

**DISEÑO DE MAQUINA REBORDEADORA DE TAPAS
EN CHAPA PARA TANQUES**

**JAVIER MEJIA PINEDO
JOSE IGNACIO MEZA PEREIRA**

**CORPORACION UNIVERSITARIA TECNOLOGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
CARTAGENA DE INDIAS**

1994

**DISEÑO DE MAQUINA REBORDEADORA DE TAPAS
EN CHAPA PARA TANQUES**

**JAVIER MEJIA PINEDO
JOSE IGNACIO MEZA PEREIRA**

Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico

Asesor:
GERMAN PALACIOS SILVA
Ingeniero Mecánico

**CORPORACION UNIVERSITARIA TECNOLOGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
CARTAGENA DE INDIAS**

1994

La Corporación se reserva el derecho de propiedad intelectual de todos los trabajos de grado aprobados comercialmente sin su autorización.

Cartagena, octubre de 1994

Ingeniero

LUIS MAJANA CONEO

Decano Facultad de Ingeniería Mecánica

Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar

La Ciudad

Estimado doctor:

Por medio de la presente nos permitimos hacer entrega formal de nuestro trabajo de grado titulado: "**DISEÑO DE MAQUINA REBORDEADORA DE TAPAS EN CHAPA PARA TANQUES**", requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Esperamos que cumpla con las normas y exigencias de esta Facultad.

Cordialmente,

JAVIER MEJIA PINEDO

JOSE IGNACIO MEZA PEREIRA

Cartagena, octubre de 1994

Ingeniero

LUIS MAJANA CONEO

Decano Facultad de Ingeniería Mecánica

Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar

La Ciudad

Estimado doctor:

Por medio de la presente me permito informar a uds. que he asesorado el trabajo de grado titulado: "**DISEÑO DE MAQUINA REBORDEADORA DE TAPAS EN CHAPA PARA TANQUES**", presentado por los estudiantes **JAVIER MEJIA PINEDO** y **JOSE IGNACIO MEZA PEREIRA**, como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Esperamos que cumpla con las normas y exigencias de esta Facultad.

Cordialmente,

GERMAN PALACIOS SILVA

Ingeniero Mecánico

Asesor del Trabajo

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos:

A GERMAN PALACIOS SILVA, Ingeniero Mecánico, profesor de la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar.

A MIGUEL ANGEL ROMERO, Ingeniero Mecánico, profesor de la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar.

A todo el personal de IMEC LTDA., quienes con su valiosa colaboración hicieron posible la realización del proyecto.

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCION

1. EL REBORDEADO

1.1. GENERALIDADES

1.2. DEFORMACION

1.2.1. Deformación en el rebordeado

1.2.1.1. El rebordeado visto como un doblado

1.2.1.2. El rebordeado visto como embutido

1.2.2. Deformación progresiva

2. DEFINICION DEL PROCESO

2.1. ANALISIS TEORICO

2.1.1. Condiciones iniciales

2.1.2. Condiciones finales

2.1.3. Metodología de aproximación

2.2. APLICACION DE CARGA DE REBORDEADO

2.2.1. Elemento con carga distribuida radial

2.2.2. Elemento con carga distribuida en el borde de placa

2.2.3. Criterios de diseño

- 2.2.4. Condiciones de carga
- 3. ANALISIS DE ALTERNATIVAS
 - 3.1. RELACION DE ALTERNATIVAS
 - 3.2. CALIFICACION DE PARAMETROS
 - 3.3. RELACION DE PARAMETROS
 - 3.3.1. Flexibilidad
 - 3.3.2. Factibilidad técnica
 - 3.3.3. Sistema de transmisión
 - 3.3.4. Estabilidad dinámica
 - 3.3.5. Rendimiento de la carga
 - 3.3.6. Mantenimiento
 - 3.3.7. Seguridad industrial
 - 3.3.8. Factibilidad económica
 - 3.4. CUADRO DE VALORES
- 4. CUERPOS FORMADORES
 - 4.1. GENERALIDADES
 - 4.2. PERFIL DEL REBORDEADO
 - 4.2.1. Formador cilíndrico
 - 4.2.2. Formador cónico
 - 4.2.3. Perfil por formador al cierre
 - 4.3. ANALISIS DE LA SUPERFICIE DE LOS CUERPOS FORMADORES

4.4. EJE BASCULANTE

4.4.1. Eje para empuje del cuerpo formador

4.4.2. Giro para el cuerpo formador

pág.

5. DISEÑO DEL SISTEMA HIDRAULICO

5.1. CONCEPTOS GENERALES

5.2. CIRCUITO HIDRAULICO BASICO

5.2.1. Cilindro hidráulico

5.2.2. Válvula direccional

5.2.3. Motor hidráulico

5.2.4. Válvula direccional del motor hidráulico

5.2.5. Unidad de potencia hidráulica

5.3. OPTIMIZACION DEL SISTEMA HIDRAULICO

6. DISEÑO ELEMENTAL DE LA REBORDEADORA

6.1. LA DISTRIBUCION ESPACIAL

6.2. BASTIDOR PRINCIPAL

6.3. BASAMENTO DE CUERPOS FORMADORES Y SOPORTES
INFERIORES

7. CONCLUSIONES

8. RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1.	Curva esfuerzo v/s. deformación
FIGURA 2.	Perfil de borde doblado
FIGURA 3.	Deformaciones y esfuerzos al doblar
FIGURA 4.	Perfil de borde embutido
FIGURA 5.	Esquema de rebordeado básico
FIGURA 6.	Deformación progresiva en el rebordeado
FIGURA 7.	Deformación por flexión progresiva
FIGURA 8.	Esquema de la composición básica del rebordeado
FIGURA 9.	Posición cerrada del rolo formador sobre el rolo inferior.
FIGURA 10.	Esquema para rebordeado bajo la acción F del cuerpo formador
FIGURA 11.	Cuerpo formador cilíndrico
FIGURA 12.	Perfil de velocidades del formador cilíndrico y del disco del material
FIGURA 13.	Perfil de velocidades conjugado

- FIGURA 14. Disposición del formador cónico
- FIGURA 15. Paso 1 - 2 - 3 - 4 - 5
- FIGURA 16. Esquema de carga sobre el eje basculante

Pág.

- FIGURA 17. Carga de empuje
- FIGURA 18. Cortante y flector viga basculante
- FIGURA 19. Rolo formador
- FIGURA 20. Circuito hidráulico básico
- FIGURA 21. Circuito hidráulico final
- FIGURA 22. Identificación de la posición relativa de apoyos
- FIGURA 23. Rebordeadora
- FIGURA 24. Estructura laminar del cuello de Ganzo de la rebordeadora
- FIGURA 25. Vista en proyección de las guías de la rebordeadora.

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Componentes neumáticos e hidráulicos.	
ANEXO B. Perfil U PN	

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. Fuerza aplicada	
TABLA 2. Clasificación de la flexibilidad	
TABLA 3. Clasificación de la factibilidad técnica	
TABLA 4. Clasificación sistema de transmisión	
TABLA 5. Clasificación estabilidad dinámica	
TABLA 6. Clasificación rendimiento de la carga	
TABLA 7. Clasificación del mantenimiento	
TABLA 8. Clasificación de la seguridad industrial	
TABLA 9. Cuadro de valores	
TABLA 10. Torque y RPM como función del caudal y la presión	
TABLA 11. Serie F-100. Aceros finos de construcción	

INTRODUCCION

Cuando se inicia el proyecto, la primera misión en la cual dirigimos la atención es la de conocer en qué consiste el rebordeado y como se puede lograr solucionar el problema.

Ahora bien, el problema no se podía identificar con exactitud, no se sabía en su momento cómo elegir un camino hacia una solución concreta. Se buscaron entonces posibilidades de solución, pero para seguir adelante, se decide estudiar y evaluar parámetros relacionados con todas las alternativas.

Asignando valores analizados para cada parámetro, se logra apreciar una posibilidad técnica que puede ser factible. A partir de este punto se ingresa en buscar la argumentación teórica y de información o publicaciones que nos dieran pie y piso para hallar la solución definitiva.

Es en esta oportunidad en la cual aprendemos varias lecciones que reconfortaron e impulsaron el trabajo de diseño. La idea

estaba definida: usar cuerpos formadores para el rebordeado.

Se alcanzaba a intuir el rolo inferior en su trabajo y forma; el problema se centraba en definir el rolo superior en forma que al avanzar sobre el material debía progresivamente rebordear la chapa una vez entraran en contacto. Es aquí donde con dedicación y después de fracasar sucesivamente tratando de llegar de un solo impulso a la solución; se trabaja gradualmente en cinco pasos para llegar al diseño de forma y dimensionado.

De allí en adelante se persigue "darle cuerpo" a la máquina por medio de acoplar soluciones parciales: primero posición y aplicación de carga por el rolo superior basculante sobre el material, soportándolo en una estructura laminar tipo cuello de ganzo, y segundo guías en "V" para ubicar los rolos inferiores según el diámetro del CAP a rebordear. Finalmente se ataca el cálculo sobre las zonas críticas y de aditamentos para centrado según graficado escalar.

Se logra aprender cuando se trata de avanzar por un camino que no acabamos de empezar.

1. EL REBORDEADO

1.1 GENERALIDADES

Para ingresar en el análisis del rebordeado, se presentarán inicialmente los aspectos relacionados con la deformación a partir de la orientación y combinación de movimientos, así como las notas conceptuales teóricas que explican el comportamiento de la chapa o lámina de acero que se somete a este tipo de esfuerzos de conformado.

