4.357
10	1.60	4.360
	\bar{X}	4.358
	R	0.007

N	Espesor en la base	rf
	mm.	mm.
1	1.58	4.356
2	1.58	4.356
3	1.57	4.354
4	1.60	4.360
5	1.61	4.362
6	1.59	4.358
7	1.58	4.355
8	1.58	4.356
9	1.58	4.356
10	1.60	4.360
	\bar{X}	4.357
	R	0.006

N	Espesor en la base	rf
	mm.	mm.
1	1.59	4.357
2	1.59	4.358
3	1.60	4.360
4	1.60	4.360
5	1.59	4.358
6	1.59	4.358
7	1.60	4.360
8	1.58	4.356
9	1.60	4.360
10	1.59	4.358
	\bar{X}	4.358
	R	0.002

Tabla 7.36 Radio de la Fibra Neutra (rf) a Tracción

N	Espesor en la base	rf
	mm.	mm.
1	1.58	4.356
2	1.60	4.360
3	1.57	4.354
4	1.60	4.360
5	1.61	4.362
6	1.59	4.357
7	1.59	4.357
8	1.61	4.362
9	1.59	4.358
10	1.60	4.360
	\bar{X}	4.359
	R	0.006

N	Espesor en la base	rf
	mm.	mm.
1	1.59	4.358
2	1.57	4.354
3	1.60	4.360
4	1.59	4.358
5	1.58	4.354
6	1.58	4.356
7	1.59	4.358
8	1.58	4.356
9	1.60	4.360
10	1.58	4.355
	\bar{X}	4.357
	R	0.006

N	Espesor en la base	rf
	mm.	mm.
1	1.59	4.358
2	1.61	4.362
3	1.59	4.357
4	1.58	4.356
5	1.60	4.360
6	1.61	4.362
7	1.60	4.360
8	1.59	4.358
9	1.60	4.360
10	1.61	4.362
	\bar{X}	4.359
	R	0.002

Tabla 7.37 Radio de la Fibra Neutra (rf) Sin Lubricante

N	Espesor en la base	rf
	mm.	mm.
1	1.58	4.356
2	1.60	4.360
3	1.60	4.360
4	1.59	4.357
5	1.58	4.354
6	1.60	4.360
7	1.58	4.354
8	1.58	4.356
9	1.59	4.357
10	1.57	4.353
	\bar{X}	4.357
	R	0.006

N	Espesor en la base	rf
	mm.	mm.
1	1.61	4.362
2	1.60	4.359
3	1.60	4.360
4	1.58	4.356
5	1.59	4.358
6	1.58	4.355
7	1.59	4.358
8	1.60	4.360
9	1.59	4.358
10	1.58	4.356
	\bar{X}	4.358
	R	0.003

7.1.3.4 CARTA DE CONTROL ($\bar{X}-R$)

El resumen de los resultados obtenidos y que serán útiles para desarrollar las cartas de control ($\bar{X}-R$) se observan en las Tablas 7.38 y 7.39 y en las Figuras 7.14 y 7.15, respectivamente.

Tabla 7.38 Características de la carta de control (\bar{X})

N de Sublote	Característica	Promedio de rf mm.	LCS	LCI	Especificación
1	Utilizando Aceite	4.357	4.359	4.356	4.36
2	Utilizando Aceite	4.357	4.359	4.356	4.36
3	Compresión	4.358	4.359	4.356	4.36
4	Compresión	4.357	4.359	4.356	4.36
5	Compresión	4.358	4.359	4.356	4.36
6	Tracción	4.359	4.359	4.356	4.36
7	Tracción	4.357	4.359	4.356	4.36
8	Tracción	4.359	4.359	4.356	4.36
9	Sin Aceite	4.357	4.359	4.356	4.36
10	Sin Aceite	4.358	4.359	4.356	4.36
	\bar{X}	4.358			

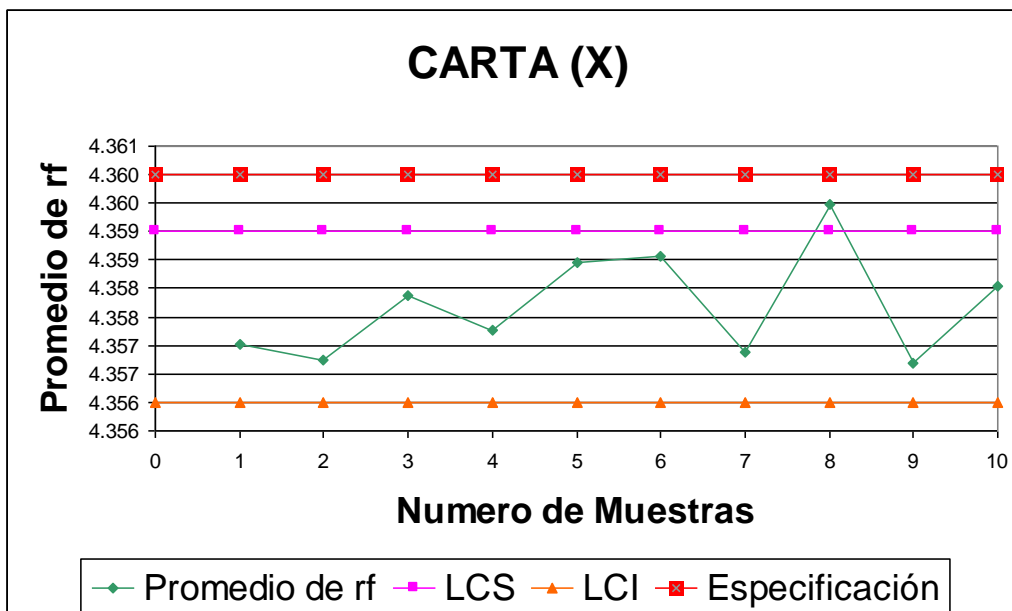


Figura 7.15 Carta de control (\bar{X}) de rf aplicando la EN2

Análisis:

Existe un punto que se encuentra fuera de los límites de control y se produce debido a un exceso de materia prima en el proceso de embutición.

Tabla 7.39 Características de la carta de control (R)

N de Sublote	Característica	Promedio de (R) mm.	LCS	LCI
1	Utilizando Aceite	0.007	0.009	0.001
2	Utilizando Aceite	0.007		
3	Compresión	0.007		
4	Compresión	0.006		
5	Compresión	0.002		
6	Tracción	0.006		
7	Tracción	0.006		
8	Tracción	0.002		
9	Sin Aceite	0.006		
10	Sin Aceite	0.003		
	\bar{R}	0.005		

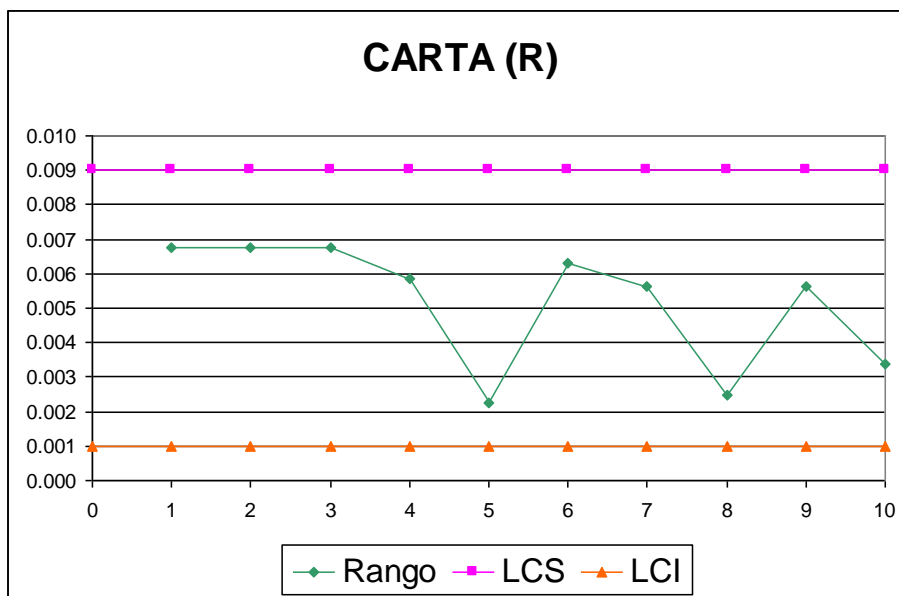


Figura 7.16 Carta de control (R) de rf aplicando la EN2

Análisis de la Carta de control (R):

No existe mayor dispersión de los datos razón por la cual todos los puntos se encuentran dentro de los límites de control.

7.1.3.5 ERROR PORCENTUAL ENTRE EVG-EN2-ESPECIFICACION

El cálculo de este error es necesario para determinar cual de las dos ecuaciones permite obtener una mayor aproximación al valor del radio de la fibra neutra real del cilindro. Estos valores se los puede apreciar en la Tabla 7.40 y visualizar en la Figura 7.16.

