

T
670
HUR



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción

Diseño De Matrices Para Curvar Un Tubo Metálico De 4 Pulgadas De Diámetro - Cédula 80



TESIS DE GRADO

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

Presentada por:

Fernando José Hurtado Yunes

GUAYAQUIL – ECUADOR



Año: 2003



D-32617

AGRADECIMIENTO



A mi familia, que sin su apoyo no hubiera sido posible el desarrollo de esta Tesis. A los ingenieros Ernesto Martínez, Director de Tesis, Alfredo Torres y Eduardo Orcés, Vocales, y todas las personas que de alguna manera que me brindaron su colaboración en el desarrollo de la presente. Mi gratitud especial al Dr. Rolando Marín.

DEDICATORIA

A MI MADRE

MARIANELA

RENATA

VALERIA

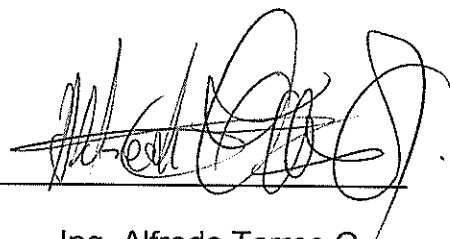
TRIBUNAL DE GRADUACION



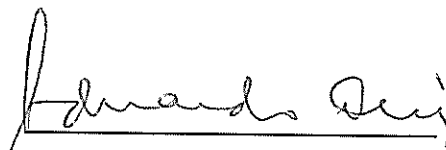
Ing. Francisco Andrade S.
DECANO (E) DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Ing. Ernesto Martínez L.
DIRECTOR DE TESIS



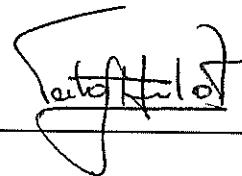
Ing. Alfredo Torres G.
VOCAL



Ing. Eduardo Orcés P.
VOCAL

DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”



Fernando Hurtado Yunes

RESUMEN

La presente Tesis se basa en un trabajo realizado en la Empresa en donde me desempeñé como Gerente de Planta, la cual es líder en realizar trabajos de metalmecánica y se especializa en trabajos en láminas de acero en diferentes calidades; fue creada en el año 2001 y está ubicada en la zona industrial de la vía a Daule de Guayaquil.

La Planta está dividida en dos áreas:

Area de Servicios, en la cual se realizan una amplia variedad de trabajos sobre láminas como por ejemplo fabricación de: canales especiales, paneles, conos, tanques, perfiles metálicos rolados, corte en pantógrafo con oxi-acetileno y con plasma, troquelados, etc.; y,

Area de producción en línea, la que involucra producción de perfiles (canales tipo "U" y correas tipo "G"), alisamiento y corte de planchas.

Siendo una Fábrica que brinda servicios a grandes empresas de la construcción, la calidad de sus trabajos permiten que sea considerada como participante en la ejecución de los mismos.

El problema, tema de la presente Tesis, es el de construir un juego de matrices y adaptarlas a una máquina existente para poder curvar tubos de 4 pulgadas de diámetro, cédula 80, ASTM A 53 a un radio de curvatura especificado por el Cliente, ya que en el medio no existen Planta o equipos

que realicen este trabajo, el lugar más cercano es la ciudad de Quito, encareciendo el costo debido al transporte del material y de los tubos curvados.

Se realizaron cálculos necesarios para determinar la potencia requerida para efectuar este trabajo, comprobando que la potencia de máquina seleccionada es suficiente para este proceso; luego se procedió a diseñar el juego de matrices que permite obtener lo deseado.

Después de seleccionar el material para las condiciones de trabajo que se establecieron para este contrato, se maquinaron las matrices en los talleres propios de la Empresa.

Después de la instalación de las matrices y los ajustes necesarios en la máquina, se logró realizar el trabajo, y cumplir con el objetivo propuesto.



INDICE GENERAL

RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	IV
SIMBOLOGIA.....	V
INDICE DE FIGURAS.....	VI
INDICE DE TABLAS.....	VII
INDICE DE PLANOS.....	VIII
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO 1	
1. MAQUINA ROLADORA DE PERFILES METALICOS.....	5
1.1 Métodos de Trabajo de Metales.....	6
1.2 Principio de Curvado.....	10
1.3 Potencia, Torque y Velocidad.....	12
1.4 Regulación de Distancia entre Ejes y Operación.....	13
1.5 Aplicaciones.....	15
CAPITULO 2	
2. DEFINICION DEL PROBLEMA.....	17
2.1 Necesidad de Curvar Tubería Ø4" Cédula 80.....	17

2.2	Matrices Existentes.....	18
2.3	Alternativas de Ejecución.....	19

CAPITULO 3

3.	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LOS RODILLOS.....	21
3.1	Análisis de Distancias entre Ejes.....	21
3.2	Análisis del Radio de Curvatura.....	31
3.3	Propiedades y Aplicaciones Generales del Tubo de 4" – Cédula 80.....	41
3.4	Cálculos de Resistencia.....	46
3.5	Determinación de la Potencia Requerida.....	76
3.6	Selección de Materiales.....	77
3.7	Fabricación de Rodillos.....	84
3.8	Montaje y Ajustes en la Máquina.....	88
3.9	Proceso de Curvado.....	92
3.10	Análisis de Costos.....	99
4.	ANALISIS DE RESULTADOS.....	102
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	108

APENDICES

BIBLIOGRAFIA

ABREVIATURAS

A	Amperio
C	Carbono
Cr	Cromo
Cu	Cobre
h	Hora
HP	Caballo de Fuerza
HRC	Grado de Dureza Rockwell
HZ	Ciclos por Segundo
Kg	Kilogramo
KN	Kilonwton
KW	Kilovatios
m	Metro
min	Minuto
Mn	Manganeso
mm	Milímetro
Mo	Molibdeno
Mpa	Megapascal
N	Newton
Ni	Níquel
P	Fósforo
p.s.i.	Libra por purgada al cuadrado
rad	Radián
RPM	Revoluciones por Minuto
S	Azufre
Seg,s	Segundo
Si	Silicio
Ton	Tonelada
V	Voltio, Vanadio
W	Vatio
°C	Grado Celsius
\$	Dólar Americano



SIMBOLOGIA

a	Ancho
c	Distancia del Eje Neutro a la Superficie Exterior del Tubo
D_{ext} , D_{e-tub}	Diámetro Exterior del Tubo
D_{int}	Diámetro Interior del Tubo
D_{n-a}	Diámetro Neutro del Anillo
D_{i-a}	Diámetro Interior del Anillo
F_{11} , F_{12} , F_{22}	Fuerzas por Unidad de Longitud en las Diferentes Direcciones
F_{min} , F_{max}	Fuerzas Principales por Unidad de Longitud
H	Potencia en Vatios
I	Momento de Inercia
j_1, j_2, \dots, j_n	Nodos
Lú	Longitud Util
Lú-tot	Longitud Util Total
Lr-tot	Longitud Real Total
M	Momento
M_{11} , M_{12} , M_{22}	Momentos por Unid. de Longitud en las Diferentes Direcciones
M_{min} , M_{max}	Momentos Principales por Unidad de Longitud
N_n	Número de nodos que conforman los dos extremos del tubo
N_{tub}	Número de Tubos
P	Carga Aplicada
P_{esp}	Peso Específico del Acero
P_n	Carga por Nodo
P_r	Peso de Rodillo
R_o	Radio Exterior del Rodillo
T	Torque
\emptyset	Diámetro
σ	Esfuerzo
"	Pulgada



INDICE DE FIGURAS



Figura 1.1.	Máquina Curvadora de Perfiles.....	5
Figura 1.2.	Fuerzas Ejercidas por los Ejes Sobre los Rodillos.....	11
Figura 1.3.	Sistema de Regulación de Altura del Eje Superior.....	13
Figura 1.4.	Juego de Piñones Pivotados.....	15
Figura 2.1.	Matrices Existentes.....	18
Figura 3.1.	Dimensiones del Tubo.....	24
Figura 3.2.	a) Diagrama de Cuerpo Libre, b) Diagrama de Fuerzas Cortantes, c) Momento Flector.....	25
Figura 3.3.	Aplicación de Dos Cargas Iguales y Opuestas, Tangenciales Al Rodillo.....	27
Figura 3.4.	Vista en Corte de un Rodillo de Curvado.....	32
Figura 3.5.	Zona de Contacto con el Tubo.....	36
Figura 3.6.	Distribución Perimetral de Nodos.....	47
Figura 3.7.	Distribución de Nodos.....	47
Figura 3.8.	Cascarón Cuadrilátero de Cuatro Nodos.....	48
Figura 3.9.	Tubo Modelado con Membranas Cuadriláteros.....	48
Figura 3.10.	Distribución de la Carga P/34 para cada Extremo.....	50
Figura 3.11.	Numeración de Nodos y Aplicación de las Cargas en uno de los Extremos del Tubo.....	51
Figura 3.12.	Distribución Nodal en L/2 del Tubo.....	53
Figura 3.13.	Esfuerzos y Fuerzas de Cascarón.....	57
Figura 3.14.	Momentos en el Cascarón.....	58
Figura 3.15.	Distribución de Membranas en uno de los Extremos del Tubo.....	60
Figura 3.16.	Visualización de los Esfuerzos de Von Mises en Zona Adyacente a L/2, en la Parte Superior del Tubo.....	62
Figura 3.17.	Visualización de los Esfuerzos de Von Mises en Zona Adyacente a L/2, en la Parte Superior.....	63
Figura 3.18.	Matrices Montadas. Se Observan los Discos de Apoyo.....	65
Figura 3.19.	Orientación de la Matriz con Respecto a los Ejes Coordinados.....	66
Figura 3.20.	Conformación de un Elemento Sólido de Ocho Nodos.....	67
Figura 3.21.	Direcciones de los Esfuerzos.....	68
Figura 3.22.	Sección en la se Indica la Distribución de Nodos.....	68
Figura 3.23.	Esfuerzos de Von Mises en la Matriz.....	73
Figura 3.24.	Detalle de la Distribución de Esfuerzos de Von Mises.....	74
Figura 3.25.	Distribución Transversal de Esfuerzos de Von Mises.....	75
Figura 3.26.	Pantógrafo Optico Efectuando Operación de Corte.....	87
Figura 3.27.	Desmontaje de Rodillos para que los Ejes Queden Liberados.....	91
Figura 3.28.	Ejes Libres, Listos para Realizar Montaje.....	91



Figura 3.29.	Matrices Montadas.....	92
Figura 3.30.	Introducción del Tubo para Iniciar el Proceso.....	96
Figura 3.31.	Introducción del Tubo Lateralmente.....	97
Figura 3.32	Tubo Trasladándose de un Extremo a Otro.....	98
Figura 4.1	Esfuerzos en la Zona de Compresión del Modelo Curvo del Tubo.....	103
Figura 4.2	Esfuerzos en la Zona de Tensión del Modelo Curvo del Tubo.....	104
Figura 4.3	Esfuerzos Resultantes al Aplicar Carga 2 P en el Modelo de Tubo Curvo.....	106

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Equipos Instalados.....	1
Tabla 1.1.	Datos de Placa del Motor Eléctrico Principal.....	12
Tabla 1.2.	Aplicaciones Comunes de la Roladora de Perfiles.....	16
Tabla 3.1.	Características del Acero ASTM-A-53-A.....	43
Tabla 3.2.	Aceros para Fabricación de Tubería.....	44
Tabla 3.3.	Medidas Estandarizadas de Tubos.....	45
Tabla 3.4.	Tolerancias en la Fabricación de Tubos.....	45
Tabla 3.5.	Reacciones en lo Nodos de Apoyo (Kg).....	64
Tabla 3.6.	Características de Aceros Especiales.....	79
Tabla 3.7.	Dimensiones y Pesos de Rodillos.....	100
Tabla 3.8.	Costos por Unidad de Medida.....	100
Tabla 3.9.	Periodo de Operación.....	100
Tabla 3.10.	Costos de Transportación del Material.....	101
Tabla 3.11.	Costos Totales de Fabricación.....	101
Tabla 4.1	Reacciones en el Rodillo Superior con 2 P como Carga Aplicada.....	105

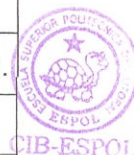


INTRODUCCION

La Empresa fue constituida en el año 2001 con la finalidad de crear el centro de servicios más completo del país. Se adquirieron máquinas en su totalidad de segunda mano, en buen estado, y a un costo muy bajo para poder entrar en competitividad con las empresas existentes en aquella época.

Máquina	Cantidad	Operación	Rango
Guillotina	4	Corte de planchas	0,45 - 19,05 mm.
Plegadora	2	Plegado de bandas	0,45 - 25,40 mm.
Alisadora	3	Alisado de planchas	0,45 - 19,05 mm.
Curvadora de Planchas	3	Curvado de planchas	0,45 - 25,40 mm.
Curvadora de Perfiles	1	Curvado de perfiles	-
Pantógrafo Optico	2	Oxicorte y Plasma	0,50 - 150 mm.
Torno	2	Varios	400 mm.
Fresadora	1	Varios	-
Rectificadora	1	Rectificado	500 mm.
Roscadora	1	Roscado	6,35 - 25,40 mm.
Aserradora alternativa	1	Corte varios	-
Aserradora sierra cinta	1	Corte varios	-
Slitter	1	Corte de bobinas	Hasta 3,00 mm.
Perfiladora	1	Conformado de perfiles	Hasta 3,00 mm.
Puente Grúa	5	Traslado de material	Hasta 20 Ton.

TABLA 1. Equipos Instalados



CAPITULO 1

1. MAQUINA ROLADORA DE PERFILES METALICOS

El presente capítulo tiene como objetivo describir la máquina para comprender y resolver el problema. La descripción será de manera breve, ya que un análisis completo de ésta sería motivo para elaborar otra Tesis. Se expondrán las características básicas tales como principio de curvado, potencia, torque, sistema de reducción, etc.

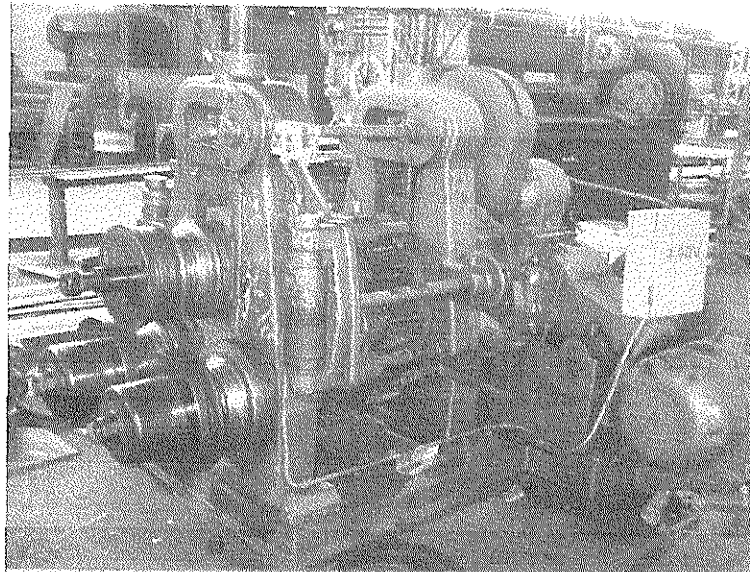


Figura 1.1. Máquina Curvadora de Perfiles

1.1 Métodos de Trabajo de Metales

Existen muchos tipos de procesos para fabricar piezas y su selección depende netamente de las propiedades de las mismas, y éstos pueden ser clasificados de siguiente manera:

Procesos sin Desprendimiento de Viruta

Son procesos de fabricación de elementos, partes o piezas cuyos procesos de producción requieren de operaciones de maquinado simple, por deformación plástica del material.

Dentro de este grupo se encuentran los siguientes procesos:

Fundición.

Formado en frío y en caliente.

Metalurgia extractiva.

Metalurgia de los polvos.

Operaciones básicas: para este tipo de proceso se consideran entre las principales: corte, doblado, cilindrado, troquelado, estampado, prensado, soldado, remachado.

Materia prima: piezas fundidas, estampadas, troqueladas y materiales preelaborados (láminas, perfiles, tuberías), materiales eléctricos, polímeros, resinas y madera, entre otros.

Maquinaria y/o herramientas básicas: equipos de soldadura general (MIG-TIG), cortadora (cizalla, plasma, oxi-fuel, laser), prensa, curvadora, cilindradora, estampadora, ; matricería en general (punzones, troqueles, rodillos, moldes, etc.); tijeras, puntos, escuadras, compás, etc.

Procesos que Provocan Desprendimiento de Viruta

Son procesos de fabricación de elementos, partes o piezas que requieren operaciones de maquinado con arranque de viruta (desbaste) y por lo general se requiere un mayor grado de precisión.

Operaciones básicas: desbaste o arranque de viruta (torneado, fresado, taladrado, roscado, cepillado, pulido, etc.), corte de material (serrado).

Materia prima: piezas fundidas, troqueladas, forjadas, prensadas en diversas formas, elementos preelaborados (tubos, lingotes, láminas, perfiles), polímeros y resinas.



Maquinaria y/o herramientas básicas: Torno de desbaste o precisión, taladro (de árbol, banco o de mano), cortadora (sierra de cinta, de disco o de hoja), fresadora, cepillo, limadora, rectificadora, roscadoras, cuchillas, piedras de desbaste, fresas, buriles, brocas, sierras, limas, buriles, herramientas de mediciones tradicionales tales como micrómetro, calibrador Vernier, roscas, etc.).

Procesos para Acabar Superficies

Este proceso se lo puede realizar por dos vías: 1) fabricando elementos, partes o piezas que requieren operaciones de maquinado por desprendimiento de viruta de alta precisión en los cuales intervienen equipos de medición electrónicos o electromecánicos; y, 2) por recubrimiento superficial, para lo cual no se necesita gran precisión y más bien este proceso obedece a una necesidad de dar una protección anticorrosiva al material.

Operaciones básicas: torneado, fresado, taladrado, cepillado, limado, rectificado y pulido. Para recubrimientos superficiales pueden considerarse la metalización que es un proceso de recubrimiento de la superficie de un material con una fina capa metálica. Existe gran variedad de procedimientos: desplazamiento químico, revestimiento electrolítico, inmersión en metal fundido, etc. (cromado, zincado, fosfatamiento, cadmiado, rodiado, etc.).

Materia prima: Los materiales que pueden ser sometidos a desbaste son: piezas fundidas, troqueladas, forjadas en diversas formas. Polímeros, resinas, materiales eléctricos. El recubrimiento se les aplica a piezas terminadas por protección anticorrosiva o simple acabado.

Maquinaria y/o herramientas básicas: torno de alta precisión, taladro de árbol, fresadora, cepillo y cortadora de precisión, segueta mecánica, herramienta y equipo de alta precisión. Adicionalmente, se puede contemplar máquinas computarizadas.

Para el recubrimiento se puede lograr por medio de procesos eléctricos o térmicos.

Ensamble de Materiales

Es el ensamble y/o montaje de partes y piezas mecánicas, componentes eléctricos y electroquímicos.

Operaciones básicas: cuando el armado de elementos o piezas se lo hace con el fin de desacoplarlo en un futuro, se denomina ensamble temporal. Por el contrario cuando el armado de los elementos es definitivo, sin opción a desacoplarlo, se denomina ensamble permanente.

Procesos para Cambiar las Propiedades Físicas de los Materiales

Este proceso se lo logra mediante tratamientos de orden térmico, fisicoquímico o electroquímicos a elementos o partes de materiales ferrosos o no ferrosos.

Operaciones básicas: limpieza de pieza y preparación del tratamiento.

Materia prima: piezas fundidas, troqueladas, forjadas, prensadas en diversas formas(perfiles, láminas, lingotes y tubos), elementos preelaborados y no preelaborados.