Es evidente que para producir un conformado en nuestro caso, sobre la tapa de un tanque previamente bombeada, se requiere conducir el material a través de cuerpos formadores que permitan reproducir exactamente un perfil que empalme a tope con un cuerpo cilíndrico dado.

Eventualmente la pregunta inicial es ¿cómo lograr una deformación estable dentro de la variedad de deformación y tamaños?; este interrogante se debe dividir en dos enfoques,

esto es, primero: análisis de deformaciones y segundo: influencia del tamaño en los niveles de deformación.

1.2 DEFORMACIONES

Cuando se describe teóricamente la deformación a nivel de laboratorio o a nivel de investigación, se hace una fundamentación a partir de la curva de esfuerzo-deformación (Figura 1), en la cual se distinguen la zona de deformación, previendo que esta curva es característica dependiente del material (probeta metálica) de ensayo.

La zona elástica se caracteriza por el coeficiente constante de proporcionalidad entre el valor de esfuerzo restringido y la deformación no permanente E_e conocido como módulo de elasticidad E , el cual para la chapa de acero que se utiliza como materia prima es $2.1 \times 10^6 \text{ Kg/Cm}^2$.

Esta proporcionalidad significa que en esta zona a incrementos iguales de esfuerzo corresponden incrementos también iguales de deformación, el límite corresponde al valor σ_p , a partir del cual ya no existe este tipo de relación aún cuando todavía sea zona elástica. En la mayoría de materiales el límite de proporcionalidad y el límite elástico tiene valores numéricos casi iguales, pero se conoce al límite elástico como el límite de pruebas en la máquina de ensayo a partir del valor en el

cual aparece la deformación permanente.

Lo anterior se introduce en el presente trabajo, pues a partir del límite de elasticidad se encontrará la zona de deformación permanente en la cual se detendrá la observación para profundizar la transformación de las condiciones teóricas a las condiciones prácticas o reales. Será la finalidad del rebordeado, conseguir deformación permanente con condiciones mínimas de carga.

1.2.1 Deformación en el rebordeado. Se parte de la idea de que rebordear es generar una pestaña con un perfil característico. Se tomará inicialmente un rebordeado recto, se irá transformando en una curva y luego en el que se obtiene por generación de un movimiento conjugado.

1.2.1.1 El rebordeado visto como un doblado. Utilizando un adobladora se puede producir una pestaña o rebordeado recto, pero la exclusividad de su diseño impide hacer un rebordeado curvo, como si lo puede hacer hasta tamaños pequeños una prensa como la que se esquematiza en la Figura 2. En esta fabricación el conformado se logra cuando el macho en su carrera de descanso se aproxima hasta la matriz a una distancia mínima igual al espesor del material, el cual queda confinado en dicho espacio como se indica para la posición 1'.

Cuando se retira el punzón de doblado y se realiza la etapa de metrología y comparación se puede apreciar ciertos detalles resaltados en la Figura 3, a saber.

- Si por convención se elige el conservar el volumen, esto es, deformación a volumen constante, para un elemento seleccionado en O_2 y otro en O_1 , aún cuando su valor en volumen es igual, la transformación por deformación nos indica que: El elemento O_2 se ha alargado por efecto del esfuerzo de tensión y se ha contraído transversalmente de acuerdo a la dependencia de las deformaciones según las relaciones de Poisson; al contrario el elemento O_1 se ha acortado y su sección se ha incrementado. Si se restringe la deformación en la dirección perpendicular al plano de la Figura 3, la convención se puede tomar como un doblado a espesor constante.

- Al retirar el punzón, cesa su acción de contención y la energía elástica liberada permite que se recupere el material por efecto del momento originado por las fuerzas de reacción elástica de los elementos deformados.

Es conveniente observar que la recuperación se realiza sobre el valor de momento mínimo, por debajo de este valor se debe recurrir a un normalizado para evitar la recuperación posterior por envejecimiento; aunque dicho tratamiento térmico se realiza después del proceso de soldadura de la

tapa al tanque.

- Se debe tener en cuenta que la fuerza del material que resiste a ser deformado es variable y que debido al rango amplio dado por el tamaño y espesor el equipo se diseña según su rango dado por términos de factibilidad técnica y económica.

1.2.1.2 El rebordeado visto como embutido. Este caso, en cierta forma es el inverso del doblado visto desde el punto de aplicación de cargas, mientras en la descripción anterior el material en su comportamiento permanece inmóvil en el doblado y la carga (Punzón) se movía, en el embutido la carga permanece inmóvil (matriz) y el comportamiento (cogin v/s pisadores) se mueve por la acción el punzón de embutido, como se esquematiza en la Figura 4.

Las deformaciones en este caso siguen el mismo comportamiento que en el doblado. El embutir el material es un proceso fácil, pero tiene como inconvenientes:

- Es como muy costoso pues cada diámetro tendría su juego de matriz/punzón, en otras palabras no tiene flexibilidad.

- Para diámetros y espesores grandes la fuerza y el equipo para generarla se forman desproporcionados como aplicación industrial.

- Es óptimo para diámetros (200/600 mm) y espesores (ca1-14) pequeños, así como para altas producciones a este nivel de capacidad.

Este es el fundamento del rebordeado propiamente dicho; por este motivo, se describe secuencialmente, según el esquema de la Figura 5:

- Se ubica el material por medio de centradores y se sujeta por mordazas.

- Se acciona el sistema motriz de giro

- Se aproxima el cuerpo formador de giro libre hasta alcanzar el contacto con la tapa.

- Se genera la fuerza radial de trabajo la cual realiza el rebordeado hasta alcanzar el tope de aproximación.

En la anterior relación en la medida que se aproxime la solución de diseño se irá incrementando los detalles dimensionales de construcción, de flexibilidad, de intercambiabilidad, de seguridad industrial y de producción. Se puede realizar este proceso en chapas de espesor pequeño < 2.5 mm y radios medianos < 1.2 m.

Para diámetros mayores se tiene que utilizar métodos de soporte apropiados y de conducción de material por dos cuerpos formadores y algunas veces por el espesor de la chapa, se debe proveer el aporte de calor para facilitar el rebordeado.

Si se describe mediante un esquema, figura-6, el rebordeado, se puede acordar que el material es obligado a desplazarse a lo largo de un perfil de revolución, el cual sirve de patin o trayectoria de deslizamiento para que la chapa absorba progresivamente una deformación plástica específica.

1.2.2 Deformación Progresiva. La deformación progresiva se refiere a conseguir la obtención del perfil determinado mediante una acción continua que obliga al material a conducirse a lo largo de la trayectoria. Como se puede considerar inicialmente se trataría de ejercer una fuerza de empuje.

Esta fuerza de empuje inicialmente produce una flexión que de acuerdo a la curvatura del cuerpo formador o Rolo, y al giro de elementos unitarios como se presentan en la Figura 7. El punto de la chapa A_0 se desplaza al punto A_1 , al girar sobre un apoyo imaginario ubicado en P_1 . Ahora se permanece en esta posición para que el contorno del disco asimile esta deformación, a la vez que obliga al material P_1A_1 a tomar la

curvatura (deformación plástica) del cuerpo formador; seguidamente se repetirá el proceso sobre los apoyos P2, Pn, hasta conseguir la sección PnAn-1 que para la ilustración dada sería P₆ A₅, lo cual pertenece al perfil del borde o de la pestaña de la tapa.

Sin apartarse del enfoque descrito en el párrafo anterior e incrementando del número de giros Pn, se conseguirá un proceso de deformación continua, el cual como se analizará en el capítulo siguiente, generará las características óptimas al seleccionar la dirección de aplicación de la fuerza de empuje, la selección de alternativas tecnológicas, la flexibilidad y capacidad del equipo así como la utilización de aditamentos o accesorios que den estabilidad y confiabilidad en la repetitividad del proceso.

2. DEFINICION DEL PROCESO

2.1 ANALISIS TEORICO

Se debe iniciar el estudio del proceso definiendo las condiciones de límites iniciales y finales así como la metodología de aproximación a cada una de las etapas de la gama o secuencia del proceso de rebordeado.

2.1.1 Condiciones Iniciales. Se acepta que el rebordeado se realiza a partir de una tapa previamente conformada por bombeado hasta una curvatura definida en la etapa de diseño del tanque.

Esta curvatura permite conducir el borde de la chapa con mayor facilidad contra la superficie de conformado, ya que en efecto la inclinación obtenida al generar la curvatura es la primera etapa de flexión para fabricar el borde de la tapa.

El rebordeado es un proceso de efecto perimetral ya que no

influye sobre la tapa total, sino sobre una corona circular de doble pestaña.

Aún cuando el área de cuerpo formador es la longitud del contacto por un ancho reducido, se toma por rango de rigidez, confiabilidad y resistencia superficial al área promedio proyectada del cuerpo formador teniendo en cuenta la longitud de contacto.

El proceso aproximación se tomará como pequeñas flexiones incrementadas, entre las cuales se mantendrá el tiempo para dar uniformidad a lo largo del perímetro, para luego hacer el incremento pequeño, que al progresar se convertirá en un "doblado" en el cual el radio de acuerdo es comparativamente mayor al espesor de la placa.

La longitud de la pestaña o altura del rebordeado para alternativa de movimiento conjugado se tomará igual al radio de acuerdo interno y para el cuerpo formador basculante no tiene esta limitante pero si la del campo libre radial que deje en su posición retirada.