Tabla 7.40 Cálculo de Error %

N	Característica	EVG	EN2	Especificación mm.	Error %	
		CARTA (X)	CARTA (X)		Esp - EVG	Esp - EN2
1	Utilizando Aceite	4.357	4.357	4.36	0.06	0.07
2	Utilizando Aceite	4.355	4.357	4.36	0.11	0.07
3	Compresión	4.357	4.358	4.36	0.07	0.05
4	Compresión	4.356	4.357	4.36	0.08	0.06
5	Compresión	4.358	4.358	4.36	0.06	0.04
6	Tracción	4.358	4.359	4.36	0.05	0.03
7	Tracción	4.356	4.357	4.36	0.08	0.07
8	Tracción	4.357	4.359	4.36	0.07	0.01
9	Sin Aceite	4.356	4.357	4.36	0.10	0.08
10	Sin Aceite	4.359	4.358	4.36	0.03	0.04
				Promedio	0.07	0.05

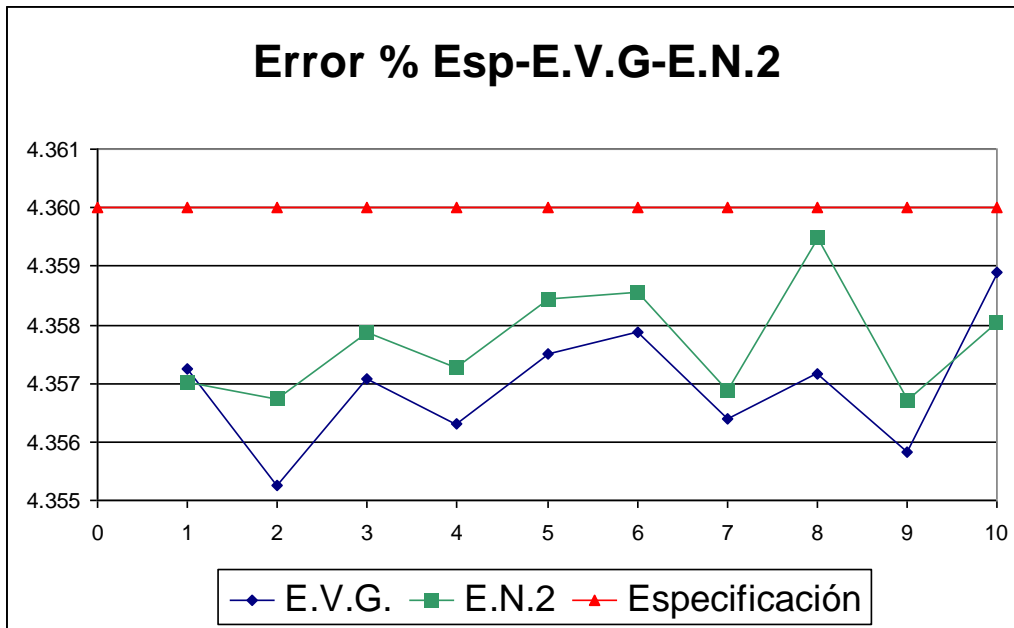


Figura 7.17 Error % entre la EVG- EN2 y la especificación del rf

La EN2 presenta menor % de error en lo que respecta al cálculo de rf.

7.1.4 DIAMETRO DE RECORTE

Para este análisis se necesita determinar los siguientes parámetros: d ext= Diámetro exterior del cilindro Embutido; df= Diámetro de fondo del recipiente; hcm= Altura medida en el cilindro; rf= Radio de la Fibra Neutra y D= Diámetro de recorte.

Ejemplo de Cálculo:

EVG

df := 4.9	mm	Diámetro de Fondo del recipiente
dext := 16.04	mm	Diámetro Exterior del Cilindro Embutido
hcm := 6.93	mm	Altura del Cilindro Medida
rf := 4.36	mm	Radio de la Fibra Neutra
$\alpha := \frac{\pi}{2}$		Ángulo de doblado de la chapa

$$D1 := \sqrt{df^2 + 4 \cdot dext \cdot hcm + 4 \cdot \pi \cdot rf \cdot \left(\frac{df}{2} + \frac{2 \cdot rf \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\alpha} \right)}$$

Ecuación (4.13)

$$D1 := 28.6 \text{ mm}$$

EN2

$$r := 6$$

$$dext := 16.05 \text{ mm}$$

$$hcm := 13.98 \text{ mm}$$

$$D := \sqrt{(dext - 2r)^2 + 4dext \cdot (hcm - r) + 2\pi r(dext - 0.7r)}$$

Ecuación (4.2)

$$D := 31.232 \text{ mm}$$

Los valores correspondientes al D de los cilindros embutidos se presentan a continuación:

7.1.4.1 ECUACIÓN DE VARIACIÓN GEOMÉTRICA (EVG).

Los datos de los cilindros con esta característica se aprecian en las Tablas 7.41, 7.42, 7.43 y 7.44.

Tabla 7.41 Diámetro de Recorte (D) Utilizando Lubricante

	d ext	df	hcm	rf	D
N	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	16.04	4.90	6.93	4.360	28.600
2	16.03	4.99	6.93	4.354	28.640
3	16.03	4.89	7.08	4.351	28.736
4	16.04	4.90	7.13	4.360	28.823
5	16.04	4.89	6.88	4.360	28.531
6	16.03	4.87	6.72	4.354	28.326
7	16.03	4.90	6.89	4.356	28.534
8	16.04	4.91	6.74	4.360	28.387
9	16.04	4.89	6.88	4.358	28.526
10	16.04	4.89	6.88	4.360	28.531
				\bar{X}	28.563
				R	0.349

	d ext	df	hcm	rf	D
N	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	16.04	4.94	6.98	4.360	28.682
2	16.03	4.92	7.14	4.356	28.827
3	16.03	4.88	7.07	4.356	28.723
4	16.03	4.84	7.20	4.352	28.834
5	16.03	4.83	7.20	4.356	28.841
6	16.02	4.84	7.35	4.353	29.003
7	16.02	4.91	7.10	4.354	28.767
8	16.03	4.89	7.16	4.358	28.840
9	16.03	4.93	7.28	4.356	28.995
10	16.02	4.90	7.24	4.353	28.920
				\bar{X}	28.843
				R	0.322

Tabla 7.42 Diámetro de Recorte (D) a Compresión

N	d ext	df	hcm	rf	D
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	16.03	4.93	7.56	4.356	29.302
2	16.02	4.90	7.52	4.353	29.229
3	16.02	4.89	7.16	4.357	28.827
4	16.02	4.89	7.10	4.354	28.754
5	16.03	4.90	7.33	4.358	29.029
6	16.02	4.85	7.62	4.356	29.306
7	16.02	4.93	6.94	4.358	28.610
8	16.04	4.90	7.93	4.360	29.700

9	16.02	4.89	7.67	4.356	29.386
10	16.03	4.93	7.80	4.358	29.568
				\bar{X}	29.171
				R	1.090

N	d ext	df	hcm	rf	D
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	16.03	4.93	7.56	4.356	29.302
2	16.02	4.90	7.52	4.353	29.229
3	16.02	4.89	7.16	4.357	28.827
4	16.02	4.89	7.10	4.354	28.754
5	16.03	4.90	7.33	4.358	29.029
6	16.02	4.85	7.62	4.356	29.306
7	16.02	4.93	6.94	4.358	28.610
8	16.04	4.90	7.93	4.360	29.700
9	16.02	4.89	7.67	4.356	29.386
10	16.03	4.93	7.80	4.358	29.568
				\bar{X}	29.171
				R	1.090

N	d ext	df	hcm	rf	D
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	16.02	4.92	8.06	4.353	29.827
2	16.03	4.90	7.80	4.356	29.539
3	16.03	4.90	7.98	4.353	29.729
4	16.03	4.87	7.78	4.356	29.504
5	16.04	4.92	6.94	4.360	28.624
6	16.04	4.86	7.51	4.360	29.218
7	16.03	4.87	6.95	4.358	28.593
8	16.03	4.91	7.19	4.360	28.891
9	16.04	4.87	6.92	4.360	28.563
10	16.04	4.91	7.82	4.360	29.582
				\bar{X}	29.207
				R	1.264

Tabla 7.43 Diámetro de Recorte (D) a Tracción

N	d ext	df	hcm	rf	D
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	16.04	4.86	7.11	4.361	28.777
2	16.03	4.89	7.22	4.358	28.907
3	16.03	4.90	7.56	4.353	29.272
4	16.04	4.91	7.16	4.360	28.857
5	16.03	4.90	7.22	4.353	28.896
6	16.03	4.84	6.83	4.359	28.436
7	16.04	4.82	6.71	4.360	28.299
8	16.03	4.85	7.00	4.359	28.639

9	16.04	4.86	7.18	4.360	28.853
10	16.03	4.82	7.20	4.356	28.829
				\bar{X}	28.777
				R	0.470

N	d ext	df	hcm	rf	D
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	16.04	4.87	6.88	4.360	28.518
2	16.03	4.93	7.29	4.358	29.010
3	16.04	4.90	6.88	4.360	28.544
4	16.02	4.80	7.41	4.350	29.036
5	16.03	4.87	7.18	4.356	28.844
6	16.02	4.88	7.14	4.353	28.796
7	16.03	4.83	7.24	4.356	28.885
8	16.03	4.88	7.08	4.355	28.732
9	16.03	4.84	7.14	4.358	28.780
10	16.04	4.86	7.03	4.360	28.686
				\bar{X}	28.783
				R	0.518