Maquinaria y/o herramientas: químicos, cubas electrolíticas, hornos.

1.2 Principio de Curvado

Para lograr curvar un elemento se requieren dos acciones: la fuerza necesaria para originar la deformación plástica del material; y, el desplazamiento continuo de ésta a lo largo material para lograr un curvado parejo.

La primera acción se logra soportando el material en dos apoyos y aplicando una carga entre ellos, suficiente para causar una

deformación permanente; las cargas, tanto la aplicada como las de las reacciones en los apoyos son transmitidas por medio de rodillos (herramienta) cuyo diseño depende estrictamente de la forma del elemento a curvar.

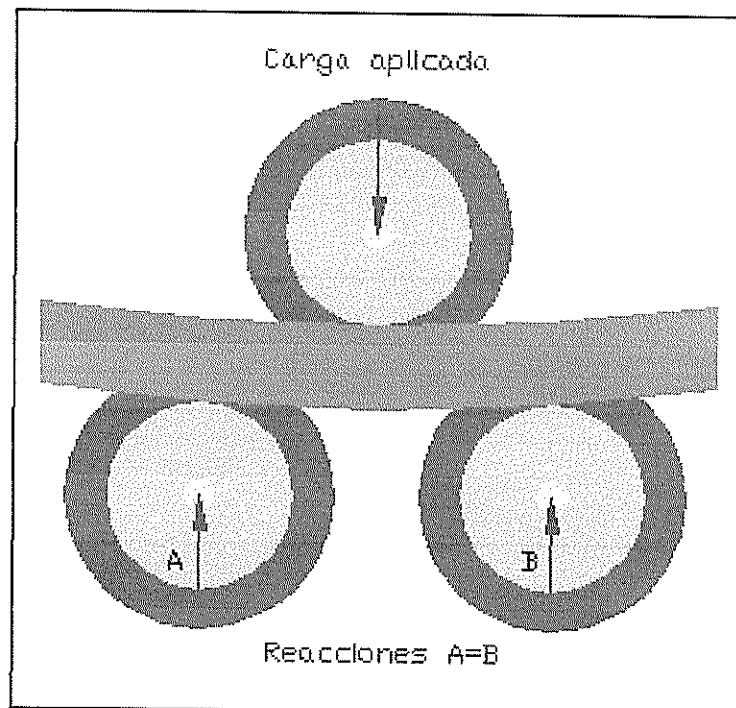


Figura 1.2. Fuerzas Ejercidas por los Ejes Sobre los Rodillos

La segunda acción se logra por medio de la rotación de los rodillos que desplazan al material entre los puntos de aplicación de las cargas, haciendo que ésta se desplace gradual y homogéneamente sobre el elemento.

1.3 Potencia, Reductor de Velocidad y Torque

Por ser maquinaria usada no existen datos del equipo, la máquina no trajo ningún catálogo y no se encontró ningún tipo de placa o información para su identificación; se desconoce la marca y se supone que es de procedencia norteamericana por cuanto fue comprada en un patio de máquinas usadas en los Estados Unidos. Por su apariencia esta máquina no debe tener menos de 30 años.

Por fortuna, el motor eléctrico presenta placa y se espera que no haya sido cambiado por otro que no obedezca a las características de diseño de la máquina.

POTENCIA	25 HP
VOLTAJE	440 V.
AMPERAJE	31,50 A.
VELOCIDAD	1200 R.P.M.
CICLOS/SEG	60 HZ

Tabla 1.1. Datos de placa del motor eléctrico principal

La reducción de velocidad se la efectúa por medio de un tren de engranajes rectos, teniendo de 400 a 1 la relación de reducción entre el motor eléctrico y los ejes porta-herramientas. Esto hace que el torque nominal del motor eléctrico que es de 152.23 N-m. se

Cuando se ha finalizado el montaje de los rodillos, se introduce el perfil entre ellos y se comienza a presionar gradualmente por medio del rodillo superior. Una vez dado un grado de fuerza inicial, se enciende el motor principal para hacer girar los ejes y que el material se desplace de una punta a la otra para generar una curvatura continua. Posteriormente se repite la misma acción en sentido inverso y sucesivamente el mismo ciclo varias veces hasta llegar a la curvatura deseada. Al no haber tablas ni escalas para poder regular la altura del eje superior, es la experiencia del operador la que determina el número pasadas y la regulación paulatina que le da, primero para lograr la curvatura deseada y, segundo para no sobrecargar la máquina.

El control de la curvatura se lo realiza por medio de una plantilla con la que se compara el radio de curvatura mientras se está procesando el material. Cuando está terminado el proceso se realiza una última comprobación por medio de un trazado en el piso en escala uno a uno y en totalidad de la medida.

La máquina no tiene sistema de precurvado para los extremos por lo que existirá aproximadamente una longitud de 250 mm. de desperdicio o material no curvado en cada uno.

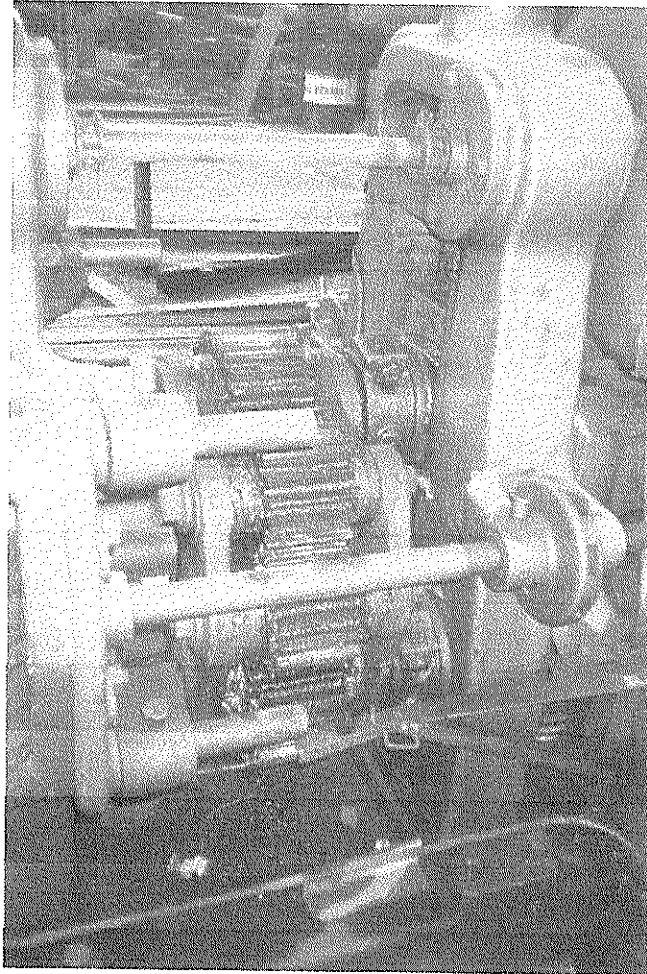


Figura 1.4. Juego de Piñones Pivotados

1.5 Aplicaciones

Existen muchos tipos de trabajos que se pueden realizar en este tipo de roladora, contando desde trabajos singulares como curvar una varilla para fabricar un volante para abrir una llave de paso de alto

caudal, hasta trabajos comunes como la fabricación de bridas, en todo caso la siguiente tabla menciona los más comunes.

Es importante la experiencia del operador de la máquina puesto que este proceso tiene dos situaciones delicadas; la primera es no generar una sobrecarga por avance excesivo del rodillo superior; y la segunda es tener la precaución de no dar avance más allá de la curvatura deseada, puesto que de suceder esto, resulta sumamente difícil, por no decir imposible, enderezar el perfil curvado, creando un serio problema, pérdida del material.

PRODUCTO FINAL	MATERIAL ROLADO
Refuerzo superior para tanques	Angulo laminado en caliente
Bridas	Platina, ángulo laminado en cal.
Estructuras metálicas curvas	Canales, ángulos, UPN, IPE, HEB
Riel curvo	IPE, UPN
Varillas curvas para pilotes de cemento	Varillas corrugadas
Polea para banda plana	Platina

Tabla 1.2. Aplicaciones Comunes de la Roladora de Perfiles.

CAPITULO 2

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En este capítulo se expondrán los argumentos que nos llevan a definir el problema.

2.1 Necesidad de Curvar Tubería Ø4" Cédula 80

El Cliente requiere curvar cuatro tubos de acero ASTM A 53, de 4" de diámetro, cédula 80 (espesor = 0.337" [8.56 mm.]), con un radio de curvatura interior de 3,413 mm.

El Cliente como contratista local consulta con los diferentes talleres existentes en la ciudad de Guayaquil, siendo nuestra Empresa la que confirma que puede realizar dicho trabajo y procede a presentar la oferta.

Sobre la base de este costo, el contratista cotiza y programa la ejecución de un trabajo en el que se utilizarían estos tubos para formar un anillo distribuidor de un fluido a 1200 p.s.i. y 70 °C.

El Cliente inició los trabajos y los tubos llegaron a nuestra Planta para ser curvados, siendo en este momento que se consulta con el área de producción creándose un conflicto, del que por prestigio ofrecimos responsabilizarnos

2.2 Matrices Existentes

Todas las matrices existentes de la máquina curvadora de perfiles están diseñadas para trabajar vigas tales como ángulos, UPN, HEB, IPE, etc.

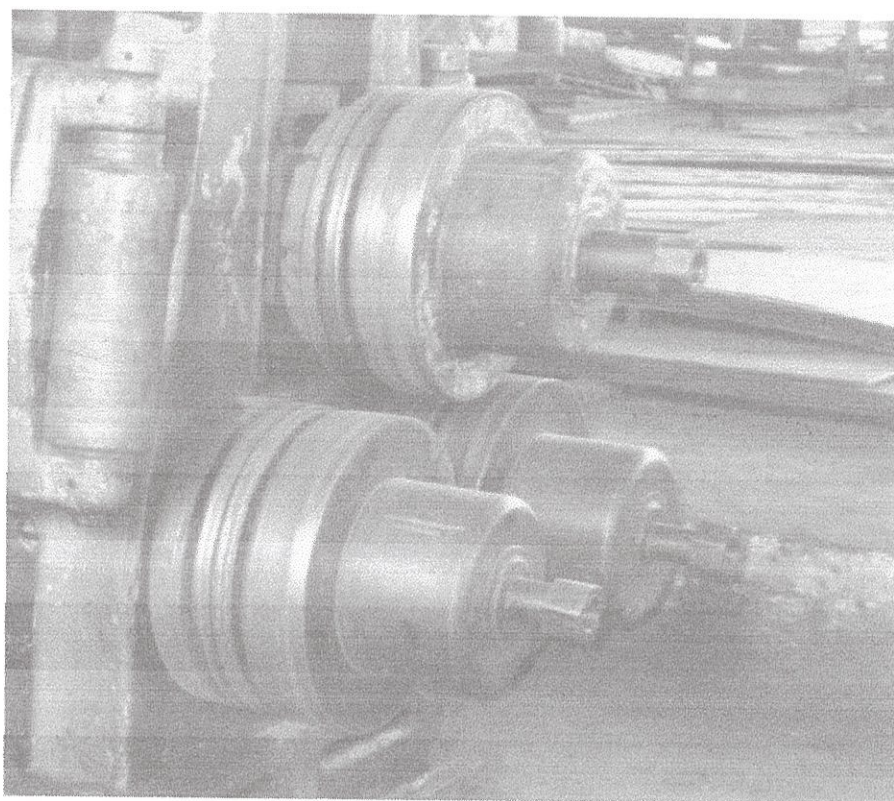


Figura 2.1. Matrices Existentes



Son rodillos rectos y bajo ningún punto de vista técnico se podría curvar un tubo con ellas ya que la superficie de la matriz debe ajustarse con la del tubo para evitar que éste se deforme cambiando su perfil de circular a oval.

2.3 Alternativas de Ejecución

Dentro de las posibilidades de solución era encontrar otra empresa que pudiera realizar este tipo de servicio. De lo investigado localmente, el resultado fue totalmente negativo, la mayor matriz que se encontró era para tubo de Ø3" y cédula 40 por lo que el problema no tendría solución a menos que se construyera un juego de matrices para lo solicitado. Tuvimos la información de una empresa en Quito que podía realizar el curvado, pero esto implicaba costos adicionales como el transporte de los tubos y la movilización de por lo menos una persona con sus respectivos viáticos y sobretodo el tiempo de entrega, ya que existían trabajos en espera.

Por la poca cantidad de tubos a curvar, fabricar el juego de matrices resultaría costoso, considerando que la posibilidad de que llegue un trabajo similar era muy remota. El valor monetario de este trabajo debería al menos totalizar el proceso más la fabricación de matrices, pero como ya lo se lo había mencionado anteriormente, el valor se

cotizó como si hubieran existido matrices para este trabajo, es decir costo del proceso más las utilidades estimada para la Empresa.

CAPITULO 3

3. DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LOS RODILLOS

En este capítulo se analizarán factores que ayudarán a determinar las dimensiones de los rodillos, de tal manera que cumplan con las condiciones mínimas para realizar este trabajo; hay que recalcar que se necesitan costos y tiempos fabricación mínimos.

3.1 Análisis de Distancias entre Ejes

Este objetivo se logra primero midiendo las distancias entre los centros de los ejes, conociendo de esta manera las distancias máxima y mínima que alcanza el eje superior con respecto a los dos ejes inferiores que son fijos.

Ya que los ejes están a la vista y son asequibles, existe una gran facilidad para realizar esta medición; esta distancia se puede medir

con instrumentos tan elementales como con una cinta métrica o regla.

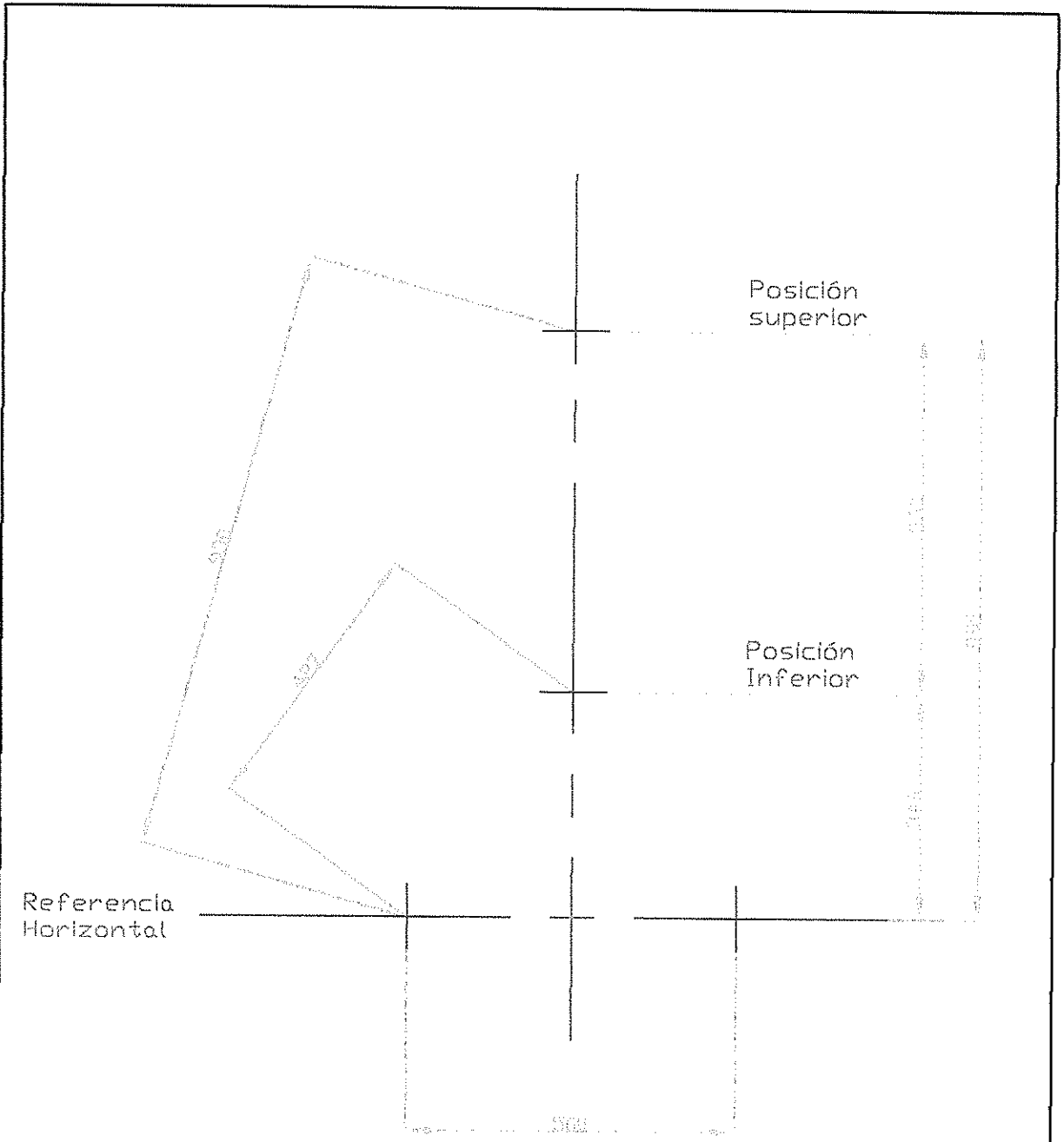
Ya en la práctica, para medir esta distancia se tomó como plano de referencia el plano horizontal que corta longitudinalmente por el centro a los dos ejes inferiores, y regulando el eje móvil en sus dos posiciones limitantes, inferior y superior, se procedió a determinar las distancias, teniendo como resultado 346 y 896 mm. respectivamente (ver Plano No. 1).

También se midió la distancia entre los dos ejes fijos (inferiores) midiéndola con una cinta, teniendo 500 mm. entre centros.

Con estos datos se pueden realizar tanto un cálculo preliminar de resistencia como un cálculo de la cantidad de tubo necesaria para este trabajo.

También se necesita saber si la máquina tiene el suficiente torque para poder desplazar al tubo deformándolo entre los rodillos. Para esto se necesita antes que nada conocer que fuerza es requerida para deformar plásticamente al tubo.

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (3.1)$$



FIMCP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
		Dibujó	F. Hurtado
PROYECTO: DISEÑO DE MATRICES PARA CURVAR TUBO METALICO DE Ø4 - CEDULA 80		Revisó	Ing. Martínez
		PLANO No: 1	
	ESCALA:	CONTIENE: Distancias entre ejes en posiciones límites	
	1:10	MATERIALES:	
		MASA (Kg)	

$$I = \frac{\pi (D_{ext}^4 - D_{int}^4)}{64} \quad (3.2)$$

siendo:

I = Momento de Inercia Máximo

D_{ext} = Diámetro Exterior del Tubo

D_{int} = Diámetro Interior del Tubo

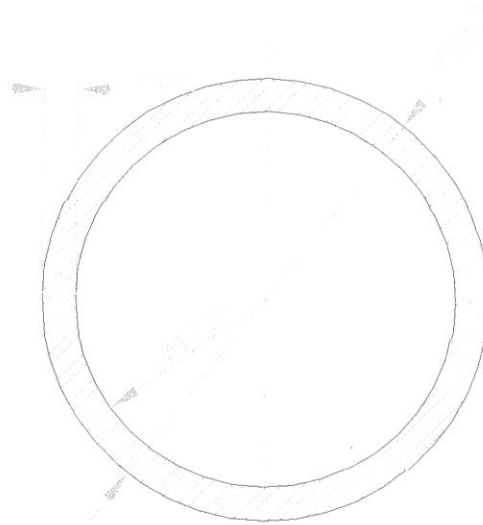


Fig. 3.1. Dimensiones del Tubo

De esta manera,

$$I = \frac{\pi (0.1143^4 - 0.09718^4)}{64}$$

$$I = 4.00E+10^{-6} \text{ m}^4$$

Para determinar el torque que se requiere para curvar el tubo, se grafica el rodillo superior y el vector correspondiente a la carga aplicada necesaria para deformar el mismo. Posteriormente, se le añaden un par de vectores de carga iguales y opuestos, aplicados tangencialmente al rodillo de tal manera que se genera un momento que es equivalente al torque necesario.