2.1.2 Condiciones Finales. Se estimaran finales de recorrido o topes de conformado los cuales se deben determinar sobre las pruebas de rebordeado según cada espesor de chapa.

Se tiene como condición final, aún cuando lo sea de proceso, que la chapa permanece centrada y apoyada simétricamente durante el rebordeado.

Se hará a nivel de recomendaciones las alternativas de carga y descarga, para implementar tecnologías en los tamaños y espesores medianos y grandes.

2.1.3 Metodología de Aproximación. Se hace y se define para cada una de las etapas, cuando se determina la gama segura y flexible de rebordeado para chapas entre $0.5 \div 3$ m y espesores $1/8$ a $1/2$ ".

2.2 APLICACION DE CARGA DE REBORDEADO

De acuerdo a las condiciones iniciales, si se tiene un área de contacto entre el cuerpo formador y la chapa, para la cual, se considera un elemento independiente a una corona circular y que de acuerdo a la relación h/R , (h =altura de la pestaña y R =Radio de la chapa), se tomará como una placa empotrada sometida a una carga distribuida. Para iniciar un arreglo estructural que permita progresivamente calcular y optimizar los eslabones que intervienen en una máquina de rebordeado, se incluye el esquema de la Figura 8.

Ahora se concentra la atención en el comportamiento de la

pestaña la cual elementalmente se analiza como un elemento de placa en cautiliver que se va progresivamente flertando bajo la acción de carga del cuerpo formador exterior o rolo de conformado.

Se analiza a manera de comparación el caso de la viga bajo carga distribuida radial y el caso de la placa con carga distribuida sobre el borde, con la doble finalidad de seleccionar el valor de carga mínimo aplicado para deformación plástica, esto es llegar al esfuerzo de cedencia e ir determinando el incremento o progreso del conformado por una parte y por la otra conocer los parámetros estructurales que se requieren para diseñar los elementos de la máquina. Adicionalmente se puede indicar que el progreso real se inicia con una línea de apoyo en el borde la cual se transforma en superficie a medida que va progresando el contacto en la dirección longitudinal del perfil.

2.2.1 Elemento con carga distribuida radial

$$Y = \frac{PH^4}{24EI} \left[3 - 4 \left(\frac{X}{H} \right) + \left(\frac{X}{H} \right)^4 \right] \text{ en viga prismática}$$

$$W = \frac{PH^4}{24K} \left[3 - 4 \left(\frac{X}{H} \right) + \left(\frac{X}{H} \right)^4 \right] \text{ para placa en voladizo}$$

$$\text{Para } X = 0 \quad Y = \frac{PH^4}{24EI} \quad [3]$$

$$Y_{\text{max}}^{\text{viga}} = \frac{PH^4}{8EI}$$

$$\text{Para } X = 0 \quad W_{\text{max}}^{\text{placa}} = \frac{PH^4}{24K} \quad [3]$$

$$W_{\text{max}}^{\text{placa}} = \frac{PH^4}{8K}$$

$$\text{Donde } K = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$$

K = coeficiente de rigidez de la placa.

Comparativamente

Y

W

$$Y_{\max} = \frac{PH^4}{8EI}$$

$$W_{\max} = \frac{PH^4}{8K}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad \begin{array}{l} b = 10 \text{ mm} \\ h = 12.7 \text{ mm} \end{array}$$

$$L = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$$

$$Y_{\max} = \frac{PH^4}{8E \left[\frac{bh^3}{12} \right]}$$

$$W_{\max} = \frac{PH^4}{8E \left[\frac{h^3}{12(1-\mu^2)} \right]}$$

$$Y_{\max} = \frac{3PH^4}{2bh^3}$$

$$W_{\max} = \frac{3(1-\mu^2)PH^4}{2Eh^3}$$

$$Y_{\max} = \frac{1(3PH^4)}{b(2Eh^3)}$$

$$W_{\max} = \frac{(1-\mu^2)[3PH^4]}{[2EH^3]}$$

Por ejemplo si $b = h = 1$, comparativamente se tiene:

$$Y_1 = \frac{3 PH^4}{2E} \qquad W_1 = (1 - \mu^2) \left[\frac{3PH^4}{2E} \right]$$

Si para la chapa $\mu = 0.3$

$$Y_1 = 1 \left[\frac{3 PH^4}{2E} \right] \qquad W_1 = 0,91 \left[\frac{3PH^4}{2E} \right]$$

Esto es: para la condición de carga dada la deflexión en la placa es menor que la de la viga en aproximadamente 9% dentro del campo elástico; este porcentaje si se obligará a la placa a absorber la deflexión de la viga, no alcanzaría a superar en la diferencia en porcentaje de los criterios de cedencia entre TRESCA y VON-MISES.

2.2.2 Elemento carga distribuida en el borde de placa

Deflexión en la viga

$$Y = \frac{PH^3}{6EI} \left[3 \left(\frac{X}{H} \right)^2 - \left(\frac{X}{H} \right)^3 \right]$$

Para $X = H$

$$Y_{\max} = \frac{PH^3}{6EI} (3 - 1)$$

$$Y_{\max} = \frac{PH^3}{3EI}$$

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

$$Y_{\max} = \frac{PH^3 \times 12}{3Ebh^3}$$

$$Y_{\max} = \frac{1}{b} \left(\frac{4PH^3}{Eh^3} \right)$$

Deflexión en la placa

$$PH^3 \quad X \quad X$$

$$W = \frac{1}{6K} \left[3 \left(\frac{PH}{H} \right)^2 - \left(\frac{PH}{H} \right)^3 \right]$$

Para $X = H$

$$W_{\max} = \frac{PH^3}{6K} (3 - 1)$$

$$W_{\max} = \frac{PH^3}{3K}$$

$$K = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)}$$

$$W = \frac{PH^3 \times 12(1 - \mu^2)}{3Eh^3}$$

$$W = (1 - \mu^2) \left(\frac{4PH^3}{Eh^3} \right)$$

Para sección unitaria $b = h = 1$ (igual espesor por ancho)

$$Y_2 = \frac{4PH^3}{E}$$

$$W = (1 - \mu^2) \left(\frac{4PH^3}{E} \right)$$

Resultado idéntico al del numeral anterior en porcentaje.

2.2.3 Criterios de diseño. Según la aplicación de carga se debe elegir algún criterio que supere adecuadamente el punto de cedencia a la zona plástica.

$$\text{TRESCA} < \text{VON-MISES}$$

$$\text{RESCA} = \text{VON-MISES} - 15\% \text{ VON MISES}$$

Esto quiere decir que el criterio de Von-Mises da el esfuerzo crítico de cedencia un 15% superior al esfuerzo de cedencia según el criterio de TRESCA. Razonablemente se tomará un esfuerzo de sometimiento un 20% superior el cual garantiza un proceso realizado definitivamente en el campo plástico. Se selecciona como resistencia a la fluencia para una chapa HR=> con 0.2%<, igual a 1680 Kg/cm².

Es natural que los valores de carga aplicada mínima para el rebordeado se incrementa en magnitud al asegurar confiablemente una vida útil principalmente por la resistencia a la fatiga por esfuerzos superficiales del Rolo formador.

2.2.4 Condiciones de carga. Se toma como referencia el contacto en la periferia con una acción de empuje vertical y una acción de empuje radial, las cuales siempre tendrán efecto después de inducir en el rolo el torque que por fricción genera el giro de la tapa. Al observar la Figura 9, se tiene que la aproximación del cuerpo formador realiza su efecto de empuje según la forma o dirección de la acción al flexionar la chapa, así como también la variación de la posición del apoyo a la flexión sobre el perfil del polo inferior.

Para realizar y planear la forma de atacar el material, se pueden apreciar en la Figura 10, varios detalles que en su momento determinan parámetros de forma, tamaño y movimiento de los diferentes elementos de la máquina de rebordar. inicialmente se observa que la fuerza cambia tanto en magnitud como en dirección; en magnitud porque la luz de flexión disminuye y en dirección pues permanece perpendicularmente a la curva generatriz de la envolvente.

De lo anterior se tiene una relación de hechos que serán el fundamento de diseño de la máquina así:

- Si la tapa ha sido (como lo debe ser), bombeada, la fuerza de aplicación no será F_0 -vertical, sino que será una fuerza F_i algo mayor por la disminución del brazo e inclinada pues el borde ha sido previamente flexionado en el rebordado.

_ La fuerza cambia su dirección: vertical cuando inicia la flexión de la chapa, hasta horizontal, cuando termina el rebordeado.

- Si la aproximación del cuerpo es radial el empuje requerido para flectar es muy grande en un principio lo resiste exclusivamente el rodamiento como empuje axial del mismo; pero si la aproximación es vertical corresponde la fuerza de empuje con el movimiento de aproximación lo cual requiere una fuerza de empuje menor así se mantenga el efecto axial sobre el rodamiento. Adicionalmente la desventaja principal del primero es el esfuerzo a que se somete la superficie del rolo al ir conduciendo la chapa a lo largo de su perfil.

- Para compensar la dificultad en la aplicación de la carga de empuje se deben tomar como alternativas de diseño la aproximación escalonada y la aproximación basculante.

- Por similitud con el esquema consignado en la Figura 10, conocemos la flexión producida como constante o de curvatura permanente, pero como el brazo disminuye lógicamente la carga se incrementa.