N	d ext	df	hcm	rf	D
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	16.04	4.91	7.32	4.360	29.034
2	16.03	4.90	7.09	4.358	28.763
3	16.04	4.86	7.34	4.360	29.030
4	16.03	4.86	6.89	4.355	28.508
5	16.03	4.89	7.12	4.357	28.794
6	16	4.83	7.52	4.358	29.178
7	16.03	4.81	6.87	4.356	28.459
8	16.03	4.81	7.21	4.360	28.849
9	16.02	4.92	6.98	4.353	28.644
10	16.03	4.87	7.26	4.356	28.933
				\bar{X}	28.819
				R	0.335

Tabla 7.44 Diámetro de Recorte (D) Sin Lubricante

N	d ext	df	hcm	rf	D
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	16.04	4.87	7.06	4.360	28.720
2	16.02	4.87	7.08	4.356	28.723
3	16.03	4.89	7.28	4.358	28.973
4	16.03	4.88	7.27	4.356	28.945
5	16.02	4.89	7.12	4.353	28.775

6	16.02	4.88	7.17	4.353	28.830
7	16.03	4.84	7.36	4.355	29.017
8	16.02	4.82	7.04	4.353	28.646
9	16.04	4.88	7.07	4.360	28.743
10	16.03	4.83	7.14	4.355	28.773
				\bar{X}	28.815
				R	0.225

N	d ext	df	hcm	rf	D
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	16.04	4.87	6.88	4.360	28.518
2	16.03	4.93	7.29	4.358	29.010
3	16.04	4.90	6.88	4.360	28.544
4	16.02	4.80	7.41	4.350	29.036
5	16.03	4.87	7.18	4.356	28.844
6	16.02	4.88	7.14	4.353	28.796
7	16.03	4.83	7.24	4.356	28.885
8	16.03	4.88	7.08	4.355	28.732
9	16.03	4.84	7.14	4.358	28.780
10	16.04	4.86	7.03	4.360	28.686
				\bar{X}	28.783
				R	0.518

7.1.4.2 CARTA DE CONTROL ($\bar{X}-R$)

Para el desarrollo de las cartas de control ($\bar{X}-R$) es necesario elaborar las Tablas 7.45 y 7.46 y las Figuras 7.17 y 7.18 las cuales contienen un resumen de los resultados del cálculo del Diámetro de Recorte.

Tabla 7.45 Características de la carta de control (\bar{X})

N de Sublote	Característica	Promedio de D mm.	LCS	LCI	Especificación
--------------	----------------	-------------------	-----	-----	----------------

1	Utilizando Aceite	28.563	29.057	28.692	28.4
2	Utilizando Aceite	28.843			
3	Compresión	28.893			
4	Compresión	29.171			
5	Compresión	29.207			
6	Tracción	28.777			
7	Tracción	28.783			
8	Tracción	28.819			
9	Sin Aceite	28.815			
10	Sin Aceite	28.875			
\bar{X}		28.875			

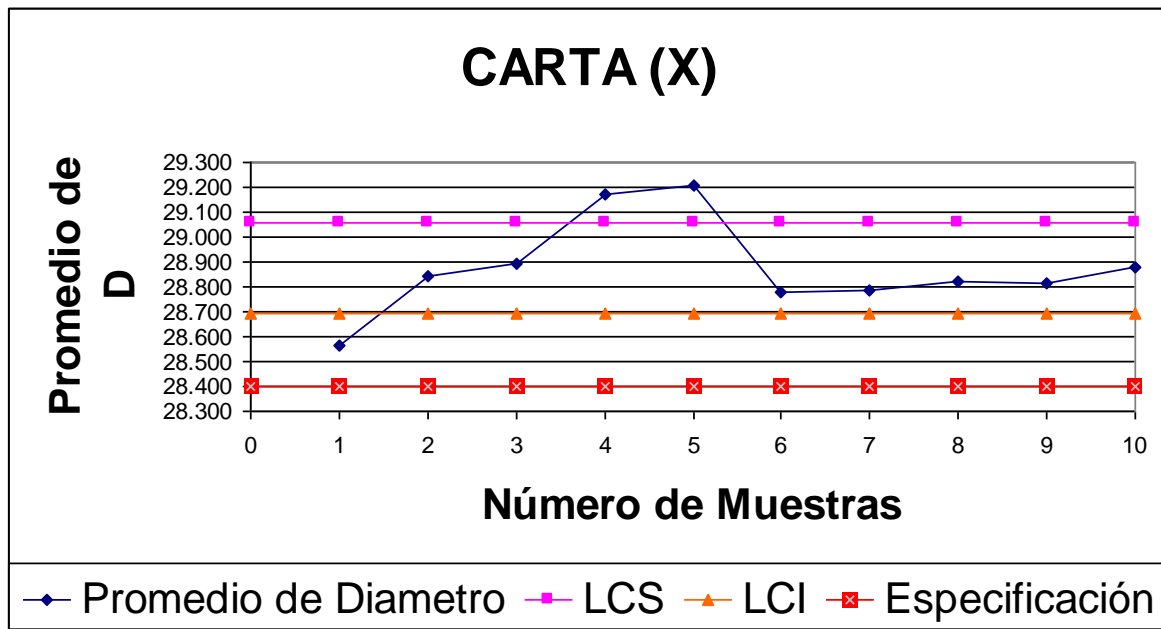


Figura 7.18 Carta de control (\bar{X}) de D aplicando la EVG

Análisis de la Carta de control (\bar{X}): **Existen puntos que están fuera de los límites de control calculados, debido a un exceso de material y a una variación en las propiedades mecánicas del material.**

Tabla 7.46 Características de la carta de control (R)

N de Sublote	Característica	Promedio de (R)	LCS	LCI
1	Utilizando Aceite	0.349	1.053	0.132
2	Utilizando Aceite	0.322	1.053	0.132

3	Compresión	0.570	1.053	0.132
4	Compresión	1.090	1.053	0.132
5	Compresión	1.264	1.053	0.132
6	Tracción	0.470	1.053	0.132
7	Tracción	0.518	1.053	0.132
8	Tracción	0.335	1.053	0.132
9	Sin Aceite	0.225	1.053	0.132
10	Sin Aceite	0.780	1.053	0.132
\bar{R}		0.592		

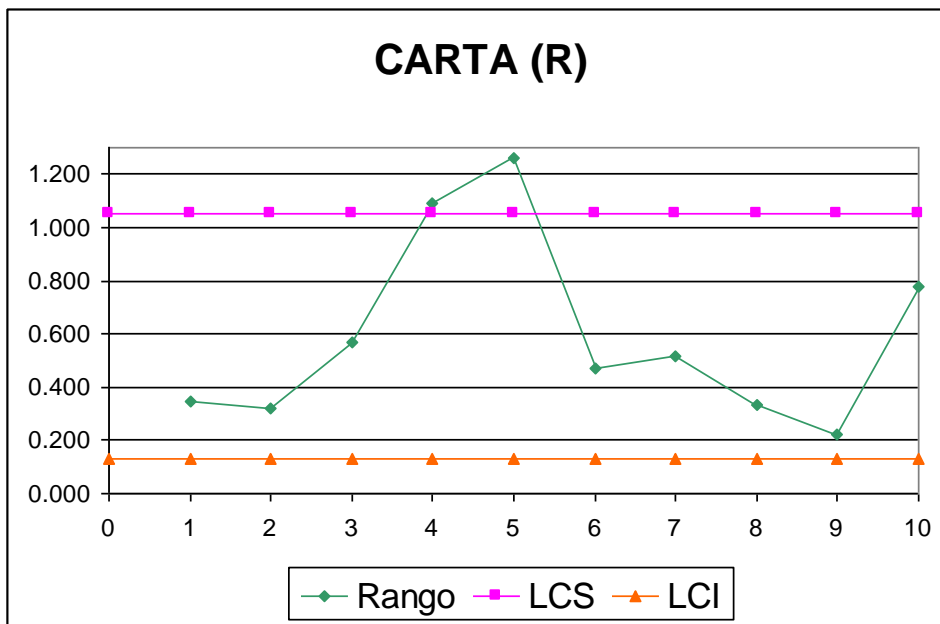


Figura 7.19 Carta de control (R) de D aplicando la EVG

Análisis de la Carta de control (R):

Existen dos puntos mal calculados debido a que el instrumento de medición utilizado no fue el adecuado y por exceso de aluminio.

7.1.4.3 ECUACIÓN NORMALIZADA 2 (EN2):

Los datos de los cilindros con esta característica se aprecian en las tablas 7.47, 7.48, 7.49 y 7.50.