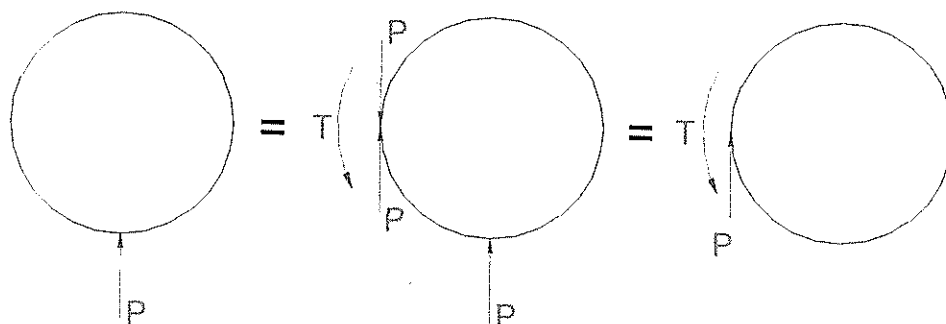


Fig. 3.3. Aplicación de Dos Cargas Iguales y Opuestas, Tangenciales al Rodillo.

Para efecto de tener una idea de que la máquina tendrá la capacidad de cumplir con este trabajo, se calcula el torque en condición extrema con relación al radio de rodillo, tomándose el radio mayor del rodillo (R_0) para este efecto.

$$T = P \times R_0 \quad (3.5)$$

$$T = 11,468.53 \times 0.25$$

$$T = 2,867.13 \text{ Kg-m } \checkmark$$

Según las características de la máquina, analizadas en el Capítulo 1, el torque en los ejes es de 6,088 Kg-m, por lo tanto cumple satisfactoriamente con los requerimientos de potencia necesaria para efectuar el trabajo.

Por otro lado, la necesidad del Cliente es curvar 24.40 metros de tubo de 4" pulgadas de diámetro, cédula 80, con un radio de curvatura interior de 3,413 mm. En la práctica, los 24.40 metros corresponden a 4 tubos de 6.10 metros cada uno, los cuales una vez curvados y unidos mediante proceso de soldadura eléctrica por sus extremos deberán formar una circunferencia de 6,826 mm. de diámetro interior. Se debe recordar que en los extremos de cada tubo se pierden aproximadamente 250 mm. debido a que la máquina no tiene un sistema de precurvado, por lo que es necesario hacer la siguiente formulación:

$$L_u = L_{tot} - 0.50 \quad (3.6)$$

En donde:

L_u = Longitud útil

$$L_{tot} = \text{Longitud de tramo de tubo}$$

Reemplazando,

$$L_u = 6.10 - 0.50$$

$$L_u = 5.60 \text{ m}$$

Por lo tanto,

$$L_{u-tot} = (N_{tub}) (L_u) \quad (3.7)$$

En donde:

L_{u-tot} = Longitud útil total de tubo

N_{tub} = Número de tubos

Reemplazando,

$$L_{u-tot} = 4 \times 5.60$$

$$L_{u-tot} = 22.40 \text{ m}$$

La longitud total que en realidad necesita el Cliente se calcula en base al diámetro neutro del anillo que se quiere formar con los tubos; considerando que el diámetro exterior del tubo es 4-1/2" (114.30 mm.) se tiene:

$$D_{n-a} = D_{i-a} + D_{e-tub} \quad (3.8)$$



En donde:

D_{n-a} = Diámetro neutro del anillo

D_{i-a} = Diámetro interior del anillo (necesidad del Cliente)

D_{e-tub} = Diámetro exterior del tubo

Reemplazando,

$$D_{n-a} = 6.8260 + 0.1143$$

$$D_{n-a} = 6.940 \text{ m}$$

$$L_{r-tot} = \pi \times D_{n-a} \quad (3.9)$$

En donde:

L_{r-tot} = Longitud real total

Reemplazando,

$$L_{r-tot} = \pi \times 6.940 \text{ m}$$

$$L_{r-tot} = 21.803 \text{ m}$$

Para cubrir la necesidad de material se debe cumplir:

$$L_{ú-tot} \geq L_{r-tot} \quad (3.10)$$

$$22.400 \text{ m} \geq 21.803 \text{ m} \checkmark$$

Por lo tanto, la cantidad de tubos proporcionada por Cliente será suficiente para formar el anillo.

3.2 Análisis del Radio de Curvatura

Se parte de que se va a realizar un trabajo económico y que probablemente no se va a repetir, lo que dirigirá a construir los rodillos más convenientes para este trabajo, en este caso los más pequeños que nos permita la geometría de la máquina, es decir, alcanzar la curvatura deseada sin que entren en contacto los elementos de la máquina antes de lograrla.

La geometría del rodillo es predefinida por la forma que debe tener para alojar al tubo y poder rotar.

Se tienen todos los datos para poder dibujar los centros de los ejes fijos y las posiciones límites inferior y superior del centro del eje móvil. De esta manera, se puede graficar los ejes porta-matrices que son los que determinan los diámetros interiores de los rodillos, y así poder determinar gráficamente las distancias entre ellos y tener un rango para la selección de diámetros.

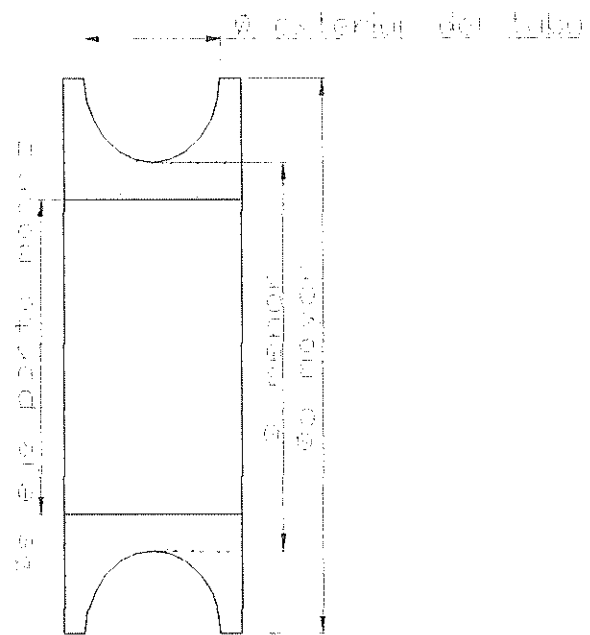


Figura 3.4. Vista en Corte de un Rodillo de Curvado

Una vez dibujados los centros y los ejes porta-matrices, se puede determinar que para la posición límite inferior del eje móvil la distancia entre los diámetros exteriores de los ejes es de 230 mm. y para la posición límite superior es de 733 mm., ésta última se la proporciona como dato informativo solamente, ya que debido a la altura a la que se desplaza no afectará el diseño de los rodillos (ver Plano No. 2).

Si se considera diseñar los rodillos con el menor diámetro posible, se tendrá que el diámetro menor del rodillo es igual al diámetro del eje porta-rodillo superior, es decir, 108 mm. Graficando se tendrá que el rodillo superior en su posición límite inferior no llegará a topar al tubo, puesto que antes van a entrar en contacto los platos que forman parte de la estructura de la máquina (ver Plano No. 3), por lo tanto queda descartada este planteamiento.

De otra manera, si se considera la opción de diseñar con el mayor diámetro posible, habrá que tomar en cuenta la distancia existente entre centros de los ejes inferiores, que es 500 mm., por lo que el diámetro de los rodillos no podrá exceder este valor, y habría que analizar si habrá la suficiente penetración del rodillo móvil para curvar el tubo con el radio deseado y la masa de acero empleada.

Solo para efecto comparativo y si se considera el ancho del rodillo en la parte en donde entra en contacto con el tubo se tiene que el peso es:

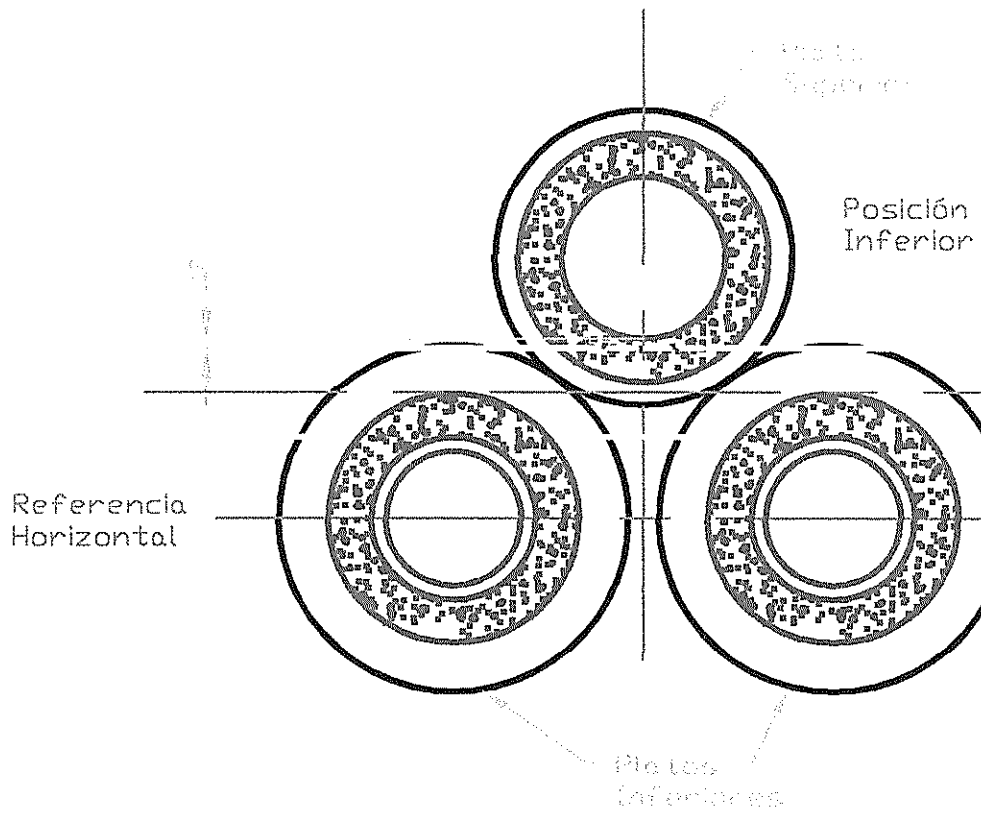
$$P_r = \pi (R_o)^2 (a) (P_{esp}) \quad (3.11)$$


En donde:

P_r = Peso de un rodillo

R_o = Radio exterior del rodillo

P_{esp} = 7,850 Kg/m³ (peso específico del acero)



FIMCP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
		Dibujó	F. Hurtado
PROYECTO: DISEÑO DE MATRICES PARA CURVAR TUBO METALICO DE Ø4 - CEDULA 80		Revisó	Ing. Martínez
		PLANO No:	
 ESCALA: 1:10		3	
MATERIALES:			

juego de rodillos que tenga como diámetro menor 51 mm. más grande que el diámetro del eje porta-rodillo, lo que significa un diámetro menor de 267 mm. y un diámetro mayor de 381.30 mm. Este aumento se lo hace para dejar una capa entre el eje porta rodillos y la cavidad en donde se amolda el tubo, esto le dará mayor resistencia a la matriz. (ver Plano No. 5).

Después del análisis gráfico (ver Plano No. 6) se ha verificado que con estas dimensiones mínimas se puede rolar el tubo con el radio de curvatura e inclusive se puede llegar a obtener un radio mínimo de 687 mm. Si se compara de manera similar la masa de acero empleada en la zona de contacto del tubo con el rodillo se tendrá:

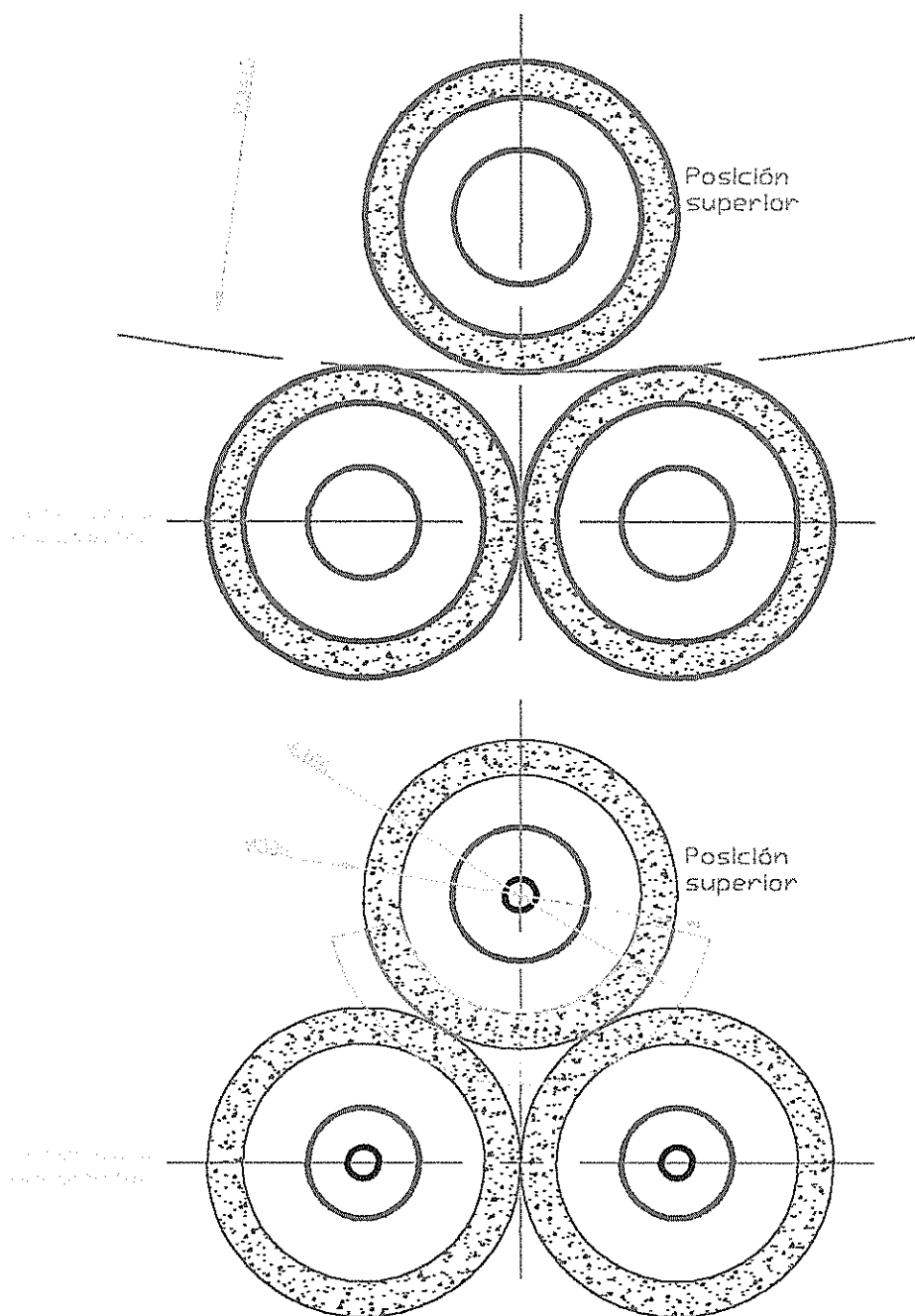
$$P = \pi \times 0.1905^2 \times 0.1143 \times 7,850$$

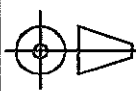
$$P = 102.30 \text{ Kg}$$

Si se estima para los tres rodillos:

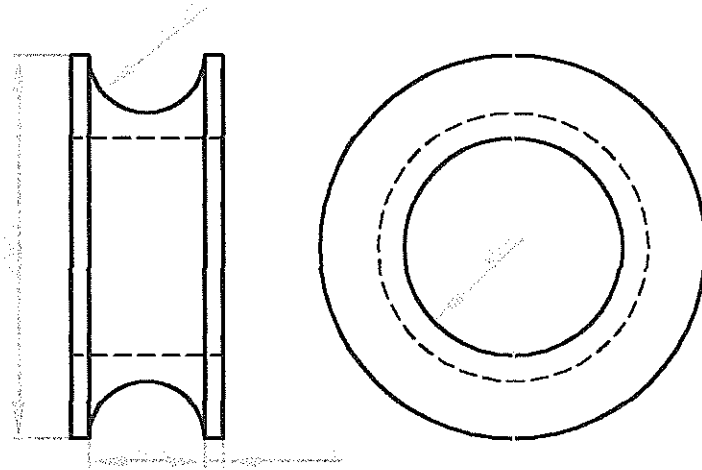
$$P = 306.90 \text{ Kg}$$

El peso disminuye en un margen del 41.93% y la fabricación se podrá hacer con mayor versatilidad y menores costos. Se puede entonces partir con estas dimensiones preliminares que si cumplen con el análisis de resistencia podrían convertirse en las definitivas .