Aún cuando sobre el cuerpo formador exista una superficie de la chapa en contacto con él, se entiende que se realiza la

fuerza para flectar el borde de la tapa sobre una línea sobre la que se distribuye una fuerza P_R , como la fuerza no es uniformemente distribuida sino que varía de acuerdo al curvado que la chapa toma sobre la superficie del rolo. Se tomará como primera aproximación la fuerza concentrada P , en el borde de la viga prismática a la cual se le incrementará el 20% de su valor que al ser tomado sobre el área unitaria, posiciona la flexión en el campo o zona de deformación plástica pues supera el criterio de Cedencia de Von Mises.

- La fuerza máxima

$$Y = \frac{P_R}{G_{EI}} (2H^3 - 3Hx + X^3)$$

$$X = 0$$

$$Y = \frac{P_R H^3}{3EI}$$

$$E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$I = \frac{bH^3}{12}$$

$$P_R = \frac{3 \times 2.1 \times 10^6 \text{ Kg} \times h^4 \text{ mm}^4 \times X \text{ mm} (1 \text{ cm}^2)}{\text{Cm}^2 \quad 12 \text{ H}^3 \text{ mm}^3 \quad (100 \text{ mm}^2)} \times 12$$

$$P_R = 6.300 \frac{h^4 y}{H^3} \text{ Kgs}$$

$$P_R \text{ (Kg)} \quad R = 50 \text{ mm} \quad (Y_{\text{max}} = 0.05 \text{ mm})$$

TABLA 1. Fuerza aplicada

h	H(1)	H(0.75)	H(0.5)	H(0,4)	H(0.3)	H(0,2)	H(0,1)
3.175							
4.7625	0.335	0.794	2,68	5,234	12,40	41,87	335

6.35	1.05			132,34	1058,75
7.935	2.58		95,73	323.1	2584,85
9.525	53.6	83,75	198,5	620	5360
12.7	16,94	264,7	627,4	2117,5	16.940

En la tabla 1 se han consignado los valores necesarios de la fuerza de empuje para rebordear con radio de acuerdo en el rebordeado de 50 mm para absorber lámina $h=\frac{1}{4}$. para $h= \frac{5}{16}$, $\frac{3}{8}$, $\frac{1}{2}$, se debe hacer una de las dos siguientes alternativas:

- 1) Aumentar el radio de acuerdo o de perfil en los roles (hacer un juego de cuerpo formador mayor de $R=100$ mm).
- 2) Aporte de calor.

El equipo en su parte de diseño podrá utilizar cualesquiera de las dos alternativas pues ambas se ejecutan sin necesidad de aumentar la capacidad de la máquina.

3. ANALISIS DE ALTERNATIVAS

3.1 RELACION DE ALTERNATIVAS

- La primera alternativa considera la aproximación radial con deslizamiento del material sobre el perfil del cuerpo formador, este tipo de proceso es utilizado profusamente en selladoras para colocar tapa y rebordar en envases hojalatas.

- La segunda tiene que ver con embutido como proceso de producción, realizando en prensa hidráulica o troqueladores de simple o doble efecto. Utilizado en fabricación de tapas y fondos para fumigadoras, cantinas, barriles, acumuladores, etc, de tamaño pequeño.

- La tercera alternativa consiste en la aproximación de un cuerpo formador montado sobre una estructura basculante que permite eficacia en la transmisión de la carga para rebordar, así esta, cambie de dirección.

- Aproximación de los cuerpos formadores por tornillo y discos manivela aproximación manual, esto es aproximación conjugada.

3.2 CALIFICACION DE PARAMETROS

Su evaluación se hará sobre una tabla de 1 a 10 con el criterio siguiente:

Excelente	9 a 10
Muy Bueno	8 a 9
Bueno	7 a 8
Regular	6 a 7
No útil	menor a 6

3.3 RELACION DE PARAMETROS

Los parámetros a tener en cuenta para lograr seleccionar la alternativa objetiva de diseño son: Flexibilidad, factibilidad técnica, sistema de transmisión, estabilidad dinámica, rendimiento de la carga, mantenimiento y seguridad y factibilidad.

3.3.1. Flexibilidad.

TABLA 2. Clasificación de la flexibilidad

Según:	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4
Espesor del material	7	6	9	8

Diámetro de la tapa	7	6	8	8
Tiempo de acondicionamiento	8	4	8	7
Facilidad de conversión	8	4	9	8
Facilidad al inicio	9	7	8	8
Facilidad al finalizar	8	7	8	7
Carga/descarga	7	7	7	8
Patronamiento del equipo	8	6	9	8
Control de proceso	8	6	10	9
Sub-total flexibilidad	70	53	76	71

De los puntos considerados se deben tener en cuenta la naturaleza de algunos de ellos para que el lector tenga el mismo ángulo como criterio de evaluación así:

- **Tiempo de Acondicionamiento:** Arrancando de cero (cambio de rebordeado por espesor y por diámetro), hasta que el equipo esté completamente habilitado para iniciar el rebordeado, sin incluir el montaje del material, esto es, el tiempo de patronamiento de la máquina solamente.

- **Facilidad de Conversión:** Se relaciona el menor número de operaciones que se deben realizar para que la máquina a diseñar o a construir sea acondicionada a las exigencias del material para otro tamaño de tapa.

- **Facilidad al Inicio:** Se refiere a la recepción y ubicación del material en la máquina, así como a la facultad de arrancar el rebordeado con relativa rapidez y seguridad.

- **Facilidad al Finalizar:** Como al terminar el proceso se libera el material (tapa rebordeada) de la contención de la máquina y como es su salida o retirada del sitio de conformado es lo que se debe interpretar en este punto.

- **Carga/ Descarga:** Se refiere a cuál de las alternativas requiere nuevos recursos y presenta menos contingencia con respecto al traslado del material.

- **Patronamiento del Equipo:** Se tiene como objetivo en este punto la confiabilidad de las medidas con respecto al producto obtenido, esto es, posicionamiento de centradores, topes y cuerpos formadores así como la calibración de las mismas y sus ajustes.

- **Control del Proceso:** Es como regular la fuerza del formador y la velocidad de guía de la tabla.

3.3.2. Factibilidad Técnica

Tabla 3. Clasificación de la Factibilidad Técnica

Según:	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4
Diseño	8	7	9	9
Construcción	7	6	9	7
Repetitividad	8	9	8	7
Intercambiabilidad	8	10	9	8
Grado tecnológico	8	9	10	8
Sub-total	39	41	45	39

A la par que en el acuerdo anterior se requiere un acuerdo sobre los items representativos y calificados de cada parámetro, a la vez que son evidentes las diferencias que sobre el valor se pueden dar y que en el fondo son criterios recopilados y clasificados del Kow-now, que cada empresa en su campo tienen, así:

- **Diseño:** Configuran la solución óptima para cada alternativa y la comparación entre ellas, representa un aspecto difícil de evaluar; pero con base en equipos de norma en otras empresas se ha conseguido valores factibles de aceptar.

- **Construcción:** Con idéntica capacidad instalada e igual factor de desarrollo tecnológico se evalúa el menor número de elementos a fabricar, el mayor uso y presencia múltiple de proveedores para los accesorios , dispositivos y partes suministradas según referencias comerciales.

- **Repetitividad:** Que tan repetida es una orden de producción de una tapa específica.

- **Intercambiabilidad:** Significa que para una serie, presentan las tapas iguales formas y tamaños que para un cuerpo de acople patrón, todas cumplirán con el ajuste y exigencias para la unión soldada.

- **Grado Tecnológico:** Se refiere al análisis e investigación de tecnologías para una aplicación específica.

3.3.3 Sistema de Transmisión.

TABLA 4. Clasificación Sistema de Transmisión

Según:	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4
---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

Acople	8	8	8	8
Elemento motriz	8	9	8	9
Transmisor mecánico	6	8	8	8
Transmisor hidráulico	8	8	10	4
Elemento final	8	9	7	8
Sub-total	38	40	43	37

- **Acople:** Se refiere al elemento que actúa como fusible y sirve para unir el eje del motor con el elemento motriz de transmisión.

- **Elemento Motriz:** Es el elemento que recibe la energía del motor y la transmite a un elemento rígido o a un elemento flexible.

- **Transmisor Mecánico:** Se refiere al conjunto de eslabones que transmite la energía según una cadena cinemática rígida.

- **Trasmisor Hidráulico:** La energía es transmitida por el fluido a un convertidos o elemento de salida.

- **Elemento Final:** Es el elemento de salida que transfiere la energía al material.

3.3.4. Estabilidad Dinámica

TABLA 5. Clasificación Estabilidad Dinámica

Según:	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4
A la carga	6	9	9	9
La velocidad	7	7	10	7
El cuerpo formador	9	10	10	7
Sujeción y centrado	6	9	9	8
Material	6	9	8	8
Sub-total	34	44	46	34

- **La Carga:** Es referida esta calificación a la forma de aplicación y a la rata de incremento a lo largo del rebordeado.
- **La Velocidad:** Determinada como la rapidez óptima para que el material se amolde y conforme uniformemente antes de seguir avanzando.
- **El Cuerpo Formador:** De el se califican las posibilidades del perfil para que fuera de rebordear, participe en mantener el material en su posición hasta el final del rebordeado.
- **Sujeción y Centrado:** Conviene el sistema que asegure la posición radial y axial de la tapa durante todo el proceso de

doblado del borde.

- **Material:** Se mide la influencia del ataque del material sobre el cuerpo formador.