Tabla 7.47 Diámetro de Recorte (D) Utilizando Lubricante

N	d ext	h min	D
	mm.	mm.	mm.
1	16.05	13.98	31.23
2	16.03	13.91	31.14
3	16.04	13.81	31.04
4	16.02	13.95	31.16
5	16.06	14.10	31.37
6	16.01	13.99	31.19
7	16.04	13.89	31.13
8	16.02	14.63	31.86
9	16.04	14.34	31.59
10	16.01	14.1	31.31
		\bar{X}	31.301
		R	0.81

N	d ext	h min	D
	mm.	mm.	mm.
1	16.01	14.13	31.34
2	16.02	14.48	31.70
3	16.04	14.49	31.74
4	16.03	13.78	31.00
5	16.04	13.97	31.21
6	16.04	13.97	31.21
7	16.04	13.96	31.20
8	16.03	13.96	31.19
9	16	14.04	31.23
10	16.01	14.47	31.68
		\bar{X}	31.350
		R	0.74

Tabla 7.48 Diámetro de Recorte (D) a Compresión

N	d ext	h min	D		mm.	mm.	mm.
---	-------	-------	---	--	-----	-----	-----

1	16.03	13.76	30.98
2	16.06	13.68	30.93
3	16	14.57	31.77
4	16.04	13.89	31.13
5	16.02	14.34	31.56
6	16.02	13.81	31.02
7	16.01	14.02	31.22
8	16.03	13.91	31.14
9	16.09	13.76	31.05
10	16.06	13.76	31.02
		\bar{X}	31.183
		R	0.84

N	d ext	h min	D
	mm.	mm.	mm.
1	16.03	14.01	31.24
2	16.03	14.43	31.67
3	16	14.43	31.63
4	16.04	14.26	31.51
5	16.08	13.90	31.19
6	16.02	14.59	31.82
7	16.01	13.82	31.02
8	16	14.03	31.22
9	16.02	13.77	30.98
10	16.05	13.69	30.93
		\bar{X}	31.319
		R	0.88

N	d ext	h min	D
	mm.	mm.	mm.
1	16.02	13.87	31.08
2	16.01	13.93	31.13
3	16.04	13.76	30.99
4	16.05	13.77	31.02
5	16.02	14.42	31.64
6	16.02	14.49	31.71
7	16.01	13.93	31.13
8	16	14.03	31.22
9	16.02	14.47	31.69
10	16.01	14.45	31.66
		\bar{X}	31.329
		R	0.72

Tabla 7.49 Diámetro de Recorte (D) a Tracción

N	d ext	h min	D
	mm.	mm.	mm.
1	16.02	13.72	30.93
2	16.05	14.06	31.31
3	16.02	13.96	31.17
4	16.05	14.23	31.49
5	16.07	13.84	31.11
6	16.02	14.35	31.57
7	16.03	14.13	31.36
8	16.07	14.26	31.54
9	16.04	14.09	31.33
10	16.04	14.09	31.33
		\bar{X}	31.316
		R	0.65

N	d ext	h min	D
	mm.	mm.	mm.
1	16.03	13.82	31.04
2	16.01	14.01	31.21
3	16.05	13.81	31.06
4	16.04	14.39	31.64
5	16.02	14.12	31.34
6	16.02	13.93	31.14
7	16.03	14.22	31.45
8	16	13.94	31.13
9	16.05	13.83	31.08
10	16	14.27	31.47
		\bar{X}	31.256
		R	0.60

N	d ext	h min	D
	mm.	mm.	mm.
1	16	14.00	31.19
2	16.06	13.82	31.08
3	16.01	13.52	30.71
4	16.01	14.11	31.32
5	16.03	14.09	31.32
6	16.05	13.49	30.72
7	16.04	13.65	30.88
8	16.02	13.90	31.11
9	16.03	13.50	30.71
10	16.07	13.70	30.97
		\bar{X}	31.001
		R	0.61

Tabla 7.50 Diámetro de Recorte (D) Sin Lubricante

N	d ext	h min	D
---	-------	-------	---

	mm.	mm.	mm.
1	16.04	13.99	31.23
2	16.05	13.84	31.09
3	16.02	13.87	31.08
4	16.04	13.33	30.54
5	16.03	13.83	31.05
6	16.05	13.90	31.15
7	16.04	13.81	31.04
8	16.04	13.49	30.71
9	16.04	13.77	31.00
10	16.02	13.65	30.85
		\bar{X}	30.976
		R	0.69

N	d ext	h min	D
	mm.	mm.	mm.
1	16.07	13.71	30.98
2	16.05	13.67	30.91
3	16.05	14.18	31.44
4	16.02	13.89	31.10
5	16.04	13.8	31.03
6	16.03	13.58	30.79
7	16.04	13.98	31.22
8	16.05	13.8	31.05
9	16.04	13.81	31.04
10	16.02	14.12	31.34
		\bar{X}	31.091
		R	0.64

7.1.4.4 CARTA DE CONTROL ($\bar{X}-R$)

El resumen de los resultados obtenidos y que serán útiles para desarrollar las cartas de control ($\bar{X}-R$) se observan en las tablas 7.51 y 7.52 y en las figuras 7.19 y 7.20, respectivamente.

Tabla 7.51 Características de la carta de control (\bar{X})

N de Sublote	Característica	Promedio de D mm.	LCS	LCI	Especificación
1	Utilizando Aceite	31.301	31.433	30.991	29.5
2	Utilizando Aceite	31.350			
3	Compresión	31.183			
4	Compresión	31.319			
5	Compresión	31.329			
6	Tracción	31.316			
7	Tracción	31.256			
8	Tracción	31.001			
9	Sin Aceite	30.976			
10	Sin Aceite	31.091			
	\bar{X}	31.212			

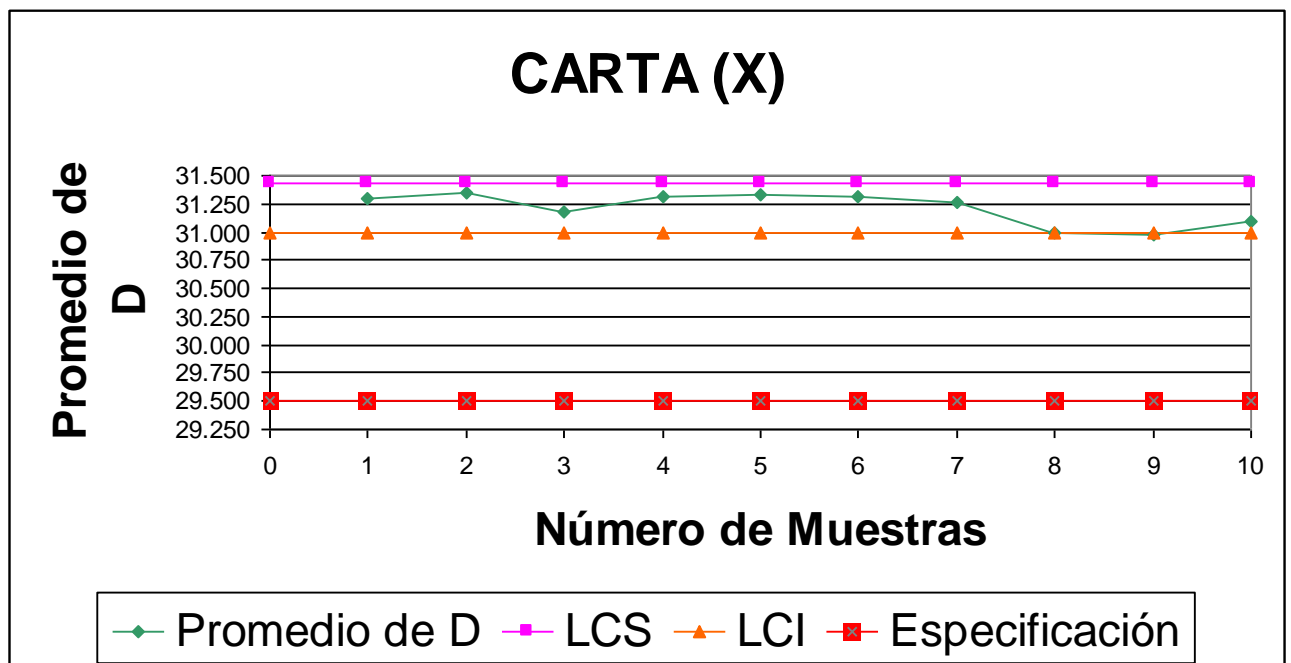


Figura 7.20 Carta de control (\bar{X}) de D aplicando la EN2

Análisis de la Carta de control (\bar{X}):

Todos los puntos se encuentran dentro de los límites de control no existe exceso de materia prima en el proceso de embutición.