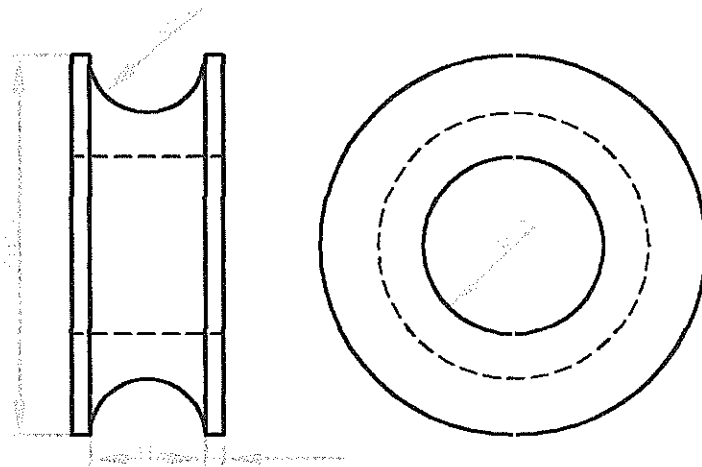


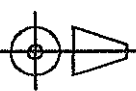
FIMCP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
		Dibujó	F. Hurtado
PROYECTO: DISEÑO DE MATRICES PARA CURVAR TUBO METALICO DE Ø4 - CEDULA 80		Revisó	Ing. Martínez
		PLANO No:	
 ESCALA: 1:12		4	
		CONTIENE: Análisis de distancias para curvar tubo. MATERIALES:	
		MASA (Kg)	

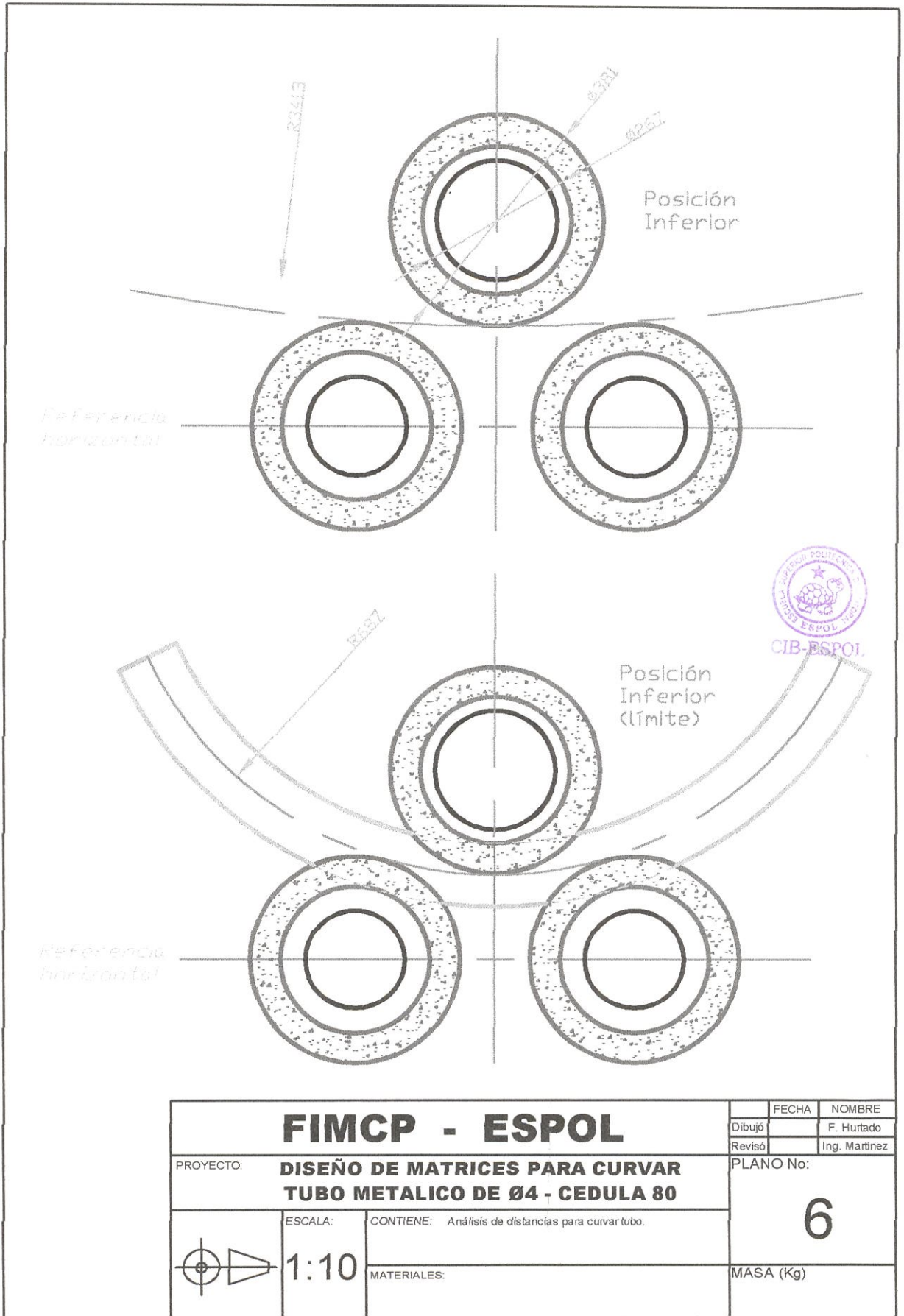
RODILLO SUPERIOR




RODILLOS INFERIORES



FIMCP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
		Dibujó	F. Hurtado
PROYECTO: DISEÑO DE MATRICES PARA CURVAR TUBO METALICO DE Ø4 - CEDULA 80		Revisó	Ing. Martínez
		PLANO No:	
 ESCALA: 1:7.5		5	
		CONTIENE: Dimensión preliminar de juego de rodillos MATERIALES:	



FIMCP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
		Dibujó	F. Hurtado
PROYECTO: DISEÑO DE MATRICES PARA CURVAR TUBO METALICO DE Ø4 - CEDULA 80		Revisó	Ing. Martínez
		PLANO No:	
 ESCALA: 1:10		6	
MATERIALES:			

- b) Si el acero es para fabricar tubería que será galvanizada, se recomienda un silicio de 0.06% máximo para incrementar la adherencia.
- c) En la mayoría de los aceros para la fabricación de tubería se establece un convenio entre fabricante del acero y el fabricante del tubo, ya que el acero al transformarse en tubo se incrementan o disminuyen sus propiedades mecánicas dependiendo de los siguientes factores dependientes entre si: espesor, diámetro de tubería, adición y cantidad de microaleantes y proceso establecido por el fabricante de la tubería.

Por tal razón los valores de la prueba de tensión son meramente de base.

- d) Los grados equivalentes son:

API 5L Gr. A: similar en propiedades mecánicas y composición química.

ASTM A-A83-C: Acero al carbono manganeso estructural, adecuado para fabricar viga soldada y tubería estructural similar en propiedades mecánicas y composición química.

Laminados en Caliente																	
Aceros para fabricación de tubería de conducción, soporte y revestimiento - Rollo																	
Especificación ASTM A-53-A																	
Grado de Acero	Composición Química (Máx. peso)											Requerimientos Físicos					
	C Máx.	Mn Máx.	P Máx.	S Máx.	Si Máx.	Co Máx.	Cu Máx.	Cr Máx.	Ni Máx.	V Máx.	Db Máx.	Esesor	Límite de Fluencia Mín. (5)	Resistencia a la Tensión (6)	Elongación % Mín.		
												Pulg.	(ksi)	(MPa)	(%)	EN 8 ¹⁾	EN 2 ¹⁾
ASTM A-53-A	0.25	0.95	0.050	0.045	(3)	0.40	---	0.080	0.40	0.40	0.15	0.070	30	48	N/A	35 (6)	
												0.500	12.7	330			
Prueba de Impacto CVN																	
Espesor (Inch.)	Temperatura de Prueba °C	Prueba de Impacto CVN			Prueba de Doblez			Dureza (RB)									
		Temperatura de Prueba	Promedio Mín. en 3 Pruebas (Pulg. (milímetros))	Promedio Mín. Individual (Pulg. (milímetros))	Angulo = 180°	Longit. (Inch.)	Transv. (Inch.)										
		NO APLICA			SOLO COMO REQUERIMIENTO SUPLEMENTARIO			N/A									

Grados equivalentes:
API 5L Gr. A
ASTM A-483-C

Tabla 3.1. Características del Acero ASTM-A-53-A

Hay una amplia variedad de aceros para fabricación de tubería; a continuación se presenta una tabla en la que se describen algunos tipos:

Especificación	Composición Química (% Máximo)							Límite Elástico Ksi Mín.	Última Tensión Ksi Mín.	Descripción y Uso Final
	C	Mn	P	S	Cb	V	Mo			
API 5L-A	0.20	1.10	0.035	0.035	-	-	-	30	50	Tubería de conducción baja resistencia.
API 5L-B	0.20	1.15	0.035	0.035	-	-	-	35	60	Tubería de conducción media resistencia.
API 5L X-42	0.16	1.20	0.025	0.020	-	-	-	42	61	Tubería de conducción media resistencia.
ASTMA-252-C	0.20	1.10	0.035	0.035	-	-	-	35	60	Tubería de baja resistencia.
ASTMA-53-A	0.25	0.95	0.050	0.045	-	0.080	0.40	30	48	Tubería de baja resistencia.
ASTMA-53-B	0.30	1.20	0.050	0.045	-	0.080	0.15	35	60	Tubería de media resistencia.
API 5L X-46	0.16	1.20	0.025	0.020	0.050	0.06	-	46	64	Tubería de media resistencia.
API 5L X-52	0.15	1.25	0.025	0.020	0.050	0.06	-	52	66	Tubería de alta resistencia.
API 5L X-56	0.15	1.35	0.025	0.020	0.050	0.06	-	56	68	Tubería de alta resistencia.
API X-52-GA	0.10	1.05	0.020	0.005	0.050	0.06	-	52	66	Tubería de alta resistencia para servicio Gas Amargo.
API 5L X-60	0.15	1.50	0.025	0.020	0.050	0.06	-	60	76	Tubería de alta resistencia.
API 5L X-65	0.15	1.60	0.025	0.020	0.050	0.06	-	65	78	Tubería de alta resistencia.
API 5L X-70	0.15	1.60	0.025	0.020	0.050	0.06	0.25	70	83	Tubería de alta resistencia.
API X-60-GA	0.10	1.10	0.025	0.005	0.050	0.06	-	60	75	Tubería de alta resistencia para servicio Gas Amargo.
API X-65-GA	0.10	1.05	0.020	0.005	0.050	0.06	0.20	65	78	Tubería de alta resistencia para servicio Gas Amargo.

Tabla 3.2. Aceros para Fabricación de Tubería.

Las dimensiones de los tubos también se encuentran estandarizadas y están sujetas a tolerancias de fabricación tanto en el espesor del material como en el diámetro exterior.

Tubo Estándar Cédula 80				
Medida nominal del tubo	Diámetro exterior pg. (mm.)	Diámetro interior pg. (mm.)	Espesor de la pared pg. (mm.)	Peso Lbs/pie (Kg/m)
				Extremos lisos
1/8	405 (10.29)	215 (5.46)	095 (2.41)	.31 (.46)
1/4	540 (13.72)	302 (7.67)	119 (3.02)	.54 (.81)
3/8	675 (17.15)	423 (10.74)	126 (3.20)	.74 (1.10)
1/2	840 (21.34)	546 (13.87)	147 (3.73)	1.09 (1.63)
3/4	1.050 (26.67)	742 (18.85)	154 (3.91)	1.47 (2.19)
1	1.315 (33.40)	957 (24.31)	179 (4.55)	2.17 (3.24)
1-1/4	1.660 (42.16)	1.278 (32.46)	191 (4.85)	3.00 (4.47)
1-1/2	1.900 (48.26)	1.500 (37.10)	200 (5.08)	3.63 (5.41)
2	2.375 (60.33)	1.939 (49.25)	218 (5.54)	5.02 (7.48)
2-1/2	2.875 (73.03)	2.323 (59.00)	276 (7.01)	7.66 (11.42)
3	3.500 (88.90)	2.900 (73.66)	300 (7.62)	10.25 (15.28)
3-1/2	4.000 (101.60)	3.364 (85.45)	318 (8.08)	12.51 (18.65)
4	4.500 (114.30)	3.826 (97.18)	337 (8.56)	14.98 (22.33)
5	5.563 (141.30)	4.813 (122.25)	375 (9.53)	20.78 (30.98)
6	6.625 (168.28)	5.761 (146.33)	432 (10.97)	28.57 (42.60)
8	8.625 (219.08)	7.625 (193.68)	500 (12.70)	43.39 (64.69)

Tabla 3.3. Medidas Estandarizadas de Tubos.

Diámetro exterior	Sobre Pg. (mm.)	Bajo Pg. (mm.)
1/8" to 1 1/2"	1/64" (0.40)	1/64" (0.40)
2" y mayores	1%	1%
Espesores del tubo	15%	12.5%

Tabla 3.4. Tolerancias en la Fabricación de Tubos

3.4 Cálculos de Resistencia

Para realizar los cálculos pertinentes de resistencia se ha utilizado como asistencia al programa de cálculo SAP90, basado en análisis de elementos finitos.

Según lo tratado en el Subcapítulo 3.1 y bajo las condiciones establecidas, se determinó la carga máxima que soporta el tubo sin que éste sufra una deformación plástica, es decir, en teoría se espera que cualquier carga superior a ésta va a causar una deformación permanente, que es justamente el efecto deseado. Pero el problema no radica solamente en determinar lo dicho anteriormente, sino también, inspeccionar el comportamiento del tubo desde un punto de vista tridimensional y qué reacciones se generan al estar en contacto con la matriz.

Como primer paso, se procedió a modelar el tubo que se desea curvar, utilizando elementos tipo Cascarón (Shell). Para propósito de esta Tesis se la denominará en adelante Membrana. Se aplicaron 1836 juntas o nodos (joints), los cuales se distribuyeron de la siguiente manera:

- a) 36 nodos distribuidos simétricamente, en la circunferencia neutra del tubo para definir su perímetro.
-

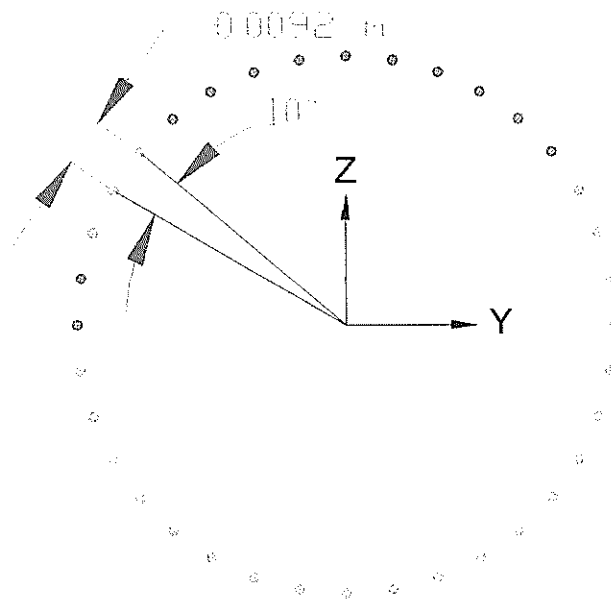


Fig. 3.6. Distribución Perimetral de nodos

- b) 51 nodos distribuidos longitudinalmente a lo largo del tubo separados 0.0100 metros.

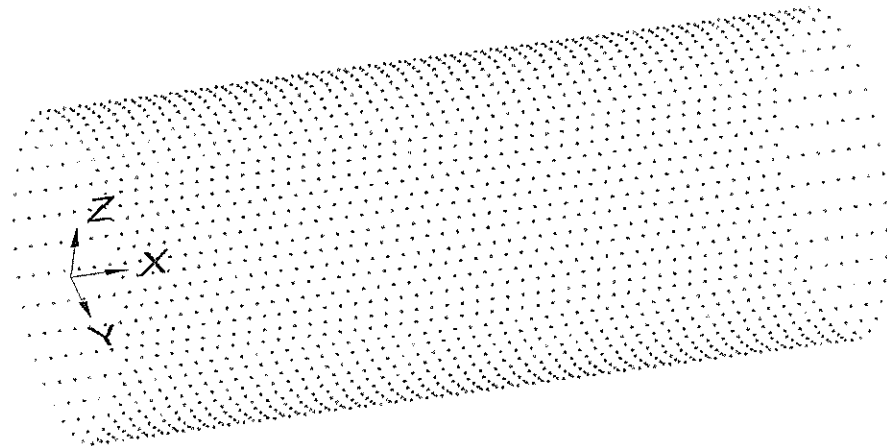


Fig. 3.7. Distribución de Nodos

- c) 1800 Membranas Cuadriláteras, en donde j_1 - j_2 están definidos en la dirección X (Eje 1). El eje 2 corresponde al eje coordenado Y, y el eje 3 corresponde a Z.

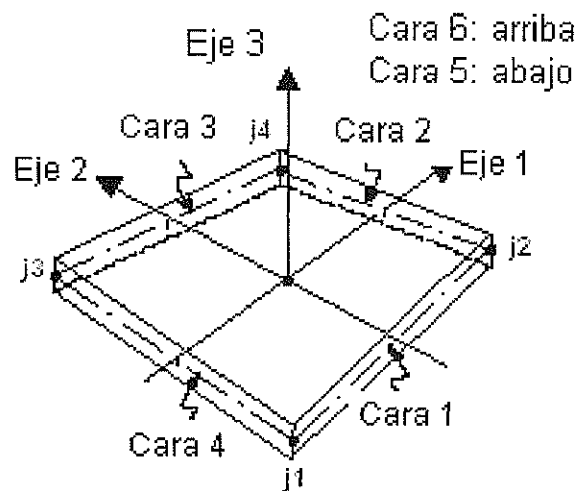


Fig. 3.8. Membrana Cuadrilátera de Cuatro Nodos

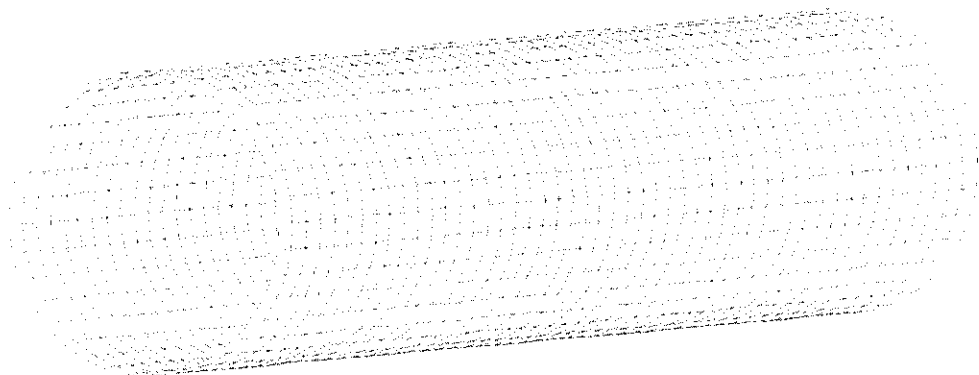


Fig. 3.9. Tubo Modelado con Membranas Cuadriláteras

Ya generado el modelo el siguiente paso es aplicar las cargas y aplicar los grados de libertad en los apoyos mediante las Restricciones (Restrains). En la práctica la carga P es aplicada por medio de la matriz superior en la mitad del tubo y en las inferiores se generan las reacciones $P/2$, por lo tanto el análisis será enfocado a la matriz superior que es la realiza el trabajo crítico con relación a las inferiores.

Hay dos parámetros que hacen crítica a la matriz superior:

- a) Carga aplicada P : es el doble que la de las matrices inferiores, y;
- b) Dimensiones: el diámetro del eje porta-matriz superior de la máquina, por razones de diseño, es mayor que el de los inferiores, por lo tanto, el diámetro interior de la matriz superior es mayor que los inferiores, lo que la hace menos resistente.

Para facilitar el análisis y aprovechando la simetría, se analizará el problema enfocándolo como que las reacciones $P/2$ en los extremos son las cargas aplicadas, y en la matriz superior es en donde se generan las reacciones resultantes; esto ayudará a obtener directamente estas reacciones.

Las cargas $P/2$ serán aplicadas en dirección positiva del eje Z y en la primera circunferencia en los extremos del tubo.

Las cargas serán distribuidas en los nodos que se encuentran en el eje negativo de Z., que es donde actúan las matrices inferiores.

Se asumirá que las distancias entre los puntos de aplicación de las cargas y las reacciones son suficientemente grandes para que la deformación causada en plano Z-Y no influya entre ellas.

Puesto que se va a analizar el rodillo superior, se asumirá que las cargas $P/2$ aplicadas en los extremos están distribuidas homogéneamente, por lo tanto, se tiene que para 17 nodos para cada extremo, la carga será $P/34$.