3.3.5. Rendimiento de la Carga

TABLA 6. Clasificación rendimiento de la carga

Naturaleza	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4
Radial	9	2	8	8
Axial	2	10	8	8
Combinada	5	4	10	9
Sub-total	16	16	26	25

Se refieren los valores anteriores a que la carga sea aplicada en una sola dirección o combinada y que este empuje elabore el rebordeado al aire (sin cuerpo formador inferior), en matriz para el caso cerrado, parcialmente confinado por los cuerpos formadores en configuración semicerrada y abierta cuando puede generar las direcciones de carga independientemente.

3.3.6. Mantenimiento.

TABLA 7. Clasificación del Mantenimiento

Según:	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4
Ejecución	7	6	9	8
Diseño	8	8	10	8
Proveedores	7	6	9	7
Sub-total	22	20	28	23

El mantenimiento como punto de diseño, construcción y operación del equipo en cualesquiera de las cuatro alternativas es cuantificado según tres obligaciones.

Primera: Las operaciones de mantenimiento son de acceso, reparación, revisión o corrección fáciles (ejecución).

Segunda: Según la vida útil del equipo (diseño).

Tercera: Suministro de partes de reposición (proveedores).

3.3.7. Seguridad Industrial.

TABLA 8. Clasificación de la Seguridad Industrial

Según:	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4
Posición e intervención				

del operario	8	7	9	8
Salud Ocupacional	7	8	9	7
Riesgo Interno	8	6	9	8
Riesgo Externo	8	9	9	9
Sub-total	31	30	36	32

Se busca la menor intervención y mayor calificación del operario tanto con el equipo como con el material, en el aspecto de disminuir a lo indispensable los riesgos de operación y producción.

- **Posición e Intervención del Operario:** Si se ubica relativamente una posición constante y si ejecuta labores de manejo, control y calibración en el proceso.
- **Salud Ocupacional:** Mide el efecto de las circunstancias de responsabilidad, la tensión frente a la labor realizada y las condiciones del medio ambiente o condición de trabajo.
- **Riesgo Interno:** Debe tenerse condiciones mínimas de seguridad protectores de elementos dinámicos, dispositivos de independencia y de arrancada, así como paro de emergencia.

- **Riesgo Externo:** El de la calificación deficiente del operario.

3.3.8. Factibilidad Económica:

En el presente numeral la factibilidad económica es comparativamente igual para las cuatro alternativas, pero según cotizaciones de trabajo solicitadas a la firma IMEC LTDA. para fabricación de tanques, el desarrollo del proyecto se debe ayudar con una estrategia del mercado a la demanda potencial nacional e incluso a países del área Caribe.

3.4 CUADRO DE VALORES

TABLA 9. Cuadro de Valores

Parámetro	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4
Flexibilidad	70	53	76	71
Factibilidad técnica	39	41	45	39
Sistema de transmisión	38	40	43	37

Estabilidad dinámica	34	44	46	39
Rendimiento de la carga	16	16	26	25
Mantenimiento	22	20	28	23
Seguridad Industrial	31	30	36	32
Factibilidad Económica	8	8	9	9
Total	258	252	309	275
% de Aceptación	23.58	23.03	28.24	25.13

Del anterior resultado se busca en el diseño cubrir las condiciones de cada parámetro para la alternativa número tres, etapa que se inicia en el capítulo cuatro con el estudio y análisis para definir los cuerpos formadores según el perfil óptimo, selección del material, construcción y control de calidad.

4. CUERPOS FORMADORES

4.1 GENERALIDADES

El cuerpo formador o rolo es un elemento rígido con la característica fundamental de poseer una superficie tratada térmicamente para garantizar con una dureza elevada ($58 \div 60$ RWC) una resistencia superficial que conserve el perfil de revolución al ataque por fricción y fuerzas de compresión durante el proceso de rebordeado.

El objetivo de el presente capítulo es buscar el cuerpo formador óptimo que permita rebordear la tapa mediante el uso de una estructura, un sistema de transmisión, la rigidez del montaje y la forma constructiva del equipo; así como, mediante un análisis metódico lograr el perfil progresivamente al ir detallando los problemas de contacto, fricción y conformabilidad de la pestaña.

4.2 PERFIL DEL REBORDEADO

4.2.1 Formador Cilíndrico. Para aproximarnos a la selección, se hacen varios pasos de proyección hasta alcanzar una queratriz que merezca el análisis del diseño mecánico de sí mismo, de sus apoyos y elementos estructurales. La primera operación puede ser rebordear el sector de la pestaña como se aprecia en la Figura 11, por la acción de empuje de un cuerpo cilíndrico que a la vez que ejecuta el rebordeado posee movimiento de rotación generado hidráulicamente.

De las apreciaciones que se prestan a un diseño difícil, se tienen: primero, el punto de apoyo basculante debe trasladarse y no precisamente una línea recta; segundo, se presenta deslizamiento del cuerpo formador sobre el material; tercero, la fuerza aplicada para rebordear cambia de dirección 90° con traslación del punto de aplicación sin que sea un movimiento plano uniforme; Cuarto, al perfil no ayuda a continuar, cerrar, bloquear, topetear y dirigir el material; y Quinto, el control de los parámetros de rebordeado se hace complejo y mucho más elaborado, ya que por ejemplo al iniciar el contrato se observa que la velocidad del cilindro formador es igual a lo largo de su generatriz mientras que la velocidad del disco de la chapa tiene una velocidad variable pues es función de su radio, como se esquematiza en la Figura 12.

4.2.2 Formador Cónico. Ahora se busca como camino de solución analizar el cuerpo del formador a través de una generatriz cónica que cumpla con el requisito del perfil de velocidades igual, para eliminar los efectos de fricción de deslizamiento a través de la existencia de velocidades relativas, como era el caso del formador cilíndrico.

Seguidamente se busca la posición del apoyo para el sistema basculante que aplicará la fuerza de empuje a través del formador a la pestaña, y por último se analizará el comportamiento del formador bajo la acción basculante y en sus posiciones extremas; observar la Figura 13, donde se superpone la condición de perfiles de velocidad conjugados para el cono y el disco.

Con el arreglo de la posición inicial el formador cónico cumple con el requisito de perfil de velocidades pero según la Figura 14, se puede preveer que el punto de apoyo para el movimiento basculante presenta los mismos problemas que el formador cilíndrico.

4.2.3 Perfil por Formador al Cierre. Para lograr un avance significativo, invertiremos el sistema y se iniciará ahora como si la posición de partida fuese la del cuerpo formador ubicado al final del conformado. A continuación se genera el movimiento plano hasta la condición inicial, ubicando

previamente el punto de apoyo del cuerpo basculante.

Después de una cuidadosa etapa de proyección y de ajuste de detalles, se ha logrado configurar el perfil a través de los siguientes pasos:

PRIMER PASO

Se dibuja la pestaña en la condición final o rebordeada y a partir de esta curva de conformado AB, se busca su punto medio K y perpendicular a la tangente en este punto se da el diámetro de garganta $\phi G = 200 \text{ mm}$, y de nuevo en el punto medio entre KK, se traza la perpendicular que constituye el eje de simetría del cuerpo formador y está dado por la posición 00.

SEGUNDO PASO

Se trazan las salidas de perfil, las cuales tienen la finalidad de no marcar el material ya que para la entrada el material está sometido a flexión hasta que es empotrado, pisado o fijado por el punto A pero anterior a él existe un contacto previo entre un punto que varía con el calibre entre AeA, (Ae punto de entrada al contacto).

De igual manera cuando el material empieza a curvarse y a desfijarse mas allá del punto P en dirección a B, el último

punto de contacto o de salida es B, a partir del cual el deslizamiento se realiza sobre la superficie cilíndrica del cuerpo formador inferior.

TERCER PASO

Se levanta una perpendicular a la superficie del material en A y que intercepte al eje OO_1 . El punto de cruce de las dos líneas se lleva a cabo en OA, punto que inicialmente determina la ubicación del apoyo basculante del formador inicial; pero se ve que el punto A al girar respecto a OA describe una trayectoria tangente al disco de material en el punto A_1 según la línea AA.

Se quiere ir al cierre de la acción de rebordeado A coincida con A_1 , pero que no presente fricción o marque el material por efecto del empuje.

CUARTO PASO

Se determina que el centro basculante OA, debe ser desplazado en alguna dirección para alcanzar un avance significativo respecto al punto anterior. Se puede decir que hay libertad para desplazarlo, lo cual al observar la figura 15, se diría que esta alineación es restringida? lo es pues se aprecia que si OA se desplaza sobre el eje OO_1 , no hay necesidad de modificar

el perfil que se ha elaborado; y adicionalmente se interpreta según la línea A_1A , que al alejar OA de O , la separación o unión de A con A_1 es inmediata o sin fricción, igual que en aproximación.

QUINTO PASO

Ubicado el centro basculante en O_r a 200 mm de OA , se requiere conocer en que punto se indica el contacto para conocer el ángulo y posteriormente determinar la carrera para la aproximación y el retroceso del cuerpo formador. Para conocer el punto inicial de contacto sobre el cuerpo formador con centro en O_r se traza el arco P_1p , siendo P el punto donde el rolator encuentra el material para iniciar el proceso de rebordeado primeramente por flexión y luego por el efecto combinado del empuje y conformado por el perfil que obliga al material a conducirse a la sección de confinamiento BPKA.CEB.

Al medir el ángulo P_1ORP , da como resultado 18° , pero por facilidad de ubicación del material en los contractores y manejo bajo el formador se tomará 20° , este ángulo es el que se debe girar el eje O_1OR para conocer la posición inicial del rolator de conformado superior.