Tabla 7.52 Características de la carta de control (R)

N de Sublote	Característica	Promedio de (R) mm.	LCS	LCI
1	Utilizando Aceite	0.811	1.275	0.16
2	Utilizando Aceite	0.738		
3	Compresión	0.835		
4	Compresión	0.883		
5	Compresión	0.721		
6	Tracción	0.646		
7	Tracción	0.596		
8	Tracción	0.614		
9	Sin Aceite	0.685		
10	Sin Aceite	0.643		
	\bar{R}	0.717		

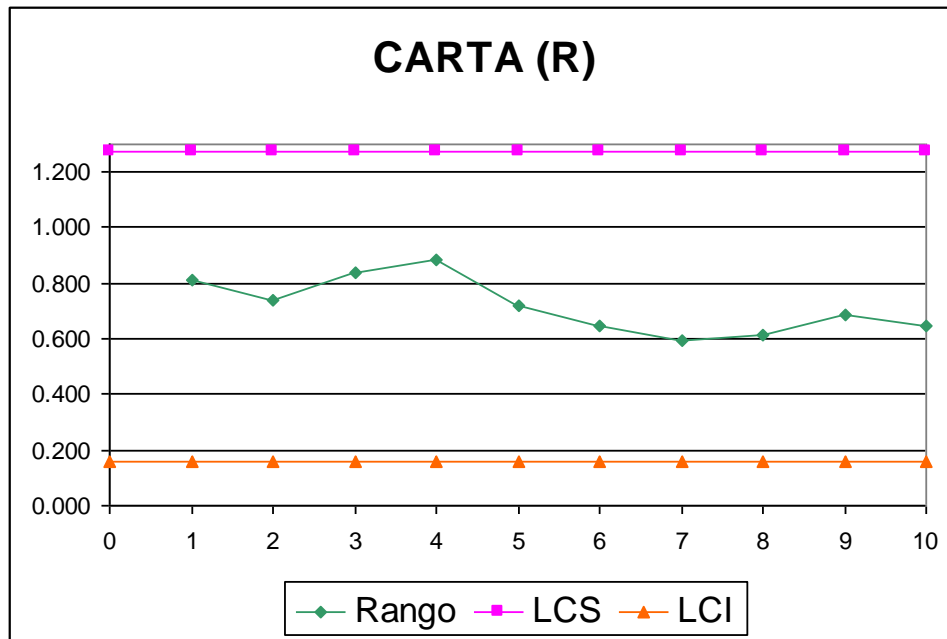


Figura 7.21 Carta de control (R) de D aplicando la EN2

Análisis de la Carta de control (R):

No existe mayor dispersión de los datos razón por la cual todos los puntos se encuentran dentro de los límites de control.

7.1.4.5 ERROR PORCENTUAL ENTRE EVG-ESP1 Y EN2-ESP2

El cálculo de este error es necesario para determinar cual de las dos ecuaciones permite obtener una mayor aproximación al valor real del diámetro de recorte. Estos valores se los puede apreciar en la Tabla 7.53 y visualizar en la Figura 7.21 y 7.22.

Tabla 7.53 Cálculo de Error %

N de Sublote	Característica	E.V.G.	Esp1	Error %	E.N.2	Esp2	Error %
		CARTA (X)		Esp1-EVG	CARTA (X)		Esp2-EN2
1	Utilizando Aceite	28.563	28.4	-0.58	31.301	29.5	-6.11
2	Utilizando Aceite	28.843	28.4	-1.56	31.350	29.5	-6.27
3	Compresión	28.893	28.4	-1.74	31.183	29.5	-5.70
4	Compresión	29.171	28.4	-2.71	31.319	29.5	-6.17
5	Compresión	29.207	28.4	-2.84	31.329	29.5	-6.20
6	Tracción	28.777	28.4	-1.33	31.316	29.5	-6.16

7	Tracción	28.783	28.4	-1.35	31.256	29.5	-5.95
8	Tracción	28.819	28.4	-1.48	31.001	29.5	-5.09
9	Sin Aceite	28.815	28.4	-1.46	30.976	29.5	-5.00
10	Sin Aceite	28.875	28.4	-1.67	31.091	29.5	-5.39
Promedio				-1.67			-5.80

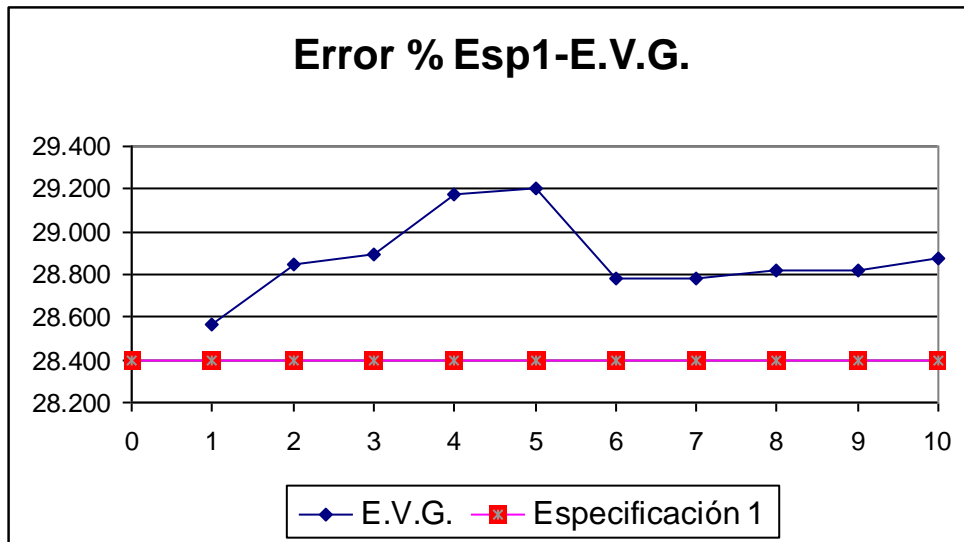


Figura 7.22 Error % entre la EVG, y la especificación del Diámetro de Recorte

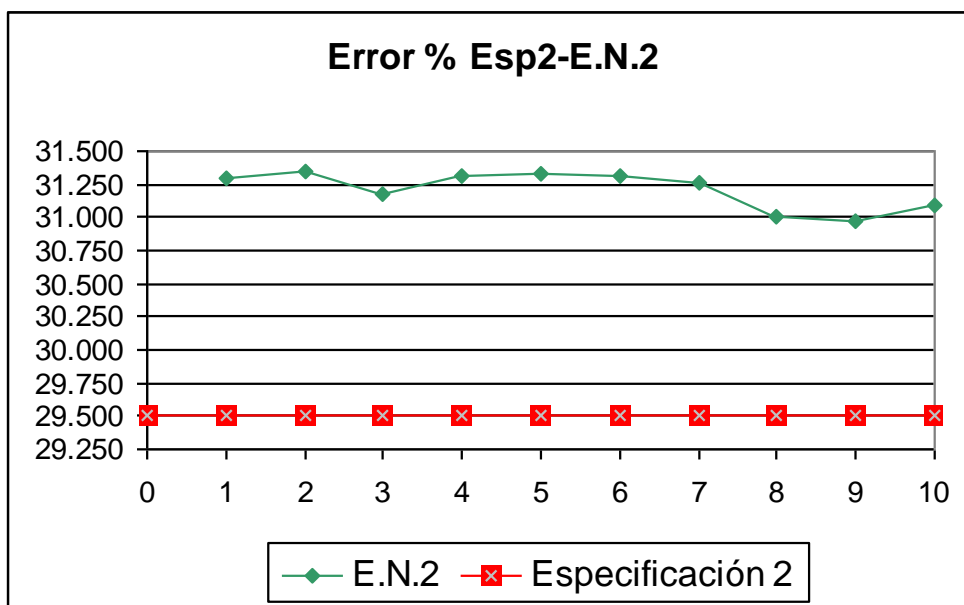


Figura 7.23 Error % entre la EN2 y la especificación del Diámetro de Recorte

La EVG presenta menor % de error en lo que respecta al cálculo del Diámetro de Recorte.

7.2 DEFECTOS INHERENTES AL PROCESO

Los defectos que se apreciaron durante las pruebas realizadas son los siguientes:

- **Líneas de Fluencia sin mayor profundización de rotura debido a la relación de estirado que es demasiado grande.**
- Formación de sinuosidades en el borde. Se observo sinuosidades formadas a 90° , esta aparición es inevitable en chapas anisótropas y se debe a la estructura de los rodillos de laminación y a la orientación de los cristales y a espesores desiguales de chapa.

2.

3. capitulo 8

3.1.

3.2. 8. Analisis económico- financiero

A continuación se presentan los rubros que formaron parte de la implementación del presente proyecto que se caracteriza por ser un estudio de investigación motivo por el cual se desarrolla una comparación entre opciones para poder establecer cual de las alternativas que se presentan es la mas óptima y a la vez poder determinar los costos y factores económicos que intervienen en este estudio.

3.2.1. 8.1 DETERMINACION DE COSTOS

Los diferentes costos que intervienen en la fabricación de la matriz de corte y embutición, así como el costo que se evalúa es el necesario para ejecutar las pruebas de corte y embutición que encaminan a determinar una simulación objetiva y cuantificar cual puede ser el aproximado si el proceso de elaboración de los casquillos se efectúa como si se tratase de una producción en gran escala, estos se encuentran subdivididos en costos de fabricación (materiales para fabricar la matriz), mano de obra directa y otros costos como se detalla en este capítulo.

3.2.1.1. 8.1.1 Costos de fabricación

En las siguientes tablas se presentan los costos de los materiales necesarios para la fabricación del troquel de corte y embutición.