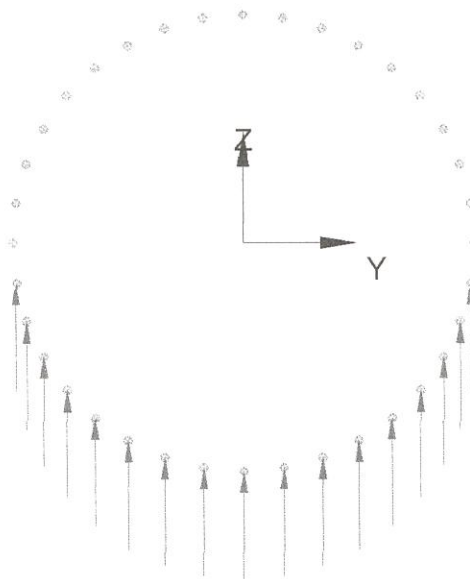


Fig. 3.10. Distribución de la Carga $P/34$ para cada Extremo

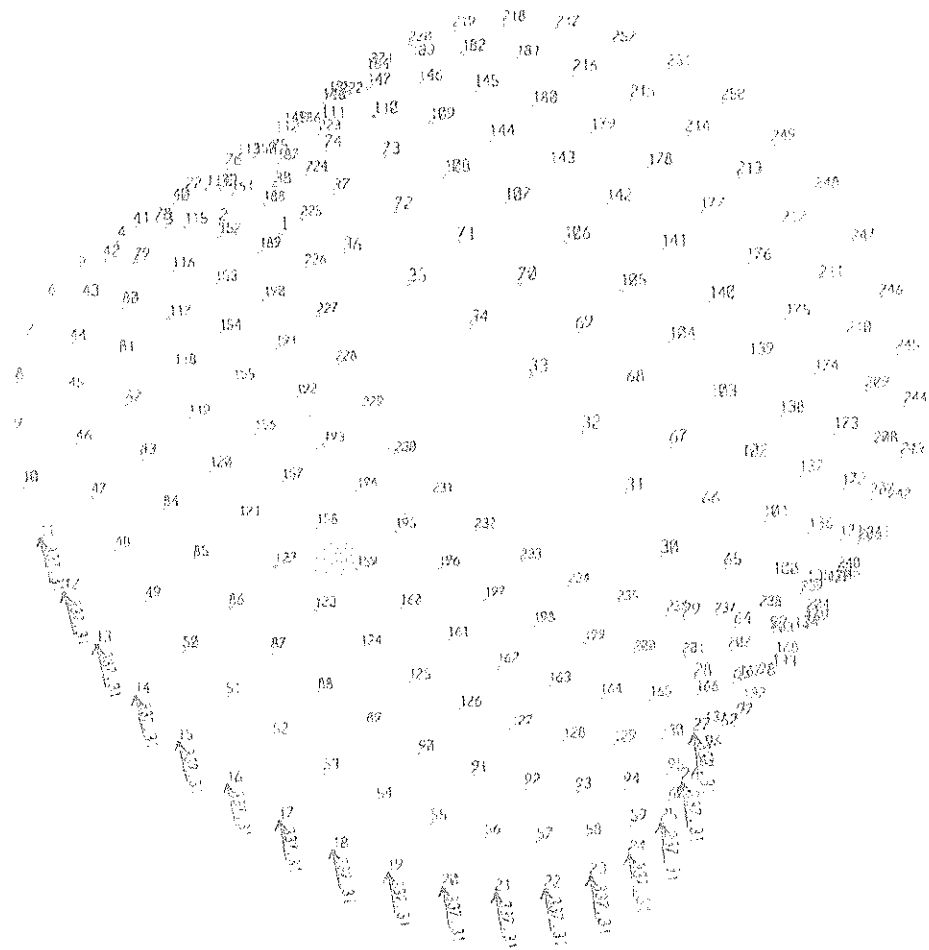


Fig. 3.11. Numeración de Nodos y Aplicación de las Cargas en uno de los Extremos del Tubo

Para poder determinar las reacciones producidas en la matriz superior, se establecerán restricciones en $L/2$ en los nodos perimetrales, en la parte positiva de la circunferencia, es decir, los valores de $Z \geq 0$.

Se asumirá que el contacto entre el tubo y la matriz lo tienen a lo largo de una línea por lo que solo se considerará una sola circunferencia nodal. Este efecto causará que se incrementen los valores de esfuerzos, teniendo de esta manera resultados más confiables, elevándose también el factor de seguridad.

En otras palabras, si bajo estas condiciones los esfuerzos producidos por la carga aplicada en la matriz superior están por debajo del esfuerzo máximo del material, se tendrá total seguridad de la funcionalidad del diseño.

Se estableció la programación para generar este modelo, restringiendo en primera instancia los nodos centrales del tubo que están en contacto con la matriz superior limitando el desplazamiento en X, Y y Z.

Como resultado al ejecutar el programa dieron reacciones incoherentes, ya que al considerar que el tubo está simplemente apoyado no deben existir fuerzas que eviten que éste se despreque de la superficie de la matriz, solo deben existir fuerzas cuyos vectores estén direccionados hacia el tubo.

Para superar este problema se fueron variando las restricciones dentro del criterio anteriormente mencionado, quedando la programación definitiva de la siguiente manera:

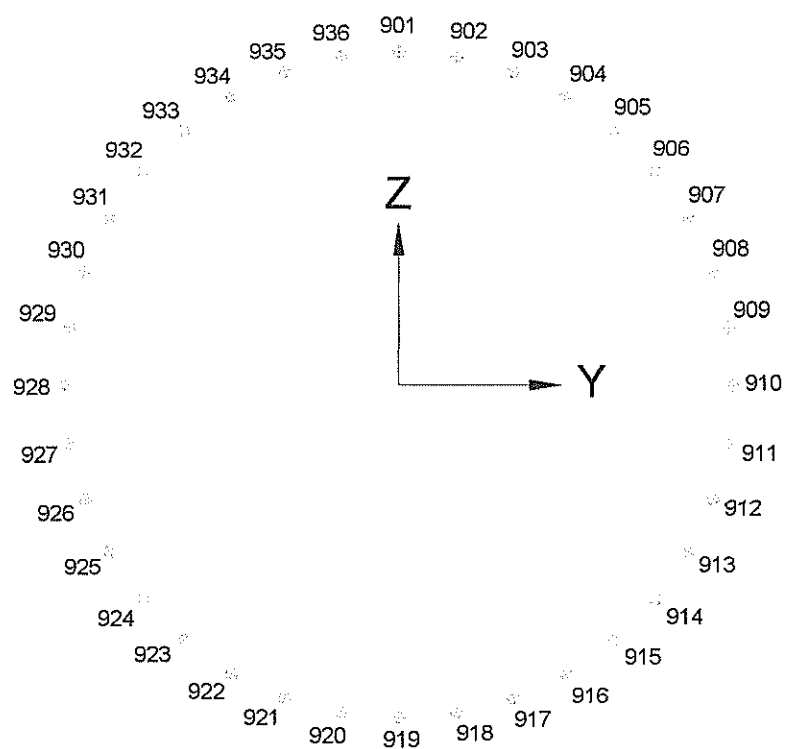


Fig. 3.12. Distribución Nodal en L/2 del Tubo

TUBO CEDULA 80

SYSTEM

L=1

JOINTS

1 X=0.0000 Y= 0.0000 Z= 0.0529

2	X=0.0000	y= 0.0092	Z= 0.0521
3	X=0.0000	Y= 0.0181	Z= 0.0497
4	X=0.0000	Y= 0.0264	Z= 0.0458
5	X=0.0000	Y= 0.0340	Z= 0.0405
6	X=0.0000	Y= 0.0405	Z= 0.0340
7	X=0.0000	Y= 0.0458	Z= 0.0264
8	X=0.0000	Y= 0.0497	Z= 0.0181
9	X=0.0000	Y= 0.0521	Z= 0.0092
10	X=0.0000	Y= 0.0529	Z= 0.0000
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
26	X=0.0000	Y=-0.0497	Z=-0.0181
27	X=0.0000	Y=-0.0521	Z=-0.0092
28	X=0.0000	Y=-0.0529	Z= 0.0000
29	X=0.0000	Y=-0.0521	Z= 0.0092
30	X=0.0000	Y=-0.0497	Z= 0.0181
31	X=0.0000	Y=-0.0458	Z= 0.0264
32	X=0.0000	Y=-0.0405	Z= 0.0340
33	X=0.0000	Y=-0.0340	Z= 0.0405

34	X=0.0000	Y=-0.0264	Z= 0.0458	
35	X=0.0000	Y=-0.0181	Z= 0.0497	
36	X=0.0000	Y=-0.0092	Z= 0.0521	
1801	X=0.5000	Y= 0.0000	Z= 0.0529	G=1,1801,36
1802	X=0.5000	y= 0.0092	Z= 0.0521	G=2,1802,36
1803	X=0.5000	Y= 0.0181	Z= 0.0497	G=3,1803,36
1804	X=0.5000	Y= 0.0264	Z= 0.0458	G=4,1804,36
1805	X=0.5000	Y= 0.0340	Z= 0.0405	G=5,1805,36
1806	X=0.5000	Y= 0.0405	Z= 0.0340	G=6,1806,36
1807	X=0.5000	Y= 0.0458	Z= 0.0264	G=7,1807,36
1808	X=0.5000	Y= 0.0497	Z= 0.0181	G=8,1808,36
1809	X=0.5000	Y= 0.0521	Z= 0.0092	G=9,1809,36
1810	X=0.5000	Y= 0.0529	Z= 0.0000	G=10,1810,36
.
.
.
.
.
1829	X=0.5000	Y=-0.0521	Z= 0.0092	G=29,1829,36
1830	X=0.5000	Y=-0.0497	Z= 0.0181	G=30,1830,36
1831	X=0.5000	Y=-0.0458	Z= 0.0264	G=31,1831,36



1832 X=0.5000 Y=-0.0405 Z= 0.0340 G=32,1832,36
1833 X=0.5000 Y=-0.0340 Z= 0.0405 G=33,1833,36
1834 X=0.5000 Y=-0.0264 Z= 0.0458 G=34,1834,36
1835 X=0.5000 Y=-0.0181 Z= 0.0497 G=35,1835,36
1836 X=0.5000 Y=-0.0092 Z= 0.0521 G=36,1836,36

RESTRAINTS

910 R=1,1,0,0,0,0
909 R=1,0,1,0,0,0
908 R=1,0,1,0,0,0
907 R=1,0,1,0,0,0
906 R=1,0,1,0,0,0
904 R=1,0,1,0,0,0
903 R=1,0,1,0,0,0
902 R=1,0,1,0,0,0
901 R=1,1,1,0,0,0
936 R=1,0,1,0,0,0
935 R=1,0,1,0,0,0
934 R=1,0,1,0,0,0
932 R=1,0,1,0,0,0
931 R=1,0,1,0,0,0
930 R=1,0,1,0,0,0
929 R=1,0,1,0,0,0

928 R=1,1,0,0,0,0

SHELL

NM=1

1 E=2.07E10 U=0.292

1 JQ=1,37,2,38 ETYPE=0 M=1 TH=0.00856 G=50,35

1751 JQ=36,72,1,37 ETYPE=0 M=1 TH=0.00856 G=50,1

LOADS

11,27,1 L=1 F=0,0,337.31,0,0,0

1811,1827,1 L=1 F=0,0,337.31,0,0,0

Las direcciones de los esfuerzos son las mismas que la de las fuerzas. Fuerzas y esfuerzos de corte positivas apuntan hacia el observador. Las fuerzas son por unidad de longitud.

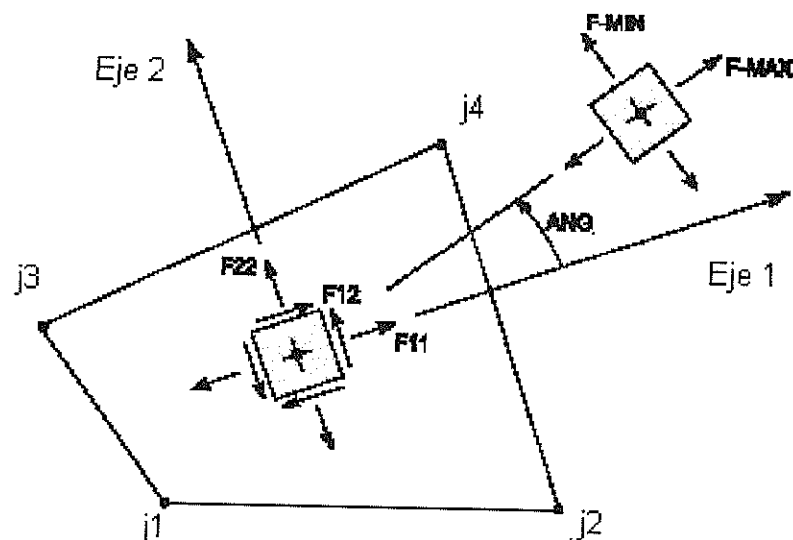


Fig. 3.13. Esfuerzos y Fuerzas de la Membrana

Las direcciones de los momentos están dadas a continuación y están por unidad de longitud.

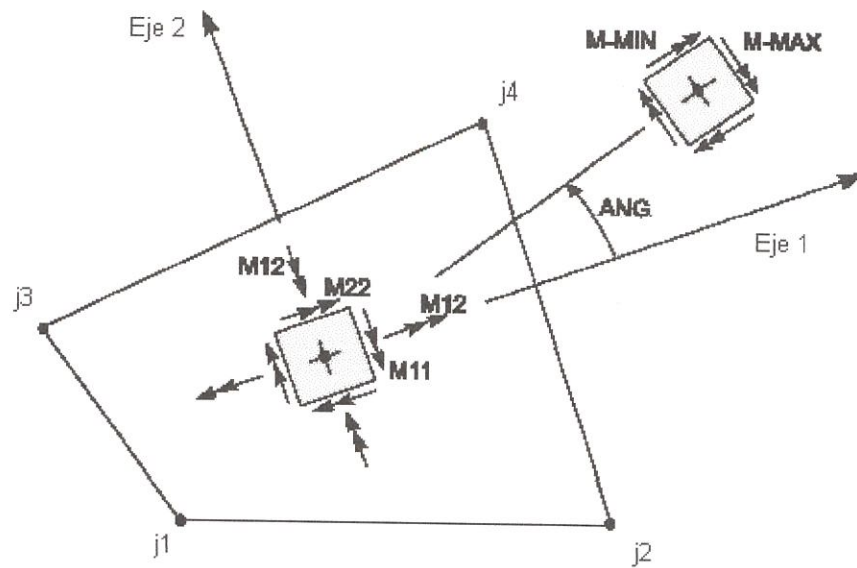


Fig. 3.14. Momentos en la Membrana

Por conveniencia se generaron las membranas haciendo que:

Eje1 = Eje X

Eje2 = Eje Y

Eje 3 = Eje Z

De esta manera las membranas son numeradas longitudinalmente, desde un extremo del tubo hacia el otro. Cada vez que llega al próximo extremo, la numeración continúa nuevamente desde el

principio tomando una nueva hilera de membranas, así hasta completar la totalidad de membranas en el tubo.

Por ejemplo:

La primera hilera longitudinal de membranas, parte desde la número 1 hasta la 50, ya que el tubo está dividido en 50 partes. La segunda hilera se la numera desde la 51 hasta la 100, y de la misma forma todas hasta la última que es numerada desde la 1751 hasta la 1800.

Si se analiza esta distribución perimetralmente por cada anillo de membranas, ésta va de 50 en 50 hasta completar el anillo.

Por ejemplo:

En un extremo, el primer anillo está conformado por las membranas 1, 51, 101, 151,..., 1751. El segundo anillo es 2, 52, 102, 152,..., 1752; así hasta el anillo del otro extremo que es 50, 100, 150, 200,...,1800.

Solo falta para concluir esta primera parte, confirmar que la carga que se aplicará para el análisis deberá deformar plásticamente al tubo para efectuar el curvado.

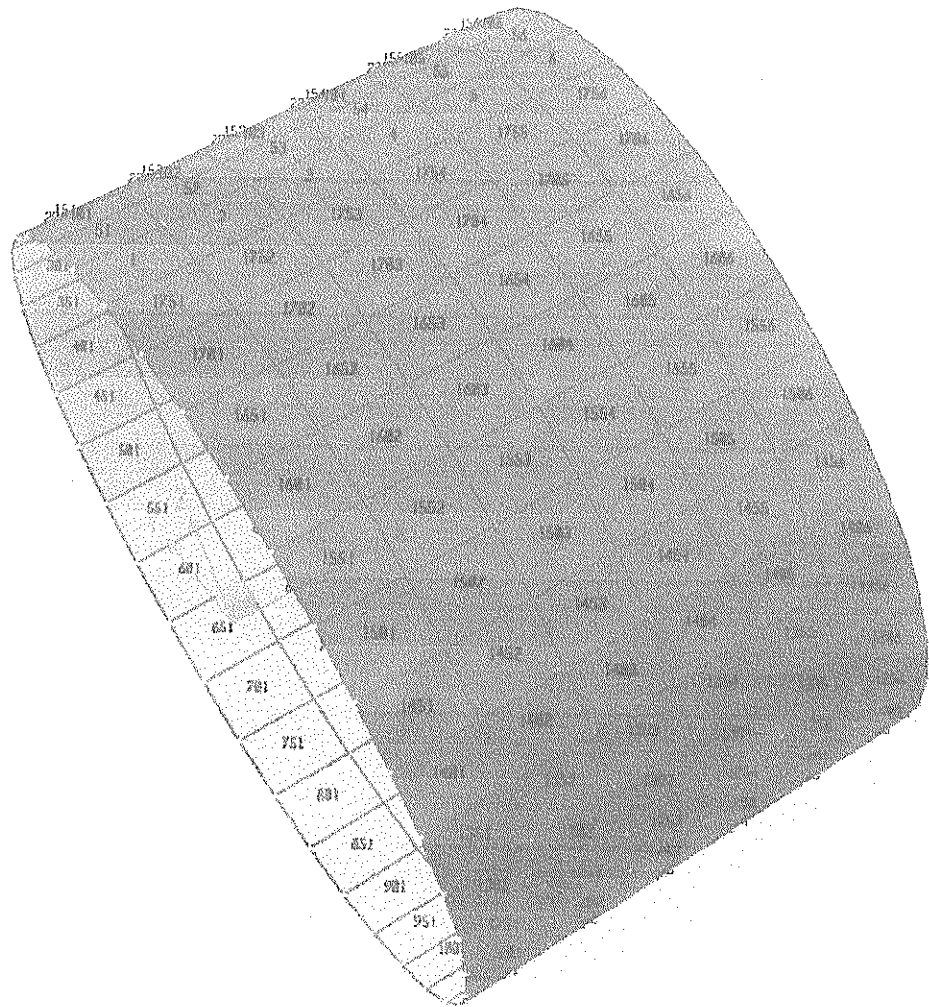


Fig. 3.15. Distribución de Membranas en uno de los Extremos del Tubo

Como primera opción a probar, se le asigna a P el valor encontrado anteriormente en el Subcapítulo 3.1, que fue el resultado de un análisis bidimensional, y que corresponde a 11,468.53 Kg.

$$P_n = \frac{P}{N_n} \quad (3.12)$$

En donde,

P_n = Carga por nodo

P = Carga ejercida por el rodillo superior

N_n = Número de nodos que conforman los dos extremos del tubo

La carga aplicada a los nodos en los respectivos extremos es:

$$P = \frac{11,468.53}{34}$$

$$P = 337.31 \text{ Kg. } \checkmark$$

Ya que el programa analiza cada uno de los nodos y membranas hace que los resultados sean extremadamente extensos, por lo que para efecto de resumir se presentarán los resultados necesarios.

Para esto se realizará primero un análisis gráfico determinando las membranas o grupos de ellas que tengan valores de esfuerzos importantes, y que por lo expuesto en el Subcapítulo 3.1, en los diagramas de fuerza cortante y momento flector, se puede adelantar

que se presentarán en $L/2$, para posteriormente presentar estos resultados.

Ejecutando el programa y seleccionando la opción de visualización de los esfuerzos de Von Mises, cuyos rangos están representados por franjas de colores determinados, se tiene que efectivamente los esfuerzos máximos están concentrados en la sección intermedia del tubo.