A esta altura , se ha desarrollado el perfil del cuerpo

formador superior y para el cuerpo formador inferior o de soporte no se tiene problema de perfil pues su superficie debe ser conjugada a la posición de cierre, esto es, cilíndrica con radio de acuerdo según la curva EC.

4.3 ANALISIS DE LA SUPERFICIE DE LOS CUERPOS FORMADORES.

Por la naturaleza del contacto tanto para la flexión como para el arrastre por rodadura se prevee que el cuerpo formador está sometido a un esfuerzo que causa fatiga sobre su superficie.

La rodadura realmente pura no existe en la medida que el elemento encargado de empujar el cuerpo formador ejerza la acción de forma continua, pero desde otro punto de observación cuando su avance se detiene el contacto es de rodadura y el material no se desliza sobre la generativa de rolo. La existencia del movimiento de deslizamiento originado por una fuerza de empuje suficiente crea ;la necesidad de dar mayor margen de confiabilidad ya que la fatiga originada por picadura causada por la fricción presenta una falla a menor número de ciclos de vida.

Aun cuando existen varios criterios sobre la forma de atacar el problema, tales como: esfuerzos Hertzianos, Acabado Superficial, Dureza, Numero de Ciclos, Tipo de Lubricación y Nivel de Temperatura, para el caso presente se dirige la

atención en dirección de la fatiga Hertziana y del grado de dureza dado por tratamiento térmico al acero seleccionado para la construcción del rolator.

A partir del factor carga-esfuerzo, conocido como factor de desgaste, obtenido de las ecuaciones de Hertz, para el rolo definido como cilindro de radio igual al del valor del radio del cuerpo formador en el cual se inicia el contacto y para la chapa el radio inicial.

$$\text{Entonces } b = \frac{2F}{MW} \frac{\frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2}}{\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2}} \quad \frac{1}{2}$$

$$\text{y } P_{\max} = \frac{2F}{Mbw}$$

$$\text{Con : } \mu_1 = \mu_2 = 0,3, \quad d = 2r$$

$$b = 1.077 \frac{F}{w} \frac{\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} \quad \frac{1}{2}$$

Si la presión máxima (P_{\max}), es la carga en la cual se puede iniciar evidentemente la fatiga después de un número determinado de ciclos. Este valor se llama resistencia a la fatiga superficial y se señala por S_c (también conocida como resistencia a la fatiga de Hertz).

$$S_c = \frac{2F}{w}$$

$$S_c = \frac{2F}{\quad \quad \quad}$$

$$3,38 w \frac{F}{W} \frac{1/E_1 + 1/E_2}{1/r_1 + 1/r_2}^{\frac{1}{2}}$$

$$2,86 S_c^2 = \frac{F^2}{\frac{F}{W} \frac{1/E_1 + 1/E_2}{1/R_1 + 1/R_2} W_2}$$

$$2,86 S_c^2 \left[\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right] = \frac{F}{W} \left[\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right]$$

El término de la izquierda de la anterior ecuación, se conoce como factor de carga superficial. Para el caso presente se tiene que diseñar para la superficie de la herramienta (cuerpo formador).

$$K_s = 2.86 S_c^2 \left[\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right]$$

K_s = Factor de carga superficial

S_c = Resistencia o límite a la fatiga superficial

E_1 = Módulo de elasticidad de la chapa.

La resistencia a la fatiga superficial en función de la dureza se calcula a través de la siguiente igualdad obtenida de la información experimental obtenida por pruebas de laboratorio.

$$S_c = 0.4 H_B - 10 \text{ Kpsi}$$

H_B = Número de dureza Brinell

Para determinar este número, primero se selecciona un acero para herramientas, de muy buena templabilidad, para conseguir una dureza superficial alta con buena tenacidad. Entre estos aceros podemos escoger entre un XW-5, un DF2 y un 01, los cuales cumplen estos requisitos y son de suministro fácil en el país.

Es aconsejable para esta aplicación una dureza entre 56 y 58 RWC, que en la escala brinell tiene una equivalencia de 600 NHB

$$S_c = (0.4 (600) - 10) \text{ Kpsi}$$

$$S_c = 230 \text{ Kpsi} = 16204 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Si } E_1 = E_2 = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$K_s = 715,18 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$0.044 = \frac{F}{W} \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}$$

W = La longitud de contacto se tomará la distancia entre el punto inicial de contacto y la salida del rolo, medida sobre la paralela al eje del cuerpo formador. Sobre el plano es de aproximadamente 40 mm.

F = Fuerza aplicada se tomará superior a los límites dados por 1.058 kg, 620 kg, se tomara 3000 kg como fuerza de diseño.

$$r_1 = 12 \text{ cm}$$

$$r_2 = 150 \text{ cm.}$$

Si la anterior se escribe no como falla sino como garantía de funcionamiento para una resistencia mayor a 10^8 ciclos se expresará así:

$$\frac{715.18}{n} = \frac{F}{W} \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

donde n = Factor de seguridad.

$$\begin{aligned} \frac{F}{W} \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} &= \frac{3000 \text{ KG}}{4 \text{ cm}} \frac{1}{12 \text{ cm}} + \frac{1}{150 \text{ cm}} \\ &= 67.5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \end{aligned}$$

$$n = \frac{715.18}{65.5} = 10$$

El eje basculante es un eslabón compuesto ya que debe cumplir dos condiciones a saber:

Primero: Debe transmitir por el cuerpo formador el empuje dado por el actuador hidráulico en la etapa de conformado.

Segundo: Debe girar el cuerpo formador pero no el eje apoyado en el centro de giro del basculador.

Para lograr una solución apropiada se divide el trabajo en las dos etapas anteriores y en c/u de ellas se irán involucrando las soluciones parciales hasta hallar un resultado satisfactorio.

4.4.1 Eje para Empuje del Cuerpo Formador. En relación a la figura 16, se tiene ahora en la siguiente figura 17, la posición real para la condición de cierre o de máxima sollicitación de carga.

$$\Sigma F_x = 300 \cos 45 = R_{AX} \quad \implies \quad R_{AX} = 212.13 \text{ kg}$$

$$\Sigma F_y = -3000 + F_R - 212.13 + R_{AY} = 0$$

$$R_{AY} = 3212.13 - F_R$$

$$\Sigma M_A = 300 (212.13) - 370 F_R + 470 (3000) = 0$$

$$F_R = \frac{300 (212.13) + 470 (3000)}{370}$$

$$370$$

$$F_R = 3983 \text{ kg}$$

$$R_{AY} = -770,7 \text{ kg}$$

Se sabe que la fuerza FR aplicada sobre el material es menor pero para tener un balance seguro y dureza óptima del cuerpo formador se hace la atapa de diseño con este valor.

El eje vasculante no va a transmitir torsión, como se analiza generalmente cuando se diseña un eje. En este caso se trata de una viga sometida a flexión en condiciones cuasiestáticas.

$$= \frac{M}{I/C}$$

$$= 0.5 \text{ SY}$$

Para un acero 4340 bonificado SY = 162 Kpsi = 11414 kg/cm²

$$= 5707 \text{ kg/cm}^2$$

El módulo de la sección Z = I/C

$$\frac{I}{C} = \frac{d^3}{32} = 0,0982 \text{ d}^3$$

Reemplazando, se obtiene:

$$8243,2 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = \frac{300 \text{ kg} \cdot \text{m}}{0,0982 \text{ d}^3}$$

$$d^3 = \frac{300 \text{ m cm}^3 (100 \text{ cm})}{5707 \times 0.0982 (1 \text{ m})} = 53,53 \text{ cm}^3$$

$$d = 3,7687 \text{ cm}$$

Si consideramos un coeficiente de seguridad $n=2$, el diámetro de la viga basculante sería 75,37 mm; pero para soportar el rodamiento intermedio para darle giro motriz al rolo desde el motor hidráulico se tomará el $d= 80 \text{ mm}$.

4.4.2. Giro para el Cuerpo Formador. Para atacar el requerimiento de giro dispondremos el eje basculante de tal manera que por la utilización de dos rodamientos cónicos a rodillos cilíndricos, como aparece en la figura 19, se pueda por un lado roscar en la cabeza de giro basculante que está dispuesta en el muñón o eje de soporte y por el otro lado sujetar el otro rodamiento mediante una copa fijada por perno excéntrico.

5. DISEÑO DEL SISTEMA HIDRAULICO

5.1 CONCEPTOS GENERALES.

Energía: Se requiere una transformación de eléctrica y mecánica mediante el acople del motor a la bomba.

Utilidad: La bomba impulsa el fluido hidráulico para que realice un trabajo ya que sea de traslación o de giro.

Particularmente para el caso de la rebordeadora se necesitan los dos:

Traslación --> Cilindro Hidráulico

Rotación ----> Motor Hidráulico.

Control: Se puede ejecutar de varias formas:

1ro: Por el compensador (externo de la bomba (manual)

2do: Por regulación manual de la válvula de alivio.

3ro: Por acción proporcional sobre la válvula

direccional.

4to: Por acción proporcional sobre la bomba.

Disposición: La unidad hidráulica se selecciona de acuerdo a su capacidad y conformación, como un elemento de norma y suministro nacional, así como el cilindro, el motor hidráulico y elementos de mando y control.

5.2 CIRCUITO HIDRAULICO BASICO.

El circuito tiene dos funciones fundamentales que cumplir:

Primero: El actuador ejerce la acción de empuje sobre el brazo basculante que sirve a su vez de apoyo al rolo superior.