Tabla 8.1 Costos de Fabricación (Materiales para Construcción de la Matriz de Corte y Embutición)

Items	Detalle	Unid. de Medida	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Placa de Acero A-588	Kg.	70	1.50	105.00

	Medida= 31.5mm, 600x 900 mm.					
2	Placa de Acero A-588 Medida= 25.4mm, 350x 300 mm.	Kg.	50	1.50	75.00	
3	Tocho de Acero DF2 Ø= 50.8 mm.	Kg.	1.90	6.07	11.53	
4	Tocho de Acero DF2 Ø= 25.4 mm.	Kg.	1.50	6.07	9.11	
5	Tocho de Acero AISI 4340 Ø= 70 mm.	Kg.	1.80	3.97	7.15	
6	Tocho de Acero AISI 4140 Ø= 45 mm.	Kg.	1.40	3.02	4.23	
7	Perno Métrico M8		12	0.18	2.16	
8	Perno Métrico M 10		1	0.16	0.16	
9	Prisioneros M6		2	0.07	0.14	
					Subtotal	214.47
					12% Iva.	25.74
					Total	240.21

3.2.1.2. Mano de obra directa

Se detalla el valor que establece el operario por la realización de las diferentes fases de maquinado del que es susceptible el material utilizado en la preparación, construcción, acabados y demás procedimientos para la obtención del troquel.

Tabla 8.2 Costos de mano de obra directa

Items	Detalle	Unid. de Medida	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total	
1	Placas	horas	50	2.73	136.50	
2	Cilindrado Bujes	horas	5	2.73	13.65	
3	Cilindrado Columnas	horas	5	2.73	13.65	
4	Acabados de Bujes	horas	10	2.73	27.30	
5	Acabados de Columnas	horas	9	2.73	24.57	
6	Construcción Punzón De Embutición	horas	20	2.73	54.60	
7	Construcción Casquillo de Embutición	horas	25	2.73	68.25	
8	Construcción Punzón de Corte	horas	29	2.73	79.17	
9	Construcción Casquillo de Corte	horas	22	2.73	60.06	
10	Cuadrage y Centrado de Matriz	horas	8	2.73	21.84	
					Subtotal	499.59
					12% Iva.	0,00
					Total	499.59

8.1.2 COSTOS DE PRODUCCION

Este costo incluye el valor de la materia prima e insumos y además el valor del costo de utilización de maquinaria (prensa manual), que se necesitan para realizar las operaciones de corte y embutido mediante la realización de 200 discos o muestras de prueba para obtener el cilindro de pared delgada o producto final.

Tabla 8.3 Costos de Producción

Items	Detalle	Unid. de Medida	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Lámina de Aluminio AA 1100, 2 x 1,18 m. **	Plancha	1	47.00	47.00
2	Lubricante: Aceite SAE 10W30	galón	1	13.40	13.40
3	Prensa para Corte (80 min./100 discos D=28.4mm)	Minutos	80	0.07	5.60
4	Prensa para Corte (90 min./100 discos D=29.5mm)	Minutos	90	0.07	6.30
5	Prensa para Embutición (120min./100 discos)	Minutos	240	0.07	16.80
				Subtotal	89.10
				12% Iva.	10.69
				Total	99.79

** Las láminas que serán utilizadas en la ejecución del estudio se encuentran en el mercado nacional.

GASTOS DE FABRICACION

Los costos planteados en la siguiente tabla, son asumidos íntegramente por los ejecutores del proyecto, razón por la cual serán tomados en cuenta para el análisis global financiero.

Tabla 8.4 Gastos de Fabricación

Items	Detalle	Unid. de Medida	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Transporte de Material		4	6.00	24.00
2	Investigación (Internet)	horas	180	0.90	162.00
				Subtotal	186.00
				12% Iva.	0.00

Total	186.00
-------	--------

GASTOS DE ADMINISTRACION

Estos gastos son considerados por servir a los ejecutores del proyecto como valores que son invertidos en movilización, alimentación, suministros de oficina, entre otros, los mismos que son no reembolsables.

Tabla 8.5 Gastos de Administración

Items	Detalle	Unid. de Medida	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Transporte personal (120 días)	pasaje	480	0.30	144.00
2	Alimentación		120	1.50	180.00
3	Suministros de Oficina				238.00
				Subtotal	562.00
				12% Iva.	0.00
				Total	562.00

3.2.2. 8.2 DEterminacion de PARaMETROS economico FINANCIEROS

El análisis económico-financiero que se realiza en el presente proyecto tiene la particularidad de que no genera ingresos económicos debido a que es un proyecto de investigación. La viabilidad de éste, está dada por la disminución del consumo de material (Aluminio AA 1100), el mismo que al ser sometido al proceso de corte previo al cálculo del diámetro de disco mediante la aplicación de la ecuación de variación geométrica (E.V.G.) que determina el valor recomendable de diámetro de disco que es el más apropiado para el posterior proceso de embutición, obteniendo los requerimientos de altura y diámetro de embutido, además de un ahorro considerable de material, desechando así los cálculos de diámetro de disco con ecuaciones tradicionales, lo que trae como consecuencia la valides del proyecto y la posible aplicabilidad de este método en procesos de embutición semejantes al que se desarrollo en este.

De esta manera se llega a determinar el costo total del proyecto únicamente tomando en cuenta los valores que se invirtieron y se resume a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 8.6 Costo Total del Proyecto

Items	Detalle	Valor
1	Costo de Materiales	240.21
2	Costo de Mano de Obra	499.59
3	Costos de Producción	99.79
4	Gastos de Fabricación	186.00
5	Gastos de Administración	562.00
	Valor Total	1587.59

El valor total que se presenta en la tabla 8.6 es el monto invertido en el estudio del proyecto de tesis, cantidad que se encuentra dentro del valor presupuestado necesario para la ejecución del mismo.

8.3 TECNICAS DE ANALISIS COSTO-EFECTIVIDAD DEL PROCESO PRODUCTIVO

Cuando no es posible expresar los beneficios de un proyecto en términos monetarios, o bien el esfuerzo de hacerlo es demasiado grande, o los resultados de cualquier esfuerzo son excesivamente controversiales, se aplican los procedimientos del método costo-efectividad. El objetivo de esto es determinar que alternativa de proyecto logra los objetivos deseados al mínimo costo (es decir más eficientemente). En general, existen varias formas de efectuar un análisis costo-efectividad, pero en nuestro caso el método de costo mínimo es el más indicado y en el cual basamos nuestro estudio.

8.3.1 METODO DE COSTO MINIMO

El método de costo mínimo se aplica para comparar proyectos que generan idénticos beneficios. Así, si los beneficios son iguales, las alternativas se diferenciarán solo en sus costos, por lo que podemos

elegir la que nos permita alcanzar el objetivo deseado con el menor gasto de recursos. Sin embargo, dado que los costos de las distintas alternativas pueden ocurrir en distintos momentos del tiempo, la comparación debe realizarse en valor actual, mediante la fórmula siguiente:

$$VAC = \sum \frac{C_i}{(1-r)^i}$$

(8.1)

Donde: V.A.C.²⁴ = Valor Actual de Costos; Ci = Costos del proyecto en el lapso de tiempo requerido i=1; r = Tasa de descuento.

El V.A.C., pretende determinar en cuanto se mejorará un proyecto, medido en términos de economías actuales, involucrando únicamente los costos o valores que intervienen directamente en la ejecución del proyecto de investigación; también es uno de los indicadores más útiles para conocer la bondad del mismo.

Este indicador es de uso bastante generalizado, debido a que es muy útil para comparar alternativas de proyecto que generan idénticos beneficios, etc.

Hay que señalar que existen varios índices financieros que son necesarios utilizarlos para cuantificar los valores simulados en cada alternativa y llegar a determinar un muestrario que permitirá comparar la alternativa más viable.

Los índices que facilitan el cálculo del V.A.C. se presentan en la Tabla 8.7 son medidores financieros que relacionan la posibilidad que tiene el proyecto de ser o no ejecutable definiéndolo en cada alternativa:

Tabla 8.7 Índices Aplicables en el Proyecto²⁵

²⁴ Fundamentos de Análisis Costo Beneficio- Centro de Medición de Productividad

Indices	Valor
Valor Actual de Costos (V.A.C.)	Variable
Tasa Activa (T.A.)	8.60
Tasa Pasiva (T.P.)	4.72
Riesgo País (R.P.)	4.94
Inflación (I.)	3.72
Tasa de Descuento (r.)	variable

3.2.2.1. 8.4 Comparación de las alternativas DE SIMULACION PARA PRODUCCION EN SERIE

En el análisis económico del proyecto se toma como opciones dos alternativas que incluyen los mismos costos de materiales, mano de obra directa, costos de producción, gastos de fabricación y gastos de administración, con la particularidad de que el costo de producción que vienen a ser los valores de insumos como laminas de aluminio, lubricante y uso de maquinaria (Prensa hidráulica) indispensables para realizar el proyecto, estos valores variara en base al diámetro que vamos a comparar para ver cual es factible y susceptible a producir un ahorro en materia prima en la elaboración del producto final (cilindro de pared delgada); indicando de esta forma que el número de discos a utilizar, determinan la cantidad de planchas de aluminio que van a utilizarse, esto se obtiene mediante la disposición que el disco a cortar presenta en la lámina de aluminio.