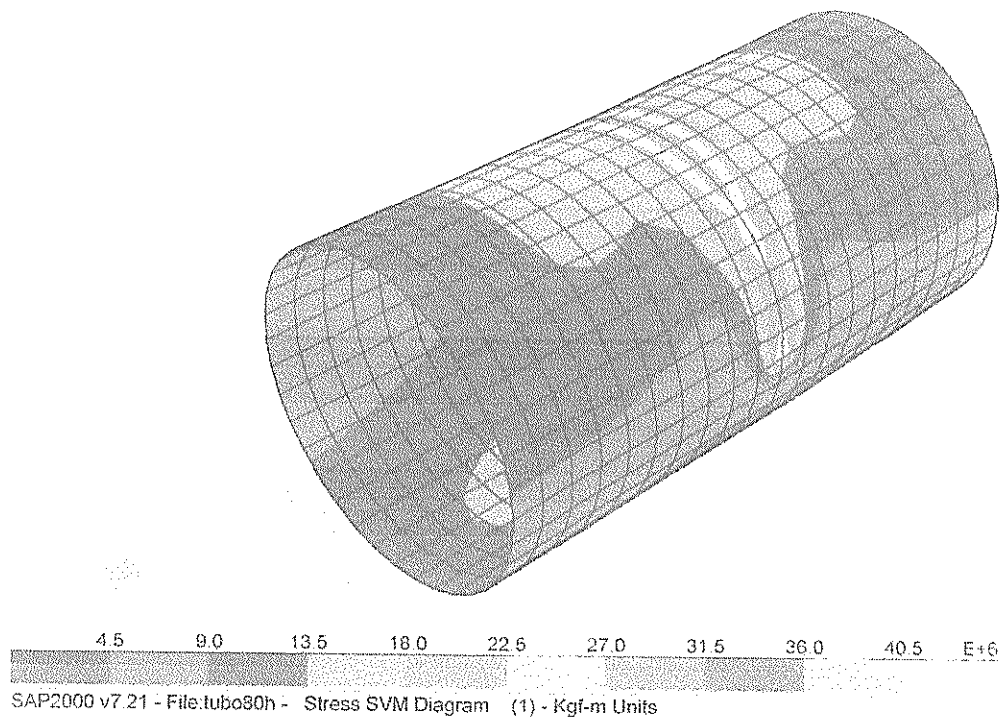


Fig. 3.16. Visualización de los Esfuerzos de Von Mises en Zona Adyacente a $L/2$, en la Parte Superior del Tubo

Las unidades están dadas en Kg/m^2 y en la parte superior del tubo la flexión origina que las membranas se encuentren a compresión, mientras que en la parte inferior se encuentran tensionadas.

De no haber sido P lo suficiente para causar esta deformación plástica, se hubiera tenido que recurrir a experimentar incrementos para encontrar este valor.

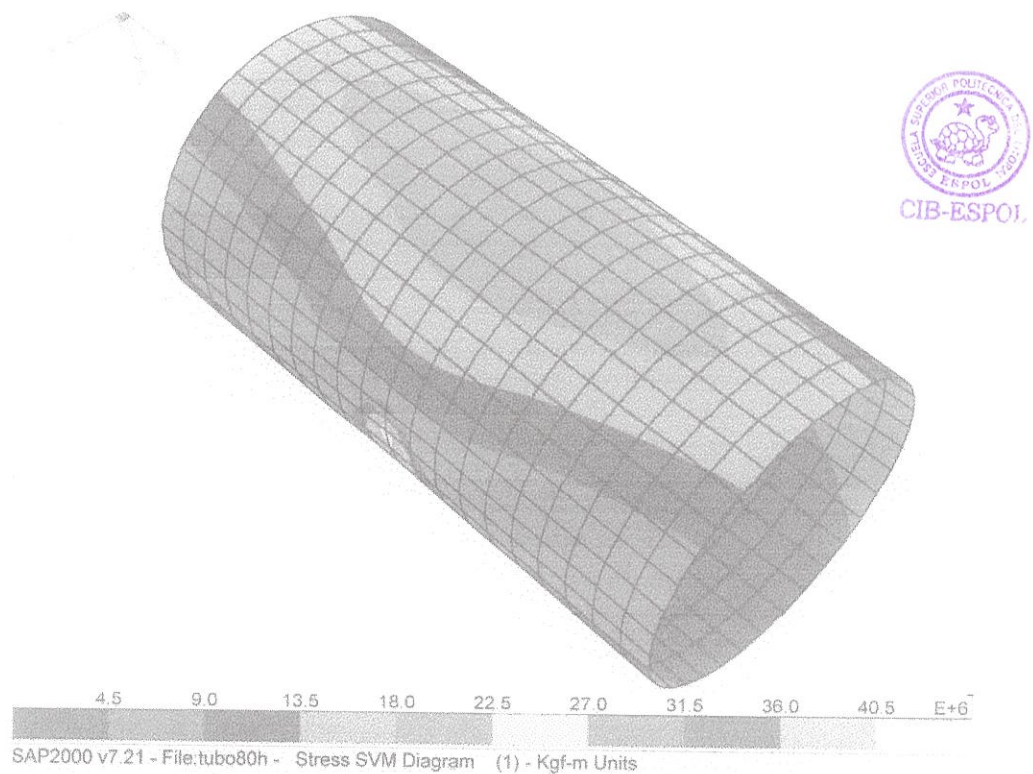


Fig. 3.17. Visualización de los Esfuerzos de Von Mises en Zona Adyacente a $L/2$, en la Parte Inferior del Tubo

Una vez realizada esta inspección, se anotan las reacciones en los nodos en donde se realizaron las restricciones, las cuales nos servirán para aplicarlas a la matriz. (ver tabla en la siguiente página.)

Como segundo paso, estas fuerzas son aplicadas a un modelo de la matriz generado en el programa por medio de elementos sólidos.

JOINT	LOAD	F1 (Kg)	F2 (Kg)	F3 (Kg)
901	1	0.0000	0.0000	-396.1650
902	1	0.0000	0.0000	-409.6860
903	1	0.0000	0.0000	-354.3906
904	1	0.0000	0.0000	-650.4705
906	1	0.0000	0.0000	-680.0443
907	1	0.0000	0.0000	-555.5613
908	1	0.0000	0.0000	-855.2253
909	1	0.0000	0.0000	-2030.8090
910	1	0.0000	-931.1583	0.0000
928	1	0.0000	931.1583	0.0000
929	1	0.0000	0.0000	-2030.8090
930	1	0.0000	0.0000	-855.2253
931	1	0.0000	0.0000	-555.5613
932	1	0.0000	0.0000	-680.0443
934	1	0.0000	0.0000	-650.4705
935	1	0.0000	0.0000	-354.3906
936	1	0.0000	0.0000	-409.6860

Tabla 3.5. Reacciones en los Nodos de Apoyo (Kg)

Para esto se han tomado las siguientes consideraciones:

- a) Los desplazamientos rotacionales alrededor de X, Y, Z no existen por lo que se restringen todos los nodos, $R = x, y, z, 1, 1, 1$.
- b) El desplazamiento de los nodos de las caras planas exteriores de la matriz es restringido en la dirección Z, debido a que en el montaje de las matrices en la máquina, éstas van entre discos de mayor tamaño y espesor, lo que evita su deformación y se asume que no hay deslizamiento entre las caras.

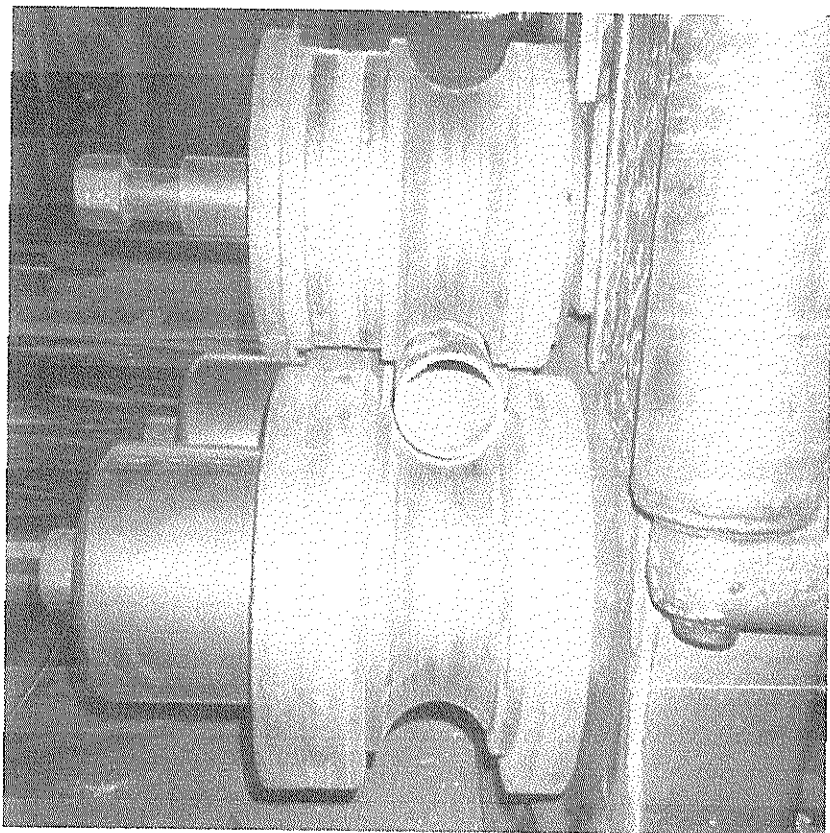


Fig. 3.18. Matrices Montadas. Se Observan los Discos de Apoyo.

- c) Los nodos que conforman el agujero que acopla con el eje, están restringidos en todas las direcciones.

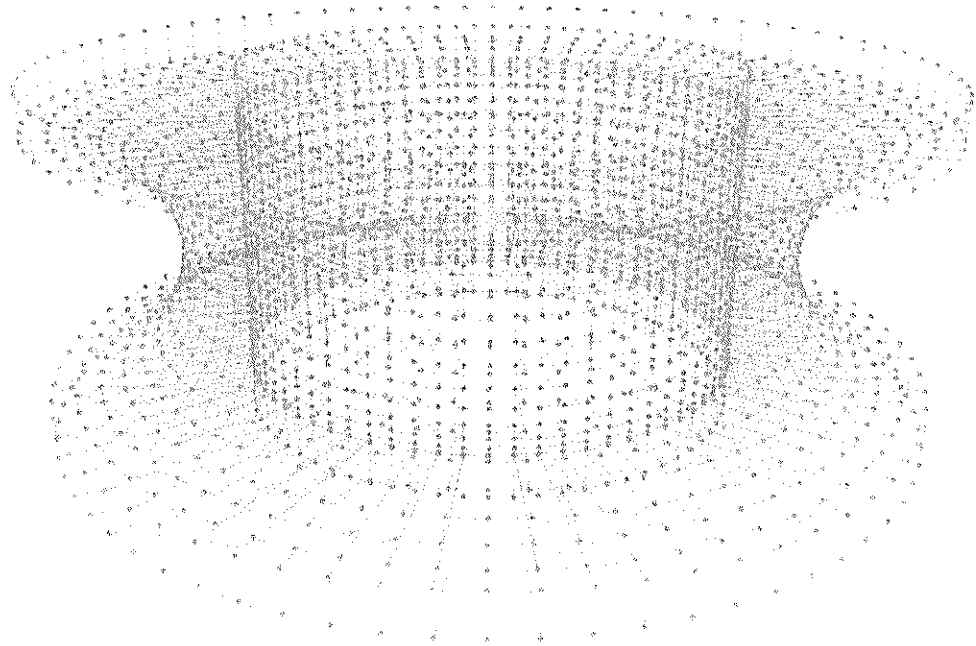


Fig. 3.19. Orientación de la Matriz con Respecto a los Ejes Coordinados

El modelo se ha diseñado con 3024 nodos por medio de los cuales se generan los 1440 elementos sólidos que se han formado por medio de 8 nodos. La dirección j_1, j_2 está orientada hacia el eje X.

Los esfuerzos se generan en las tres direcciones. Se pueden visualizar los esfuerzos de Von Mises, cuyos rangos están diferenciados por medio de franjas de colores las que nos permiten

verificar si el material no sobrepasa su esfuerzo máximo en ningún sector de la matriz.

Al igual que el análisis con el tubo, el programa da un reporte extremadamente extenso que sería impráctico publicarlo. Por lo que solo se observarán los esfuerzos máximos generados

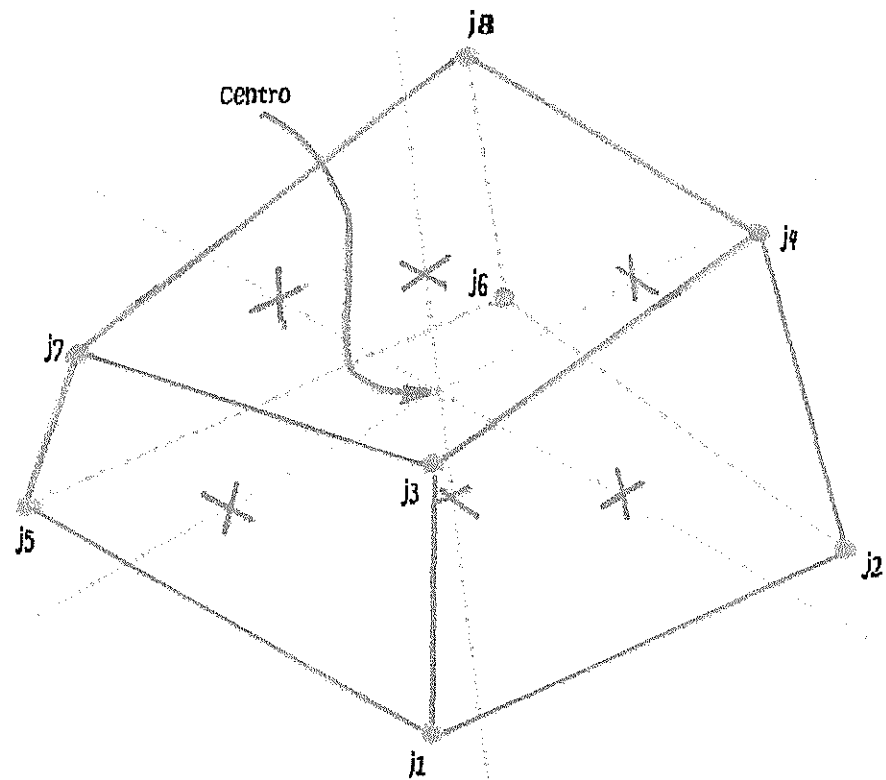


Fig. 3.20. Conformación de un Elemento Sólido de Ocho Nodos

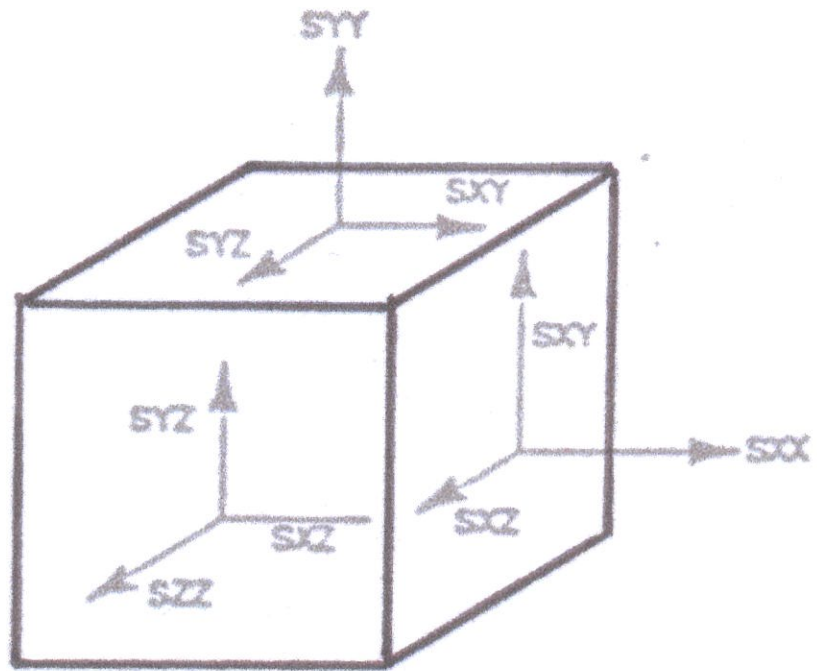


Fig. 3.21. Direcciones de los Esfuerzos

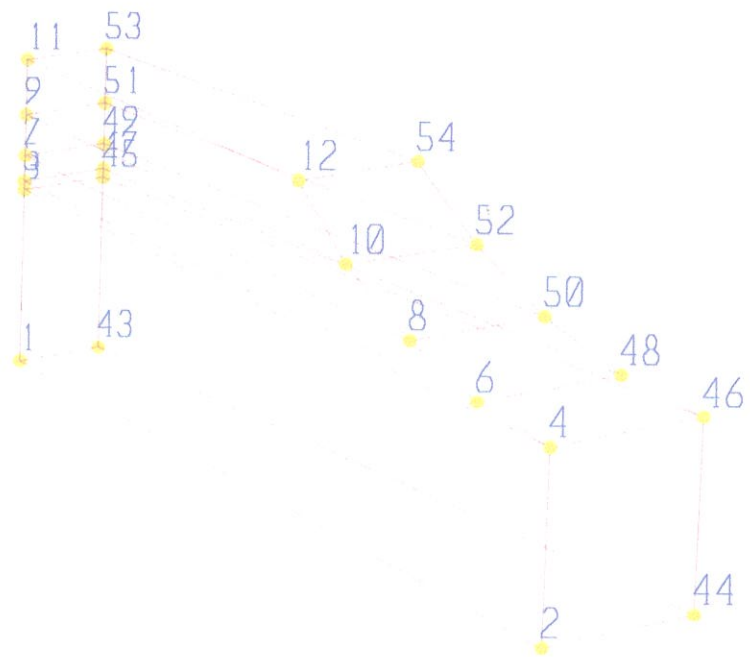


Fig. 3.22. Sección en la que se Indica la Distribución de los Nodos

El programa queda definido de la siguiente manera:

TUBO CEDULA 80

SYSTEM

L=1

JOINTS

1	X=0.1080000000	Y=0.0000000000	Z=-0.0750000000
2	X=0.1906500000	Y=0.0000000000	Z=-0.0750000000
3	X=0.1080000000	Y=0.0000000000	Z=-0.0571500000
4	X=0.1906500000	Y=0.0000000000	Z=-0.0571500000
5	X=0.1080000000	Y=0.0000000000	Z=-0.0562818000
6	X=0.1807260000	Y=0.0000000000	Z=-0.0562818000
7	X=0.1080000000	Y=0.0000000000	Z=-0.0537034000
8	X=0.1711035000	Y=0.0000000000	Z=-0.0537034000
9	X=0.1080000000	Y=0.0000000000	Z=-0.0494934000
10	X=0.1614583000	Y=0.0000000000	Z=-0.0494934000

•	•	•	•
•	•	•	•
•	•	•	•
•	•	•	•
•	•	•	•

3010 X=0.1406195000 Y=-0.0123026000 Z=0.0285750000
3011 X=0.1075890000 Y=-0.0094128000 Z=0.0367353000
3012 X=0.1463117000 Y=-0.0128006000 Z=0.0367353000
3013 X=0.1075890000 Y=-0.0094128000 Z=0.0437794000
3014 X=0.1533290000 Y=-0.0134145000 Z=0.0437794000
3015 X=0.1075890000 Y=-0.0094128000 Z=0.0494934000
3016 X=0.1614583000 Y=-0.0141258000 Z=0.0494934000
3017 X=0.1075890000 Y=-0.0094128000 Z=0.0537034000
3018 X=0.1704524000 Y=-0.0149127000 Z=0.0537034000
3019 X=0.1075890000 Y=-0.0094128000 Z=0.0562818000
3020 X=0.1800383000 Y=-0.0157513000 Z=0.0562818000
3021 X=0.1075890000 Y=-0.0094128000 Z=0.0571500000
3022 X=0.1899245000 Y=-0.0166162000 Z=0.0571500000
3023 X=0.1075890000 Y=-0.0094128000 Z=0.0750000000
3024 X=0.1899245000 Y=-0.0166162000 Z=0.0750000000