Segundo: Enviar a una rata determinada para que el motor hidráulico produzca un efecto de giro controlado sobre el cuerpo formador, y este a su vez haga girar el material a medida que avanza el rebordeado. En un arreglo global aparecen en la figura 20, los elementos que constituyen la solución básica y que se relacionan a continuación de acuerdo al diseño:

- Cilindro Hidráulico
- Válvula Direccional del cilindro hidráulico.
- Motor Hidráulico
- Válvula Direccional del motor Hidráulico.

- Unidad de Potencia Hidráulica.

5.2.1 Cilindro Hidráulico. De acuerdo a la fuerza máxima de conformado $F = 3000 \text{ kg}$,

$$P = \frac{F}{A}$$

Se sabe que la presión varía y llega a un valor de 3000 PSI, pero generalmente, existe un régimen de presión al cual la bomba trabaja mayor tiempo; para el caso presente se evalúa la solución con una $P = 2000 \text{ PSI}$.

$$A = \frac{3000 \text{ kg} \quad 25,4^2 \text{ mm}^2 \quad 2,2 \text{ lb}}{2000 \text{ lb} \quad \text{plg}^2 \quad 1 \text{ kg}}$$

$$\frac{Dc^2}{4} = 2129 \text{ mm}^2$$

$$Dc = \frac{2129 \times 4^{1/2} \text{ mm}}{3,14,16}$$

$$Dc = 52,06 \text{ mm.}$$

Este valor de diámetro no se encuentra normalizado, por este motivo nos vamos a la tabla , en la cual se encuentran relacionadas todas las dimensiones normalizadas para el

diámetro escogido, $D = 63,5 \text{ mm}$ ($2 \frac{1}{2}$). La única medida que debe ser definida es la carrera, que para el cilindro de la rebordeadora es aproximadamente 166 mm, a la cual se le suplementa un 25% para que el pandeo no se presente y la duración del actuador sea mayor, adicionalmente a lo anterior siempre se debe considerar el final de carrera aisladamente, aquí nunca se debe llegar a él, pues el empujador debe avanzar a no ser que la válvula se lleve al centro o se invierta.

$L = 200 \text{ mm}$. en la figura 19 . Se presentan los accesorios y dimensiones tanto de ellos como del actuador.

5.2.2 Válvula Direccional. La válvula direccional es un elemento que permite seleccionar la salida útil según la posición de su Spool (embolo buzo).

Esta válvula se fundamenta en comunicar una entrada con una salida por medio de ranuras talladas en el Spool. Estas comunicaciones internas conectan presión o tanque con una u otra salida. Para tal efecto se maneja la simbología donde cada cuadro se llama posición, como tiene tres cuadrillos, se denominará de tres posiciones y de cuatro vías pues son las opciones de conexión, esto es, dos servicios mas presión mas tanque. Para comandarla se acciona mediante operación manual, eléctrica (solenoide), neumática (pilotos), e hidráulica (pilotos y remotos).

Fuera de su principal función, la parte que más atención se le presta es el análisis de la posición central, pues existen las siguientes posibilidades:

- Centro abierto
- Centro curvado
- Centro tándem
- Salidas a tanque
- Una salida a tanque

Con las anteriores opciones se debe buscar la mas segura y que en lo posible disminuya el consumo de potencia. Este detalle se determina mas adelante cuando se trate de optimizar el circuito hidráulico.

5.2.3 Motor Hidráulico. Es un actuador que recibe el fluido bajo condiciones de caudal y presión determinadas por las necesidades o régimen de funcionamiento y mediante un cuerpo central cilíndrico, dividido generalmente en siete partes en su periferia, en cada una de las cuales se aloja un rodillo cilíndrico que rueda sobre una camisa de ocho lóbulos mediante un movimiento trocoidal; , origina un giro de salida en el eje del motor caracterizado como valor del tanque.

Para el proyecto de la rebordeadora, se requiere que para los

diámetros y espesores mayores sea la velocidad de giro pequeña, el caudal bajo y la presión razonablemente moderada; que para permitir una ubicación exacta, se transcribe en la tabla los valores de instrumentación dada por uno de los fabricantes importantes en este sector, par un caudal máximo de 67,3 pulgadas entregadas por revolución.

Al analizar el funcionamiento para un caudal de 2GPM tenemos la alternativa extrema para GRPM un torque máximo de 14895 lb-pl, pero si se varía a 7 RPM el tanque es menor pero aceptablemente alto aun para la aplicación en la rebordeadora pero ventajosamente la presión de operación es moderadamente baja (1000 P.S.I.). En la figura 19, aparecen las dimensiones exteriores del motor y de las cotas del flanche.

TABLA 10. Torque y RPM como función del caudal y la presión

Presión P.S.I.	400	600	800	1000	1650
G.P.M. caudal					
2	3300	4606	6722	8591	14895
	7	7	7	7	6
	3420	4780	6923	8835	15000

5	17	17	17	17	16
	2610	4006	5738	8221	14970
10	34	34	33	33	32
	1700	3110	5500	7417	13900
15	51	51	51	51	49
	50	1380	3610	5433	11210
20	68	68	68	68	67

RPM —┘

TANQUE (lb-p1g)

5.2.4. Válvula Direccional del Motor Hidráulico. Aca, puede usarse una válvula direccional similar a la del cilindro hidráulico, en los accesorios externos, la determinación del tipo de centro y los tipos de accionamiento.

5.2.5 Unidad de Potencia Hidráulica. La unidad de potencia hidráulica esta conformada principalmente por:

A - INDISPENSABLES

- Depósito de aceite de 4 galones
- Válvula de alivio o reguladora de presión
- Bomba y motor eléctrico (incluso acople y brida de montaje) -

Manómetro de 500-4500 PSI.

- Filtros de succión y de descarga
- Control visual de nivel

B - NECESARIOS

- Presostato
- Termostato
- Intercambiador de calor

El conjunto A ó el conjunto A + B, es suministrado como equipo de norma para las especificaciones consideradas, en especial por las de la bomba hidráulica que se definirán en el próximo item.

5.3 OPTIMIZACION DEL SISTEMA HIDRAULICO

Aún cuando se pueden utilizar varias modificaciones, se hacen únicamente aquellas que mejoran el funcionamiento y son de implementación económica.

Se utilizará una sola bomba de volumen variada y de presión compensada por la carga, así mismo se utilizará una válvula reductora de presión para diferenciar la presión de trabajo del cilindro (2000 PSI) y la presión de trabajo del motor hidráulico (1000 PSI), como se representa en la figura 21.

6. DISEÑO ELEMENTAL DE LA REBORDEADORA

6.1 LA DISTRIBUCION ESPACIAL.

El desarrollo del proyecto ha permitido retrospectivamente hablando tener una idea primaria del li-out del equipo que se solicita para este tipo de operación.

Como aporte al funcionamiento del equipo se busca una posición en la cual los factores ergonómicos como posición relativa del operario, fácil acceso a los mandos, control visual, control de parámetros (galga patronada), no exijan un esfuerzo mayor al permitido por las normas de seguridad industrial y salud ocupacional.

En la figura 22, se presenta una vista lateral, en la cual se indican en principio las dimensiones ofrecidas para la posición de los apoyos.

Con base en las dimensiones verticales se hace el levantamiento elemento por elemento, iniciando por la

posición del pasador basculante a partir de este eje o parámetro y en la posición curvada se traza el rolo formador para continuar a la representación del actuador hidráulico en su posición extendida mas no el final de carrera; estas anotaciones se deben comparar con el desarrollo gráfico mostrado en la figura 19.

Es evidente que se hará la ubicación de anclaje, ya que los elementos fueron definidos en su forma y tamaño, así como en el aceptar el cuadro de ajustes y tolerancias que se ha transcrito de norma en la tabla , a partir de la acotación nominal.

Seguidamente se dispone la posición perpendicular del actuador con respecto al eje del cuerpo formador al cual va unido en la extensión por la horquilla de pasador desmontable y por la parte posterior se apoya en un cuadrante basculante macho en la estructura y hembra en la culata del cilindro. Al ubicar el apoyo del cilindro se prevee una superficie de apoyo y fácil acceso para montaje e instalación, sobre un cuerpo estructural que internamente asuma la resistencia entre el apoyo del pasador oscilante del cuerpo formador superior y el anclaje posterior del actuador hidráulico; pues de esta manera no se transmiten esfuerzos mas allá de la zona referida.

En la parte siguiente se distribuye la posición horizontal de

Los elementos de soporte y centrado (rolo interior + pizador), así como el sistema de bloqueo y tránsito sobre guías en el rango radio mínimo y máximo.

6.2 BASTIDOR PRINCIPAL.

Se busca diseñar una estructura laminar que presente estabilidad y rigidez óptima para asumir las cargas generadas en el rebordeado sobre el pasador basculante y el apoyo del cilindro hidráulico, utilizando aceros referenciados industrialmente según tabla 11.

Inicialmente se calcula el sector mas débil del cuello de ganso o viga curva en el sector de la garganta, junto al soporte basculante, ya que para contrarrestar los momentos en los apoyos inferiores de comportamiento se dispone un arreglo tronco piramidal.

Este arreglo con respecto al plano de simetría vertical tiene una inclinación de 8.5° para las caras laterales y uso en la dirección frontal hasta el nivel de 400 mm, donde se encuentra la zona de bordeada o de posición del anclaje y guías de los cuerpos formadores inferiores.