El proceso de producción requiere de una comparación mediante una simulación que se puede ejecutar al realizar pruebas con una cierta cantidad de planchas de aluminio y los diferentes diámetros de disco que son causales de este estudio, llegando a establecer una producción en serie de aproximadamente 10.250 discos en cada caso.

Se procede a realizar el trazado del disco de diámetro 28.4 mm. en la lámina de aluminio, con sus debidas separaciones, logrando en el trazado

²⁵ Fuente: Banco Central del Ecuador- Índices Económicos

que sean susceptibles de cortar 2584 discos, precisando de esta forma que serán necesarias 3.96 láminas que equivalen a 4 planchas de aluminio de 2 x 1.18 m., cantidad que permite obtener 10336 discos de este diámetro.

Para comprobar que el ahorro es representativo procedemos a realizar un cálculo comparativo similar al anterior utilizando el diámetro de 29.5 mm., obteniendo una cantidad de 2286 discos, determinándose de esta forma el uso de 4.5 láminas, esto permite obtener la cantidad de 10287 discos con el actual diámetro, siendo menester el uso de 5 láminas, para obtener la producción requerida para este efecto.

Cada alternativa utiliza el mismo material y el similar procedimiento tanto en la operación de corte como en la de embutido.

8.4.1 ALTERNATIVA 1 EVG

Esta alternativa 1 se refiere a la utilización del disco de diámetro de 28.4 mm. , y como objetivo lograr una producción de 10.250 discos embutidos, utilizando para este fin 4 láminas de aluminio, las mismas que serán consideradas dentro del cálculo de Costos de Producción observados en la Tabla 8.8 y en la Tabla 8.9 se aprecian los costos de la alternativa 1.

Tabla 8.8 Costos de Producción - Alternativa 1

Items	Detalle	Unid. de Medida	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Lámina de Aluminio AA 1100, 2 x 1,18 m.	Plancha	4	47.00	188.00
2	Lubricante: Aceite SAE 10W30	galón	10	13.40	134.00
3	Prensa para Corte (60 min./125 discos)	Minutos	4920	0.07	344.40
4	Prensa para Embutición (90 min./125 discos)	Minutos	7380	0.07	516.60
				Subtotal	1183.00
				12% Iva.	141.96
				Total	1324.96

GASTOS DE ADMINISTRACION ALTERNATIVA 1 EVG

Items	Detalle	Unid. de Medida	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Transporte personal (27 días)	pasaje	54	0.30	16.20
2	Alimentación		54	1.50	81.00
				Subtotal	97.20
				12% Iva.	0.00
				Total	97.20

Tabla 8.9 Costos de Alternativa 1

Items	Detalle	Valor
1	Costo de Materiales	240.21
2	Costo de Mano de Obra	499.59
3	Costos de Producción Alternativa 1	1324.96
4	Gastos de Fabricación (Transporte)	24.00
5	Gastos de Administración	97.20
Valor Total		2185.96

Tabla 8.10 Cálculo del V.A.C. - Alternativa 1

Indices	Valores %
Tasa Activa (T.A.)	8.60
Tasa Pasiva (T.P.)	4.72
Riesgo País (R.P.)	4.94
Inflación (I.)	3.72
$(T.A. - T.P.) / 2$	1.94
Tasa de Descuento (r)	10.60
Valor Actual de Costos 1 (V.A.C.)	\$ 188.44

8.4.2 ALTERNATIVA 2 EN2

La alternativa 2 basa el uso del disco de diámetro de 29.5 mm. , y se demanda producir 10.250 discos embutidos, para esto se requiere utilizar 5 láminas de aluminio.

Tabla 8.11 Costos de Producción - Alternativa 2

Items	Detalle	Unid. de Medida	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Lámina de Aluminio AA 1100, 2 x 1,18 m.	Plancha	5	47.00	235.00
2	Lubricante: Aceite SAE 10W30	galón	10	13.40	134.00

3	Prensa para Corte (70 min./125 discos)	Minutos	5740	0.07	401.80
4	Prensa para Embutición (90 min./125 discos)	Minutos	7380	0.07	516.60
				Subtotal	1287.40
				12% Iva.	154.49
				Total	1441.89

GASTOS DE ADMINISTRACION ALTERNATIVA 2 EN2

Items	Detalle	Unid. de Medida	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Transporte personal (29 días)	pasaje	58	0.30	17.40
2	Alimentación		58	1.50	87.00
				Subtotal	104.40
				12% Iva.	0.00
				Total	104.40

Tabla 8.12 Costos de Alternativa 2

Ítems	Detalle	Valor
1	Costo de Materiales	240.21
2	Costo de Mano de Obra	499.59
3	Costos de Producción Alternativa 2	1441.89
4	Gastos de Fabricación	24.00
5	Gastos de Administración	104.40
Valor Total		2310.09

Tabla 8.13 Cálculo del V.A.C. - Alternativa 2

Indices	Valores %
Tasa Activa (T.A.)	8.60
Tasa Pasiva (T.P.)	4.72
Riesgo País (R.P.)	4.94
Inflación (I.)	3.72
(T.A. -T.P.)/2	1.94
Tasa de Descuento (r)	10.60
Valor Actual de Costos 2 (V.A.C.)	\$ 199.15

Luego del análisis se puede aseverar que la alternativa 1 es la más óptima y la que mejores resultados presta, en relación al objeto del estudio, que en su prioridad determina el ahorro relacionado con el gasto de recursos.

Se determina así que hay una prudencia reflejada en la utilización del disco de diámetro 28.4 mm., permitiendo esta alternativa disminuir el costo de producción por la utilización de menos cantidad de laminas de aluminio y asimismo un disminución en el tiempo de utilización de la prensa hidráulica para la ejecución del corte de discos reflejado en el precio de utilización de maquinaria.

La comparación que permite verificar que el proyecto desarrollado es factible de ejecutarlo nos desprende las siguientes diferencias en relación a los valores de costos y calculo del V.A.C. en cada alternativa:

Tabla 8.14 Diferencias entre Alternativas

Diferencia	Valor
Costos de Alternativas	\$ 124.13
V.A.C. de Alternativas	\$ 10.70

El costo entre alternativas da una diferencia de USD. 124.13 dólares, con lo que se produce un ahorro dado básicamente por el valor de la lámina extra que requiere para obtener el número de discos de corte necesarios , además del valor que se estima en la utilización de la prensa hidráulica que esta en función del tiempo de uso de esta máquina.

En cambio la cantidad que desprende el análisis del V.A.C. en las alternativas tiene una divergencia de USD. 10.71 dólares, inducido por la diferencia entre el costo de la alternativa 1 que será de USD. 188.44 dólares y la alternativa 2 de USD. 199.15 dólares, indicativo que focaliza el costo global de un proceso de tal magnitud con un valor que refleja el ahorro de recursos y la mejora del proyecto, siendo la alternativa 1 la que garantiza el perfeccionamiento de la simulación del proyecto.

4.

5. capítulo 9

5.1. 9. conclusiones y recomendaciones

9.1 CONCLUSIONES

Una de las propiedades mecánicas más importantes se refiere a la ductilidad, la misma que se presenta en algunos metales y aleaciones, que al encontrarse bajo la acción de una fuerza, presentan una fase de fluencia caracterizada por una gran deformación tendiendo a estirarse sin romperse.

El proceso de corte de un material se realiza mediante la aplicación directa de una fuerza que se transmite a través de una cuchilla o punzón de corte, ejerciendo una presión sobre el material y provocando una deformación, indentación y fractura del material, como resultado de este proceso se obtiene el elemento deseado.

Un factor a considerar en el procedimiento de corte es el huelgo entre punzón y dado, ya que un valor en exceso o defecto produce una pieza con falla debida a que las fibras del material no se encuentran en un mismo punto de fractura, por esta razón se debe adicionar el valor del huelgo al diseño del dado y no al punzón, y este valor calculado será tomado como huelgo de corte total.

La fuerza de corte es directamente proporcional a la variación de la resistencia al cizallamiento que posee el material, el espesor del mismo y a la longitud del borde de corte.

Otro factor a considerar en las dimensiones de la matriz, troquel o estampa vienen determinados por la posición relativa de la ventana de la figura matriz y ésta es consecuencia del tamaño y de la simetría de la pieza que se desea obtener, siendo esta disposición normal u oblicua.

Los materiales de los elementos conformantes de la matriz poseen diferentes propiedades mecánicas las cuales dependen de la función que desempeñan dentro del proceso en conjunto.

El proceso de Embutición consiste en transformar una chapa plana en un cuerpo hueco, adaptándola a la forma definida por el punzón mediante la presión que ejerce este elemento.

Para obtener un buen resultado del embutido se debe considerar que la chapa de cualquier metal depende de la calidad del material y de su tratamiento térmico, razón por la que será dulce y recocida. En cambio al usar un material poco dúctil se obtendrían piezas agrietadas y sin resistencia.