RESTRAINTS

1,3024,1 R=0,0,0,1,1,1
1,3023,2 R=1,1,1,1,1,1
2,2984,42 R=0,0,1,1,1,1
42,3024,42 R=0,0,1,1,1,1

SOLID

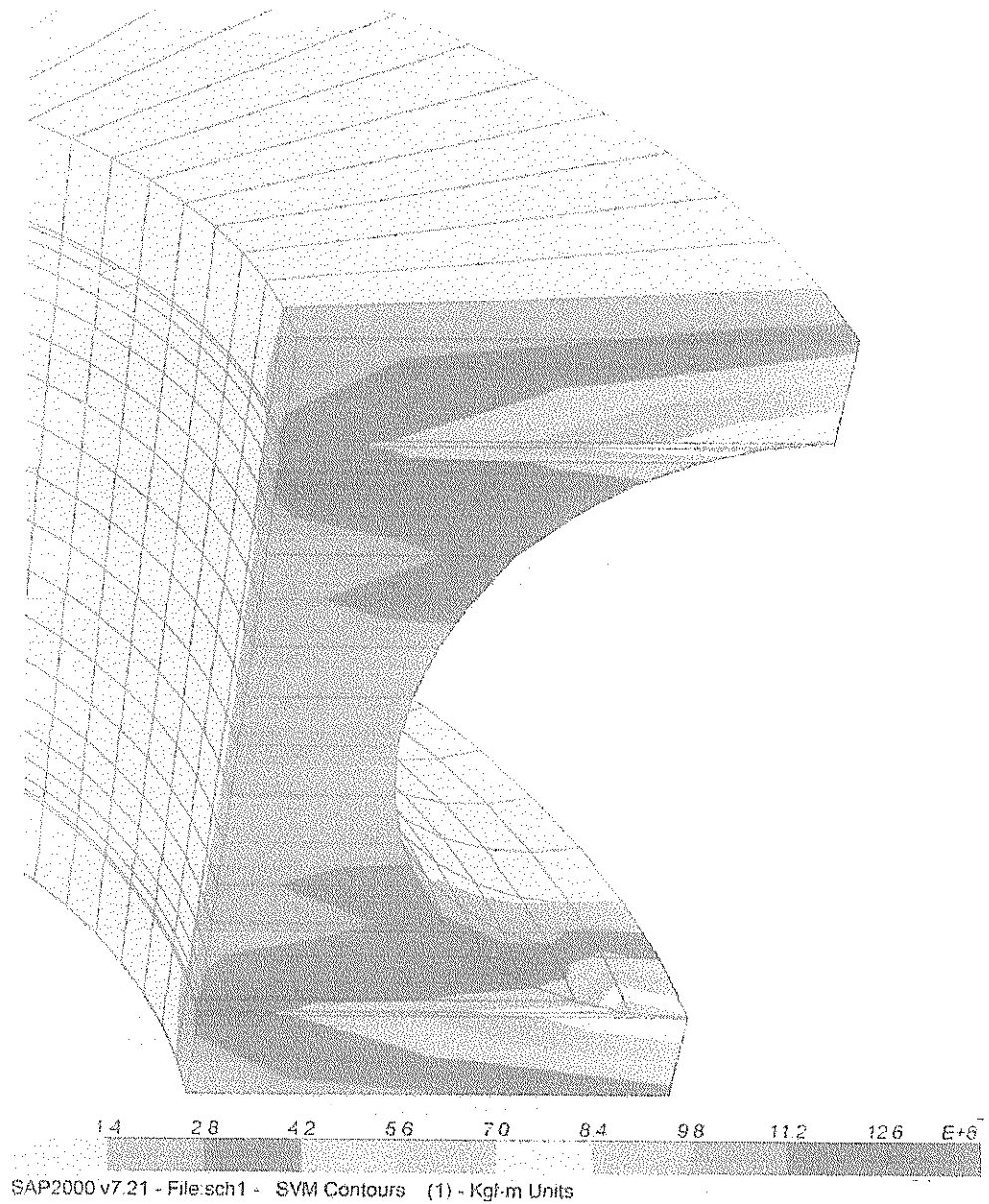


Fig. 3.25. Distribución Transversal de Esfuerzos de Von Mises

3.5 Determinación de la Potencia Requerida

Para calcular el valor de potencia requerido para efectuar el curvado del tubo bajo las condiciones establecidas se aplica la siguiente ecuación:

$$H = T \omega \quad (3.13)$$

En donde,

H = Potencia, en vatios W

T = Momento de Torsión, en N m

ω = Velocidad Angular, en rad/seg

Anteriormente se calculó el torque bajo la acción de la misma carga P, teniendo como resultado 2,867.13 Kg m; convirtiendo este valor a N m se tiene que:

$$T = 28,126.55 \text{ N m}$$

La velocidad de rotación del eje es 3 R.P.M., que transformada a radianes / segundo queda:

$$\omega = 0.3142 \text{ rad/seg}$$

Reemplazando los valores en la fórmula:

$$H = (28,126.55) (0.3142)$$

$$H = 8,837.36 \text{ W } \acute{o} \text{ H} = 8.84 \text{ KW} \checkmark$$

La potencia del motor eléctrico leída en la placa de características técnicas es de 25 HP, o convirtiéndola, 18.75 KW, potencia que es mayor al doble de la potencia necesaria para el curvado del tubo, por lo que la máquina no tendrá ningún problema para realizar este trabajo.

3.6 Selección de Materiales

Seleccionar el material para fabricar las matrices resulta un poco conflictivo en las condiciones como se ha presentado el problema, en el cual se van a curvar solamente cuatro tubos, y con la agravante de saber que no hay precedentes de que algún otro Cliente haya solicitado este tipo de servicio anteriormente; además se sabe que, por lo menos en nuestro medio, este tipo de trabajo no es habitual.

La ingeniería induce a seleccionar un acero con todas las propiedades necesarias, tales como tenacidad y resistencia al desgaste, para que la matriz tenga una larga vida útil.

Hay que seleccionar el material y se tienen dos alternativas claramente definidas:

a) Acero especializado

Como se había señalado, desde el punto de vista de la ingeniería, es la mejor alternativa. Son aceros aleados que cumplen un grupo de propiedades mecánicas determinadas que satisfacen las exigencias del trabajo.

Para realizar una selección adecuada se tienen que tomar en cuenta las siguientes características:

- 1) Resistencia mecánica: los esfuerzos producidos bajo la aplicación de la carga P deben ser menores al esfuerzo de fluencia del material para que exista falla ni se generen deformaciones que permitan que el tubo se deforme en direcciones no deseadas, esto es en Y ;
 - 2) Alta resistencia al desgaste: las matrices están en contacto directo con el tubo y si no son fabricadas con un material adecuado sufrirán desgastes severos que se tendrán que ir rectificando, lo que implicará paras, costos adicionales y una corta vida útil.
-

ACEROS PARA TRABAJOS EN FRIO														
	C	S	Mn	P	S	N	V	W	Co	Cr	Mo	B	Si	Resaca C
⊖	K 100	2.00	0.20	0.30	11.5	-	-	-	-	F 5212	03	259	259	800-850
														250
														800-850
⊖	K 107	2.10	0.30	0.30	11.50	-	-	0.70	-	F 5213	06	242	250	800-850
														250
														800-850
⊖	K 110	1.55	0.25	0.30	11.8	0.75	-	0.85	-	F 5211	02	277	250	890-850
														250
														890-850
⊖	K 190	2.30	0.40	0.40	12.5	1.10	-	4.00	-	-	-	218	260	890-830
														260
														890-830
⊖	K 329	0.52	0.90	0.40	7.90	1.40	-	0.35	-	-	-	-	240	800-850
														240
														800-850
⊖	K 340	1.10	0.90	0.40	8.30	2.10	-	0.50	Al N5	-	-	-	250	800-850
														250
														800-850
⊖	K 455	0.63	0.60	0.30	1.10	-	-	0.18	2.00	F 5242	S1	255	225	710-750
														225
														710-750
⊖	K 460	0.95	0.30	1.20	0.55	-	-	0.12	0.55	01A	01	295	225	710-750
														225
														710-750
⊖	K 605	0.53	0.25	0.45	1.60	0.20	3.10	-	-	5100A	-	281	262	610-650
														262
														610-650

Tabla 3.6 Características de Aceros Especiales

Resaca C	Dureza HB máx. (Resaca)	Temple C enfriamiento rápido	Dureza HRC alcanzable	Dureza HRC promedio después del revenido a...						
				100	200	300	400	500	550	600
800-850	250	940-970 / O.S.A. 63	63-65	64	62	59	57	-	-	-
800-850	250	940-980 / O.S.A. 63	65-66	65	63	61	60	-	-	-
890-850	250	1020-1030 / O.S.A. 48	63-65	64	61	59	58	-	-	-
890-830	260	1050-1150 / O.S.A. 48	62-67	63	61	60	61	61	62	55
800-850	240	1000-1020 / O.S.A. 48	63-65	62	58	57	58	58	57	45
800-850	250	61-63 / O.S.A. 48	1040-1050	63	61	59	60	62	61	-
710-750	225	870-900 / O	58-62	60	59	56	53	-	-	-
710-750	225	780-800 / O.S. 120min	63-65	64	62	58	52	-	-	-
610-650	262	840-870 / A 240-270 / O	54-58 / 55-59	59	56	52	48	-	-	-

- 3) Tratamiento térmico: cada acero especial tiene sus características de tratamiento térmico. Para las matrices lo adecuado será una nitruración ya que solo se necesita dureza superficial.
 - 4) Tipo de trabajo: Las matrices trabajarán deformando al tubo, sin que haya impacto ni corte;
 - 5) Temperatura: se realiza a temperatura ambiente.
 - 6) Propiedades anticorrosivas: no se necesitan.
- b) Usar acero laminado en caliente ASTM-A-36 disponible en la Empresa

La Empresa dispone de láminas de acero ASTM-A-36, las cuales son importadas, y son destinadas para venta y servicio. Esta alternativa es valedera desde el punto de vista de que la estimación de uso de las matrices es puntual y con casi nula proyección a realizar futuros trabajos. Además, por ser importador del material, éste tiene un costo de fábrica.

Características y usos específicos:

- 1) Acero al carbono-manganeso estructural de mediana resistencia y buena soldabilidad adecuado para la fabricación de vigas soldadas para edificios, estructuras remachadas, estructuras atornilladas, bases de columnas, piezas para puentes, fabricación de depósitos de granos, depósitos de combustible, estructuras para túneles, disponible en espesores de 0.0187" hasta 3.000" por colada continua y mayor de 3.000" vía lingote.
 - 2) Este acero en forma natural presenta tamaño de grano fino.
 - 3) La prueba de impacto se maneja como requerimiento suplementario por lo que debe haber un acuerdo entre cliente y fabricante para determinar los parámetros de esta prueba que son:

Temperatura de prueba.

Energía absorbida promedio mínimo.

Dirección de la probeta.
 - 4) Composición química y límite de fluencia
-

Carbono (máx.)	0.2700%
Manganeso	0.8000 – 1.2000%
Fósforo (máx.)	0.0400%
Azufre (máx.)	0.0500%
Silicio	0.1500 – 0.4000%
Límite de fluencia:	2.5E+07 Kg/m ²

5) Grados equivalentes

BS EN 10025 S275: Acero al carbono manganeso estructural bajo norma europea con características similares al A-36 en propiedades físicas y composición química.

JIS G3132 SPHT-400: Acero al carbono manganeso estructural bajo norma japonesa similar en propiedades físicas y composición química.

Una vez analizadas las propiedades de las dos alternativas planteadas, se tiene que el uso del acero AISI-D2 será el más apropiado técnicamente. Es un acero ledebúrico al cromo, con alta estabilidad dimensional al tratamiento térmico y resistencia al

desgaste. Recomendado por fabricante para corte, estampación, trabajo de la madera, cuchilla para tijera de corte en frío, conformación en frío, prensado de materiales cerámicos, moldes para plásticos y troqueles de corte en frío. Permite ser tratado térmicamente por nitruración.

Por otro lado, por costos y tiempo de fabricación de las matrices inducen a analizar el acero ASTM-A-36. ¿Qué ventajas tendría este acero sobre el AISI-D2? a) velocidad desbaste es muchísimo más alta, se puede hablar en un margen del 500% aproximadamente; y, b) los costos del AISI-D2 es aproximadamente el 1300% más.

Ambos cumplen con la resistencia mecánica suficiente soportar los esfuerzos generados por la carga P.

En cambio, la desventaja que presenta el acero A-36, es la factibilidad para efectuar adecuados tratamientos térmicos. Por experiencia, al acero A-36 se le puede hacer cementación, pero con baja penetración, es decir, tendiente siempre a efectuar continuas rectificaciones y tratamientos térmicos con el uso, ya que no existe lubricación de ningún tipo.

Adicionalmente, el grado de dureza HRC no se podrá garantizar, alcanzando un máximo de 58.

Por la situación planteada se tomó la decisión de realizar la fabricación de las matrices con acero ASTM-A-36.

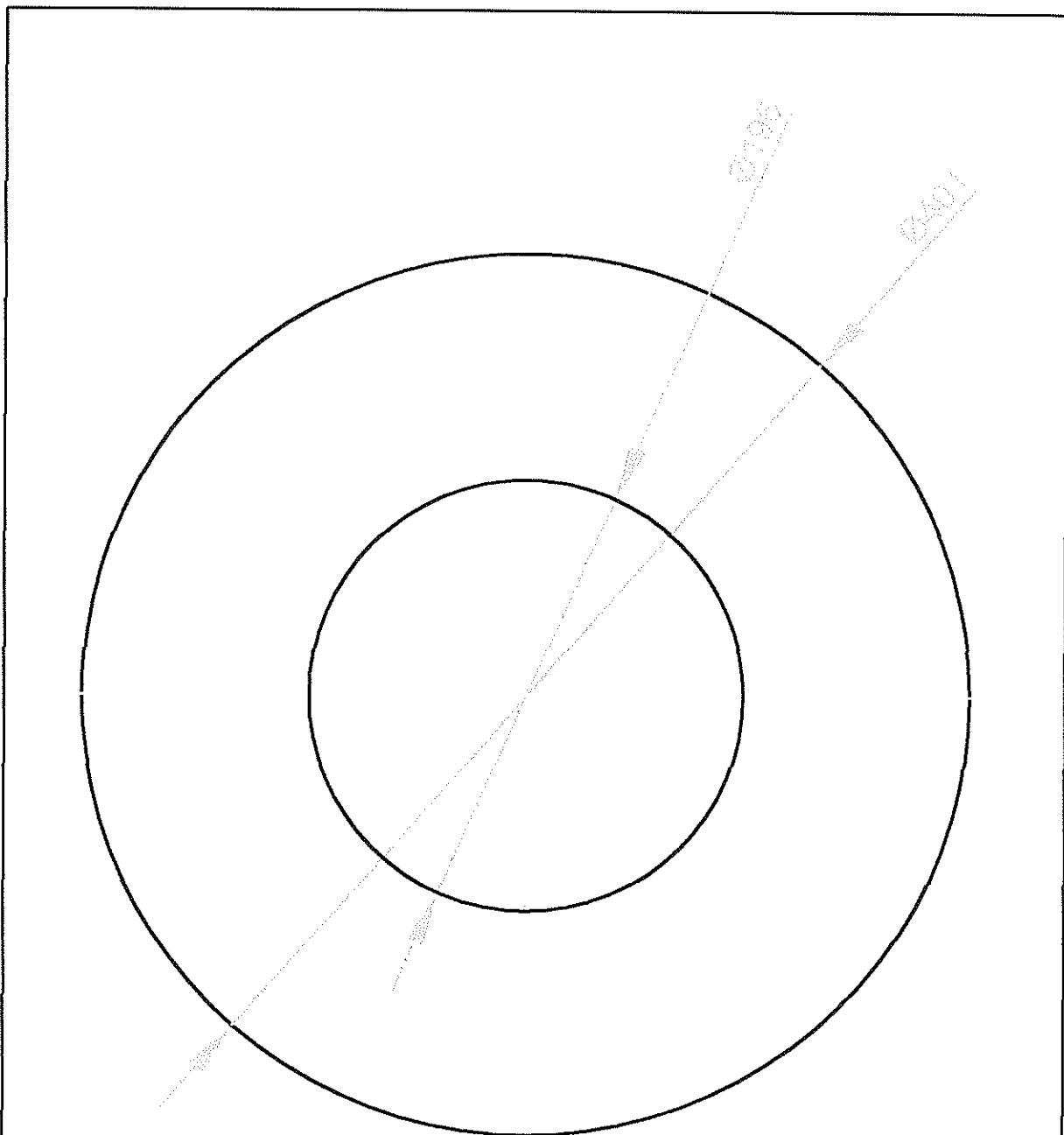
3.7 Fabricación de Rodillos

Para la fabricación de los rodillos se va a usar una lámina o planchón de 2,440 mm. x 6,100 mm. x 150 mm. de espesor (laminado en caliente). De aquí en adelante se generan los siguientes procesos:

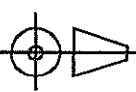
1) Corte circular en pantógrafo óptico

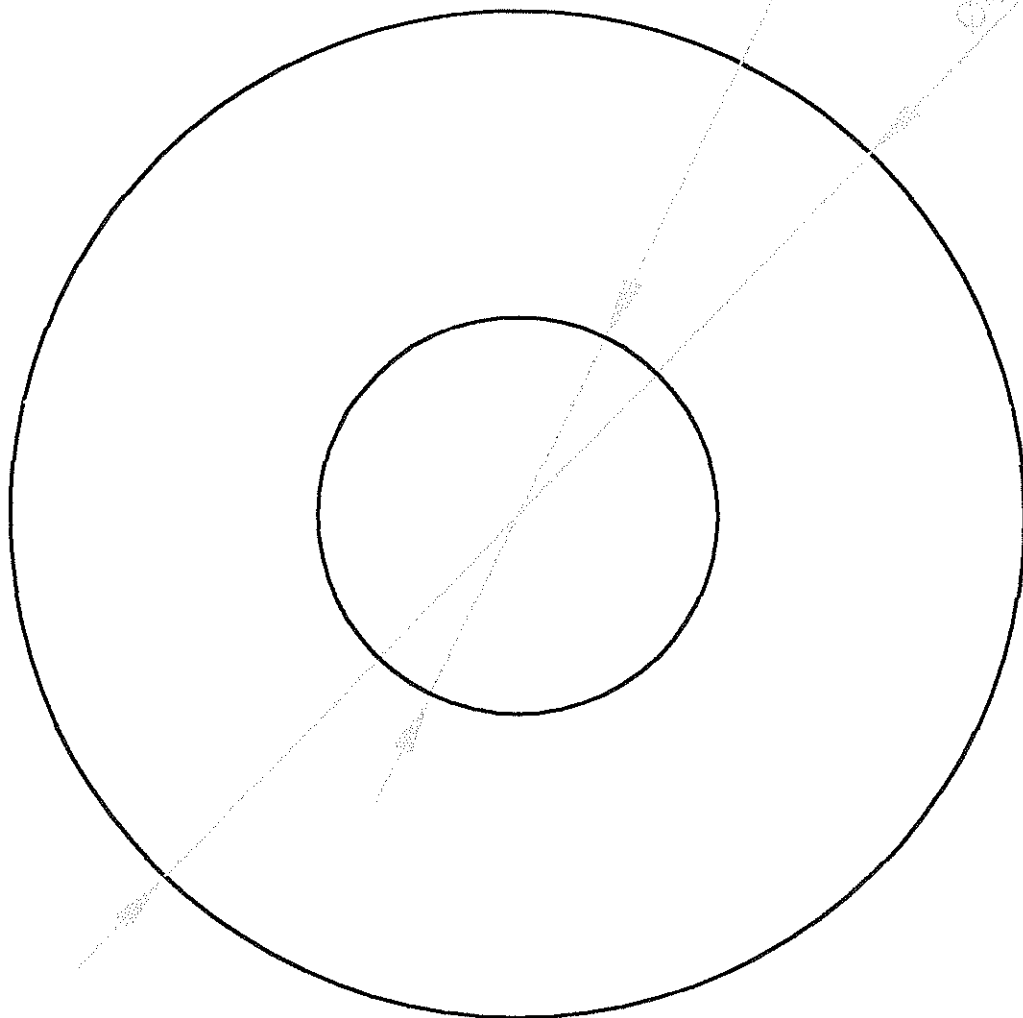
Para iniciar la fabricación de las matrices, la plancha se traslada hasta la mesa del pantógrafo óptico, en donde por medio calor (oxi-acetileno) se van a cortar tres cilindros huecos, los que posteriormente serán los rodillos.