Para el sector de la garganta se tiene una disposición transversal FF, aproximada a un dimensionamiento transversal

de 60 (h = altura) por 150 (b = ancho)

El módulo de la sección será:

$$Z = \frac{I}{C}$$

La sección transversal es hueca pero el interés principal es determinar el calibre de la chapa a utilizar en la zona crítica o de garganta.

$$I = I_{\text{ext}} - I_{\text{int}}$$

$$I_{\text{ext}} = \frac{(150)(160)^3}{12}$$

$$I_{\text{int}} = \frac{(150 - 2e)(160 - 2e)^3}{12} \quad \text{Se toma por EJE } e = 12,7 \text{ mm.}$$

$$I = 2,588 \times 10^7$$

C = ? Se debe localizar el eje neutro. Se determina R así:

$$R = \frac{h}{\frac{F_n R_{\text{exterior}}}{R_{\text{interior}}}}$$

$$R = \frac{160}{\frac{L_m}{275}}$$

$$115$$

$$R = 183,5 \text{ mm}$$

$$C = 195 - 183,5 = 11,5$$

Ahora se trata de calcular que factor de seguridad se obtiene en esta sección crítica; se sabe que el esfuerzo en el límite a tensión es:

$$= \frac{M (R - Ri)}{ReA (R - R)}$$

Para el momento se traslada a este punto el efecto de la fuerza que respecto al rolo inferior hace el rolo superior el cual lo transmite al pasador basculante ($F_{max} = 4.9$ Toneladas)

$$M = 0.1m \times 4.900 \text{ kg} = 490 \text{ kgs}$$

$$= \frac{490 \text{ kg} (183.5 - 115) \text{ mm m}}{275 (4064) \text{ mm}^2 (195 - 183.5) \text{ mm mm}} \frac{1.000 \text{ mm}}{1 \text{ m}}$$

Sólo se toma la pared vertical (2x(n x 12,7))

$$= 2,61 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \times \frac{100 \text{ mm}^2}{\text{cm}^2}$$

$$= 261 \text{ kg/cm}^2$$

Realmente parece que esta exagerando el valor de esfuerzo resistente v/s fatiga en la garganta pero el diseño debe prever la reacción por fricción que el rolo inferior, pues se incrementa de tal forma que hay que garantizar que si eventualmente queda bloqueado el giro para el material el rolo deslizará; pero el par creado por el motor hidráulico no incidirá por torsión en esta sección.

Tanque del entregado por motor hidráulico: 14895 lb.
pulgada.

$$T = \frac{14895 \text{ lb} - \text{plg}}{2.2 \text{ lb}} \frac{1 \text{ kgf}}{1 \text{ plg}} \frac{2.54 \text{ cm}}{100 \text{ cm}} \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}}$$

$$T = 172 \text{ kgm}$$

$$F_{\text{fricción (frenado)}} = \frac{T}{R_p = 0.15 \text{ m}}$$

$$F_f = \frac{172 \text{ kg m}}{0.15 \text{ m}}$$

$$F_f = 1147 \text{ kg}$$

El momento torzor en la sección FF será:

$$M_t = F_f R_{45}$$

$$M_t = 1147 \times 0.45 \text{ kg} - \text{m}$$

$$M_t = 516 \text{ kg} - \text{m}$$

El esfuerzo de torsión será:

$$= \frac{q}{e}$$

q = Flujo cortante, aún cuando hay concentrador en las esquinas se tomará constante.

$$q = \frac{M_t}{2A}$$

Area total de la sección, que para el caso presente será:

$$A = (2L_1 + 2L_2) e$$

L_i = línea media

$$A = [2 (150 - 12,7) + 2 (160 - 12,7)] 12,7$$

$$A = 7229 \text{ mm}^2$$

$$= \frac{M_e}{2AR}$$

$$= \frac{516 \text{ kg} - \text{m}}{2 \times 7229 \text{ mm}^2 \times 12,7 \text{ mm}} \frac{(1000 \text{ mm})(100 \text{ mm})}{(1\text{m}) (1 \text{ cm}^2)}$$

$$= 280 \text{ kg/cm}^2$$

Sobre la resistencia de lámina o chapa de acero 1020 con

$$\text{aceptable} = 0.5 R_f$$

$$a = 0.5 \times 1680 \text{ kg/cm}^2$$

$$a = 840 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = \frac{840}{280}$$

$$n = 3$$

El incremento en la sección realmente presenta una solución óptima, a la vez que se aclara que se pueden emplear procesos iterativos para el cálculo tanto del flector como del torsor, lo cual se hace fácil asumiendo un valor y ajustándolo a un valor seguro de diseño.

6.3 BASAMENTO DE CUERPOS FORMADORES Y SOPORTES INFERIORES.

Se busca en esta ocasión un sistema que fije la carga y adicionalmente permita la flexibilidad para radios comprendidos entre 400 mm y 1500 mm; para lograrlo buscamos una disposición simétrica de guías para anclar localizadamente por contratuerca los soportes, lo cual se puede analizar en la figura 25.

7. CONCLUSIONES

Cada trabajo que se desarrolla, así se conozca, se haya hecho, y más aún en nuestro caso, trae muchas enseñanzas y cambios de actitud frente a la responsabilidad de una tarea profesional.

- Antes de desarrollar cualquier actividad, se debe comprender cuál es la necesidad objeto del proyecto.
- Seguramente se deberá revisar la información técnica y tecnológica antes de decidir cualesquiera acción.
- De las posibilidades técnicas no se debe buscar la más desarrollada sino la más apropiada a las circunstancias que delimiten el problema.
- Se debe intentar y repetir el camino de la solución con paciencia, observación detallada y consistencia, con la seguridad de mejorarla en cada intento, hasta lograr un equilibrio real entre lo que se exige y lo que se ofrece ya

como alternativa aceptable.

- Considerar y atender cada iniciativa o concejo de ingenieros de mejor experiencia en cada campo en el cual se deba manejar un proyecto.

- Perseguir la información sobre dónde y quién conoce el tema central de un trabajo: bibliotecas, empresas, asociaciones y asesorías.

- Seguir con la voluntad de conocer más de la profesión cada vez que regresamos a la CUTB, buscar en su facultad de nuevo su apoyo y enseñanza.

8. RECOMENDACIONES

Como es lógico, las recomendaciones que se van a expresar se hacen consciente de nuestra incipiente experiencia, si puede llamarse así, después de enfocar el diseño de una manera nueva que al iniciar el proyecto no intuíamos.

- Es conveniente desarrollar proyectos de este tipo de doble responsabilidad, tanto con una empresa importante (IMEC LTDA) así como la CUTB, para que de esta integración se logren ver las posibilidades al transitar de la institución que nos educa hacia una entidad privada que brinda su apoyo y experiencia.

- Para pasar de la concepción delimitada por condición de análisis matemático al análisis físico práctico, en el cual no saber cómo y cuánto ha logrado de la solución, sino hasta el final, es necesario ir a investigar los problemas técnicos en una empresa en los desarrollos que se realizan.

- Solicitar información de origen industrial que permita saber "cómo es?", "qué origina los proyectos", etc, al interior de

Las plantas industriales de la ciudad.

- Conocer mejor las normas técnicas, pues en realidad se encontró que sólo calculan las sesiones y elementos críticos no normalizados.

- Crear si es posible, un taller de tratamientos térmicos, para tener más argumentos técnicos para analizar una pieza como el rolo formador superior desde el punto de vista de condiciones mejoradas de la superficie.

BIBLIOGRAFIA

ALTING, Leo. Procesos para Ingeniería de Manufactura. 1a. ed. México: Alfa-Omega, 1990. p. 300-315.

ASKELAND, Donald. Ciencia e ingeniería de los materiales. Iberoamericana, 1988. p. 280-290

ASME. Hand-book - Metals Engineering: Processes. New York: McGraw-Hill, 1978. p. 150-170.

BAUMEISTER. Theodore y AVELLONE, Eugene A. Ciencia e Ingeniería de los Materiales. 8a. ed. México: McGraw-Hill, 1984. p. 220-235.

BEMEGAN, M.I. & AMSTEAD, B.H. Procesos de manufacturas. New York: Wiley, 1969. p. 221-223.

CURSO DE HIDRAULICA para la formación profesional. Manual de Festo. Cartagena: Litomar, 1990. 70 p.

COOK, N.H. - ADISON - WESLEY. Análisis de proceso de manufactura. Massachusetts, 1966. p. 150-160.

GERE, Hemeit M. y TIMOSHENKO, Spepen. Mecánica de Materiales. Iberoamericana, 1980. p. 250-270.

LASHERAS, José. Procedimiento de fabricación. Vol. 1. No.1. 4a. ed. Barcelona: Cedeñ, 1992. p. 80-90.

MACHINER'S HANDBOOK. 19 ed. New York: Press, 1973. p 170-175.

MERIAN, J.L. Mecánica II: Dinámica. México: Reverté,

1965. p. 80-110.

SHIGLAY, Joseph Edward y MISCHKE, Charles R. Diseño en Ingeniería Mecánica. 5a. ed. México: McGraw-Hill, 1984. p. 220-240.

SINGER, Ferdinand. Mecánica para Ingeniero Segunda Parte Dinámica. 3a. ed. México: Harlasa, 1977. p. 170-210.

VAN NOSTRAND, D. Mechanical Processing of Materials. Princeton, N.J., 1967. p. 120-122.

ANEXO A. Componentes neumáticos e hidráulicos.

ANEXO B. Perfil U PN