La embutición libre permite este proceso sin el uso de pisador, debido a que los radios de redondeo no son tan grandes y no existe una deformación en el disco en el momento en que se realiza el embutido evitando la formación de pliegues en la zona de curvatura que queda por encima de la arista de embutición.

El radio de redondeo del punzón de embutición debe ser igual o mayor que el radio de redondeo de la arista del casquillo, de no ser así, se producirá el corte del disco de aluminio en lugar de generar un objeto hueco o cilindro.

En el cálculo del huelgo de embutición se considera la separación entre el punzón y el aro de embutición, para lo cual toma como miramiento inicial el espesor de la chapa y un coeficiente de forma cilíndrica que a la vez depende de la relación de gradación del aluminio.

La fuerza que ejerce el punzón de embutición cilíndrica depende principalmente de la resistencia media a los cambios de forma, del diámetro de embutición, del diámetro del recorte y del espesor del material.

Para el cálculo de cuerpos embutidos complicados, que no pueden dividirse en elementos de superficie característica, se puede obtener la superficie total aplicando la regla de Guldin que permite girar el radio de la fibra neutra similar a la operación de doblado de chapa metálica a 90° , alrededor de un eje situado en un mismo plano, esta superficie descrita por la curva determina un área igual al producto de la longitud de la curva por el trayecto descrito por su centro de gravedad.

En el proceso de doblado, la chapa metálica sufre adelgazamiento del 25% al 30%, este adelgazamiento genera un plano neutro que contiene a la fibra neutra o línea de doblado, la misma que no varía su longitud y se encuentra localizada de 0.3 a 0.5 del espesor de la placa.

El proceso de embutición se mejoró al sumergir los discos de corte en aceite lubricante SAE 80 RTL, de viscosidad API GL-5, permitiendo facilitar el ingreso del disco a través del casquillo mediante la presión que ejerce el punzón, proporcionando la deformación óptima del material como también la extracción del cilindro ya embutido.

Generalmente puede embutirse en una sola operación aquellas piezas pequeñas cuya profundidad es igual a la mitad del diámetro, pero en ciertos tipos de embuticiones, en que el diámetro de la pieza es muy pequeño en relación con la altura de la misma, es preciso desarrollar la transformación en más de una operación, para lo cual se requiere determinar con la mayor exactitud posible la relación diámetro – profundidad, en cada una de las operaciones intermedias a efectuarse antes de la obtención de la pieza acabada.

Al variar el ángulo de conicidad del casquillo de embutición se puede disminuir las fases necesarias para la obtención del cilindro embutido, evitándose el adelgazamiento del espesor del material y la realización de tratamientos térmicos para alivio de tensiones en cada fase de embutición.

Para la determinación del diámetro de recorte se puede utilizar tanto el principio de equivalencia de superficies que calcula el área de embutición y busca el diámetro de un círculo que tenga similar superficie; pero produce exceso en el cálculo del recorte, al no incluir propiedades mecánicas y la capacidad de deformación molecular de los materiales dúctiles.

Mediante la Ecuación de Variación Geométrica (EVG), se consideran las áreas: Área formada por el diámetro de fondo, área de revolución generada por el radio de Embutición basado en el teorema de Guldin y área de la pared cilíndrica. Deduciendo que la suma de las mismas permite determinar un valor del diámetro de disco desarrollado con mayor exactitud.

En la puesta a punto de la matriz, la precisión en el cálculo de medidas considerando tolerancias y acabados superficiales deben ser las adecuadas, para obtener un correcto cuadraje, esto se refleja en la manufactura de los elementos necesarios para el acople y sujeción de la matriz, mediante la utilización de pasadores que sirven como una guía principal, anticipando su posición al ajuste de los pernos; además al tratarse de punzones y casquillos intercambiables se considera también el ajuste necesario que debe tener estos elementos para asegurar un inmejorable proceso de corte y embutido.

Al comparar las ecuaciones para el cálculo del diámetro de recorte EVG y EN2 se concluye que la diferencia de error porcentual en los parámetros de diámetro de fondo y radio de la fibra neutra son de aproximadamente de 0.6 y 0.02% respectivamente, destacando que se encuentran dentro de los límites del 5% de error requerido para que el proceso sea considerado como óptimo.

En el parámetro de la altura del cilindro el porcentaje de error de las dos ecuaciones involucradas en el análisis excede el 5% requerido, lo cual involucra exceso en la altura del cilindro embutido, pero la EVG desprende un valor de error del -5.9%, cantidad que refleja una mejor

aproximación al porcentaje de error que se requiere; en cambio la EN2 proporciona un error del -12.9% valor que esta por encima del requerimiento de error.

Al considerar la EVG se obtiene un menor porcentaje de error por exceso de material en el calculo del diámetro de recorte para el proceso de embutición, comparándolo con el obtenido utilizando la EN2.

Otro parámetro de importancia que se debe recalcar es que no todo el material (Aluminio) que se utiliza es aprovechado, esto se debe a que en el trazado del diámetro de disco en las tiras de material, separación requieren un distanciamiento mínimo entre los mismos igual a 2.4 mm.

Este proyecto al ser un estudio de investigación tiene como meta determinar los parámetros de ahorro de material que se pueden provocar en base a la ubicación del disco de corte en la lamita de aluminio realizando una comparación geométrica entre diámetros.

Como conclusión vemos que la primera alternativa disminuye el número de láminas y permite obtener el mismo número de discos que serán utilizados para embutirlos, en el enfoque financiero se observa un ahorro donde se comparara con los flujos adjuntos.

Debido a que no es posible expresar los beneficios del proyecto en términos monetarios, el análisis económico determina que alternativa del proyecto logra los objetivos deseados al mínimo costo. Esto se consigue mediante el análisis de costo-efectividad al determinar el valor actual de costos (V.A.C.). Comparando la alternativa 1 con la alternativa 2, se concluye que la mas idónea para representar el ahorro en escala de costos es la primera, cuyos costos entre alternativas proporcionan una diferencia de USD 116.93 dólares, con lo que se produce un ahorro dado básicamente por el valor de la lámina extra que requiere para obtener el

número de discos de corte necesarios , además del valor que se estima en la utilización de la prensa hidráulica que esta en función del tiempo de uso de esta máquina.

9.2 RECOMENDACIONES

Las matrices de corte y de embutición deben ser expuestas a un proceso electroquímico para revestimiento metalúrgico, con materiales duros como cromo o níquel, capaces de proveer un alto grado de resistencia al desgaste, con lo que se multiplicaría la vida útil de las matrices

Dentro de trabajos que involucren Matricería, explícitamente en lo referente a corte y embutición, es necesario la rectificación de las superficies conformantes de la matriz así como también de punzones y casquillos para recuperar los filos cortantes y de embutición.

El estudio que se presenta en la Ecuación de Variación Geométrica permitió un ahorro en el cálculo del diámetro de recorte pero se recomienda realizar una nueva investigación que abarque esta información y asimismo considere las propiedades mecánicas de los materiales. Además se invita a realizar una nueva investigación que permita verificar la eficacia de la Ecuación de Variación Geométrica en la embutición de recipientes rectangulares.

En procesos de producción en serie que involucren corte y embutición cilíndrica, el análisis efectuado en este estudio es susceptible de aplicabilidad, debido a que el ahorro en materia prima permitiría disminuir los costos de producción.

Hay que tomar en cuenta que el manejo de maquinaria requerida en procesos de corte y embutición es susceptible de manipulación y manejo cauto, por esto, el operario deberá adoptar medidas de seguridad

industrial y protección personal, además de la debida concentración que cada proceso requiera al efectuar cada trabajo.

BIBLIOGRAFIA:

- HARRY MOORE, DONALD KIBBEY, MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACIÓN, Editorial LIMUSA, Ohio USA, 1985, Sexta Edición, pp550.
- OEHLER-KAISER, HERRAMIENTAS DE TROQUELAR, ESTAMPAR Y EMBUTIR, Editorial Gustavo Gili, Barcelona España, 1994, pp 721
- T LÓPEZ NAVARRO, TROQUELADO Y ESTAMPACIÓN, Editorial Gustavo Gili, Barcelona España 1981, Sexta Edición Ampliada, pp 460
- JOHN A. SCHEY, PROCESOS DE MANUFACTURA, EDITORIAL MCGRAW-HILL, México, México 2000, Tercera Edición, pp1004
- MANUFACTURING ENGINEERING AND TECHNOLOGY, EDITORIAL Prentice Hall
- FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA, EDITORIAL Prentice hall
- VALENCIA ANTONIO, MATRICERIA, Editorial Salesiana, Tercera Edición, Barcelona 1976.
- ROSSI Mario, ESTAMPADO EN FRIO DE CHAPA METALICA, Editorial Dossat, Tercera Edición, Madrid 1978.
- LARBURU Nicolás, MAQUINAS PRONTUARIO, Editorial Paraninfo, Décima Edición, Madrid 1988
- BARRENO Luis, COMPENDIO DE PROYECTOS Y PRESUPUESTOS, Ecuador 2001- 2002