Para lograr esto, hay que realizar un dibujo de los diámetros de las matrices en bruto para que el lente siga las líneas y de dirección a la antorcha ejecutando el corte a la medida. En este caso en el dibujo se dará +20 mm. al diámetro exterior y -20 mm. al inferior. Esta tolerancia considera la pérdida de material que se produce por efecto del corte que realiza la antorcha y para rectificado posterior en el torno. (Ver planos No. 7 y 8).

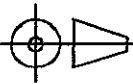


Espesor = 150 mm
 Cantidad = 1 unidad

FIMCP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
		Dibujó	F. Hurtado
PROYECTO: DISEÑO DE MATRICES PARA CURVAR TUBO METALICO DE Ø4 - CEDULA 80		Revisó	Ing. Martínez
 ESCALA: 1:3		PLANO No:	
		7	
CONTIENE: Dimensiones de Matriz Superior para Ejecución de Corte en Pantógrafo Optico		MASA (Kg)	
MATERIALES:			



Espesor = 150 mm
 Cantidad = 2 unidades

FIMCP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
		Dibujó	F. Hurtado
PROYECTO: DISEÑO DE MATRICES PARA CURVAR TUBO METALICO DE Ø4 - CEDULA 80		Revisó	Ing. Martínez
		PLANO No:	
 ESCALA: 1:3		8	
		CONTIENE: Dimensiones de Matrices Inferiores para Ejecución de Corte en Pantógrafo Optico MATERIALES.	

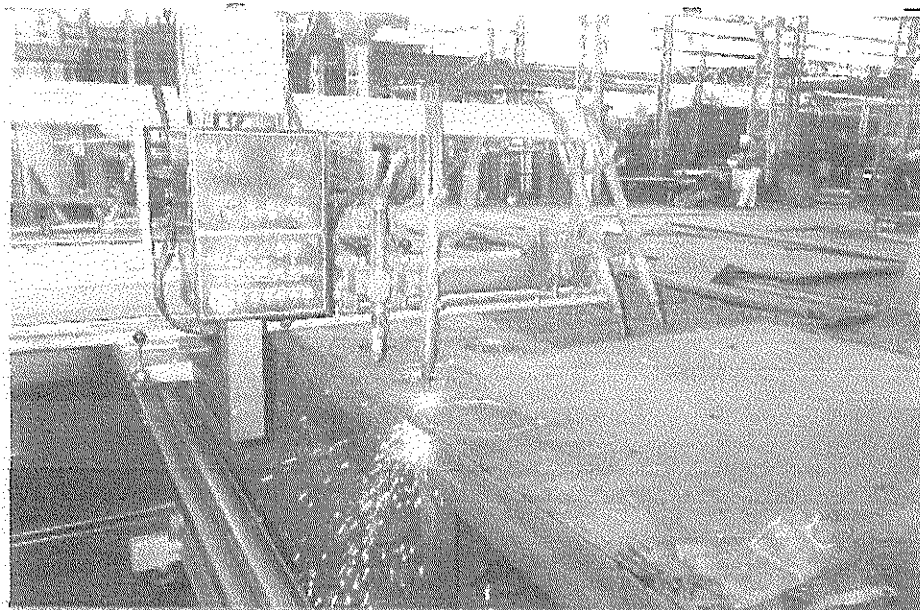


Fig. 3.26. Pantógrafo Óptico Efectuando Operación de Corte

2) Rectificación en el torno

Las tres piezas cortadas pasa al taller de máquinas herramientas, en donde van a ser mecanizadas en el torno. Hay cuatro operaciones que realizar:

Desbastar las piezas hasta obtener el diámetro mayor de las matrices, esto es, 381 mm. Esto se aplica para las tres matrices.

Desbastar las piezas para obtener el diámetro interior, que es en donde entra el eje de la máquina. Para este caso dos matrices deben de tener 178 mm. de diámetro interior y que corresponden a los ejes inferiores de la máquina; y, la otra matriz debe tener 216 mm. de diámetro interior y corresponde a la matriz superior.

Desbastar los rodillos para darle el radio de curvatura correspondiente al del tubo, esto es, 57.15 mm.

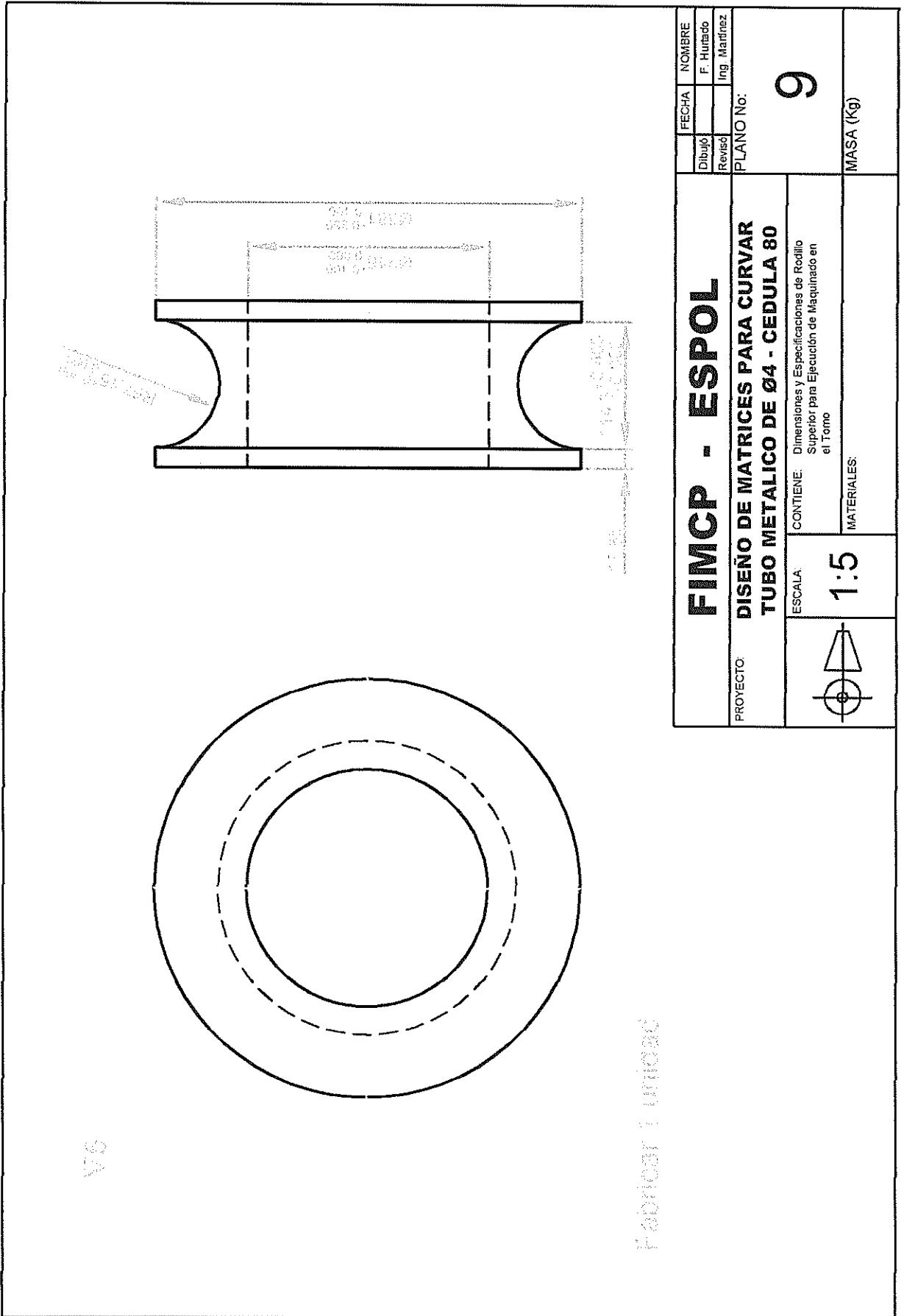
Por último, rectificar las caras planas de las matrices, que debe ser lo mínimo solo para garantizar paralelismo entre ellas.

Los detalles de medidas y especificaciones para la fabricación de las matrices se encuentran en los planos No. 9 y 10.

3.8 Montaje y Ajustes en la Máquina

El montaje de los rodillos es una operación relativamente sencilla; un operador con experiencia lo puede hacer sin ningún problema. Esto es debido a que la matriz está compuesta por un solo cuerpo y no hay que calibrar ningún ancho específico como sería el caso de realizar el montaje para rolar algún tipo de platina o viga de alma abierta.

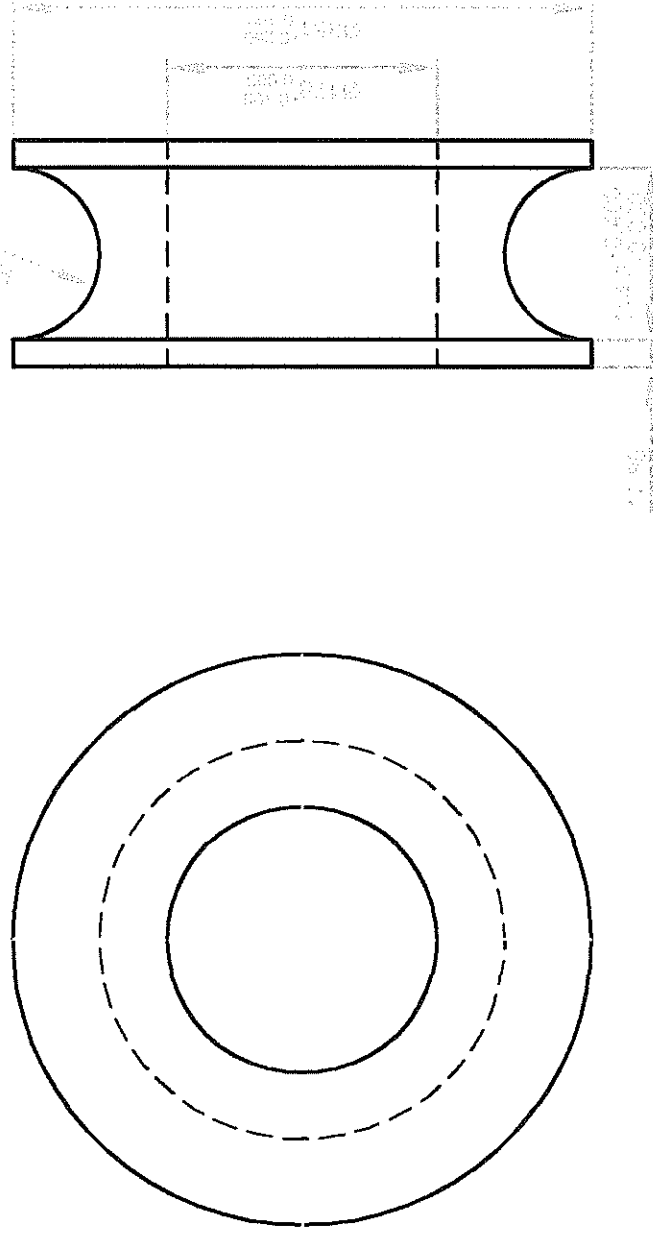
La máquina debe de tener los ejes libres de rodillos, tal como se observa en la figura 3.28., en donde solo se visualizan los ejes portamatrices. Es de notar que el eje superior tiene mayor diámetro que los inferiores como se había mencionado anteriormente.



V6

Fabricar 1 unidad

FIMCP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
PROYECTO: DISENO DE MATRICES PARA CURVAR TUBO METALICO DE Ø4 - CEDULA 80		Dibujó	F. Hurtado
ESCALA: 1:5		Revisó	Ing. Martinez
CONTIENE: Dimensiones y Especificaciones de Rodillo Superior para Ejecución de Maquinado en el Tomo		PLANO No: 9	
MATERIALES:		MASA (Kg)	



1/5

Febricar 2 unidades

FIMCP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
PROYECTO: DISEÑO DE MATRICES PARA CURVAR TUBO METALICO DE Ø4 - CEDULA 80		Dibujó	F. Hurtado
ESCALA: 1:5		Revisó	Ing. Martinez
CONTIENE: Dimensiones y Especificaciones de Rodillo Inferior para Ejecución de Maquinado en el Torno		PLANO No: 10	
MATERIALES		MASA (Kg)	

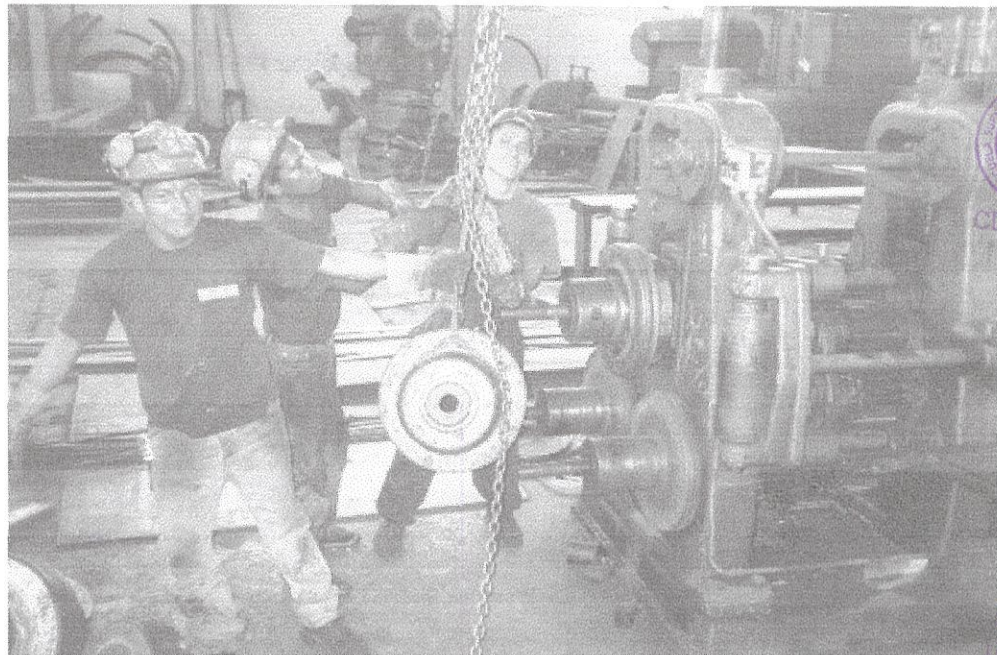


Fig. 3.27. Desmontaje de Rodillos para que los Ejes queden Liberados.

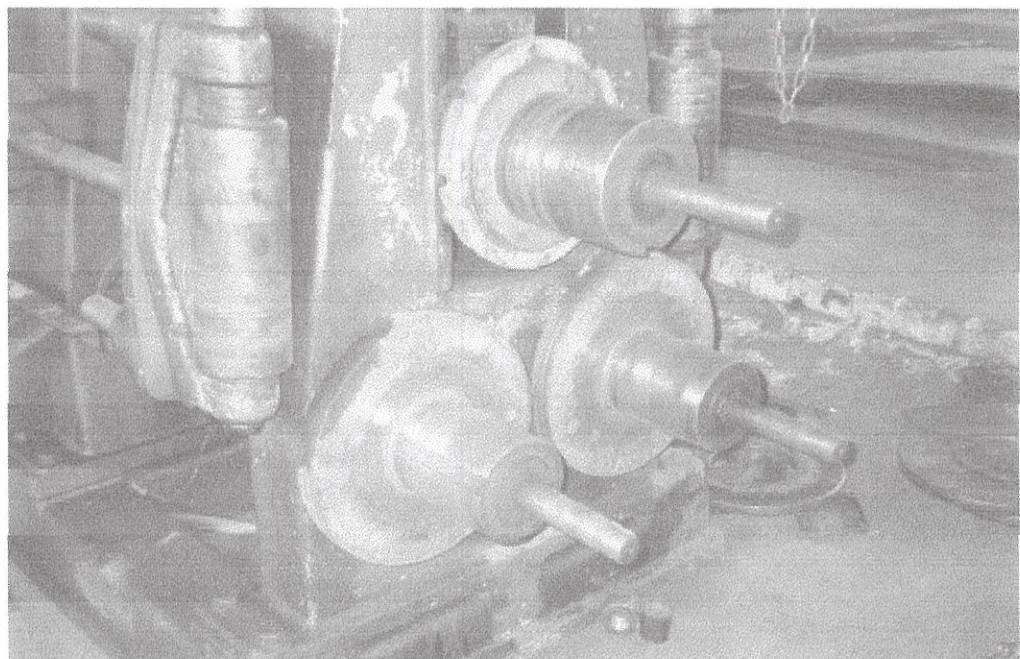


Fig. 3.28. Ejes Libres, Listos para Realizar el Montaje

También se observan los platos-topes que sirven de tope para las matrices. Estos están perfectamente alineados con referencia a sus caras.

Se introducen las matrices seguidas de discos o platos de "relleno" hasta el nivel de la rosca del eje de tal manera que cuando se monte la tuerca ésta apriete fuertemente los platos (ver planos No. 11 y 12).

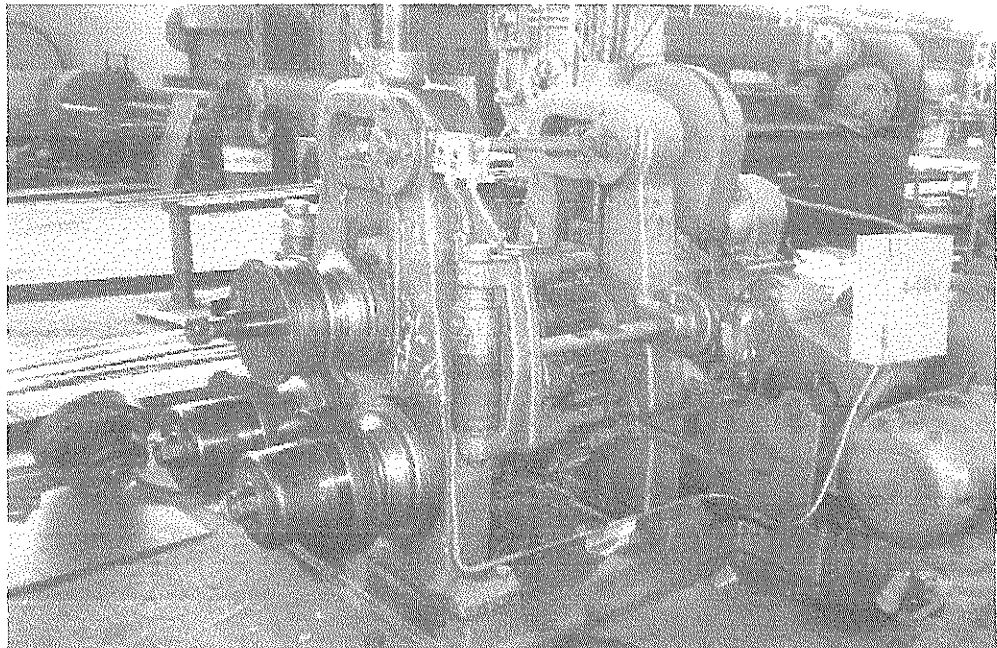
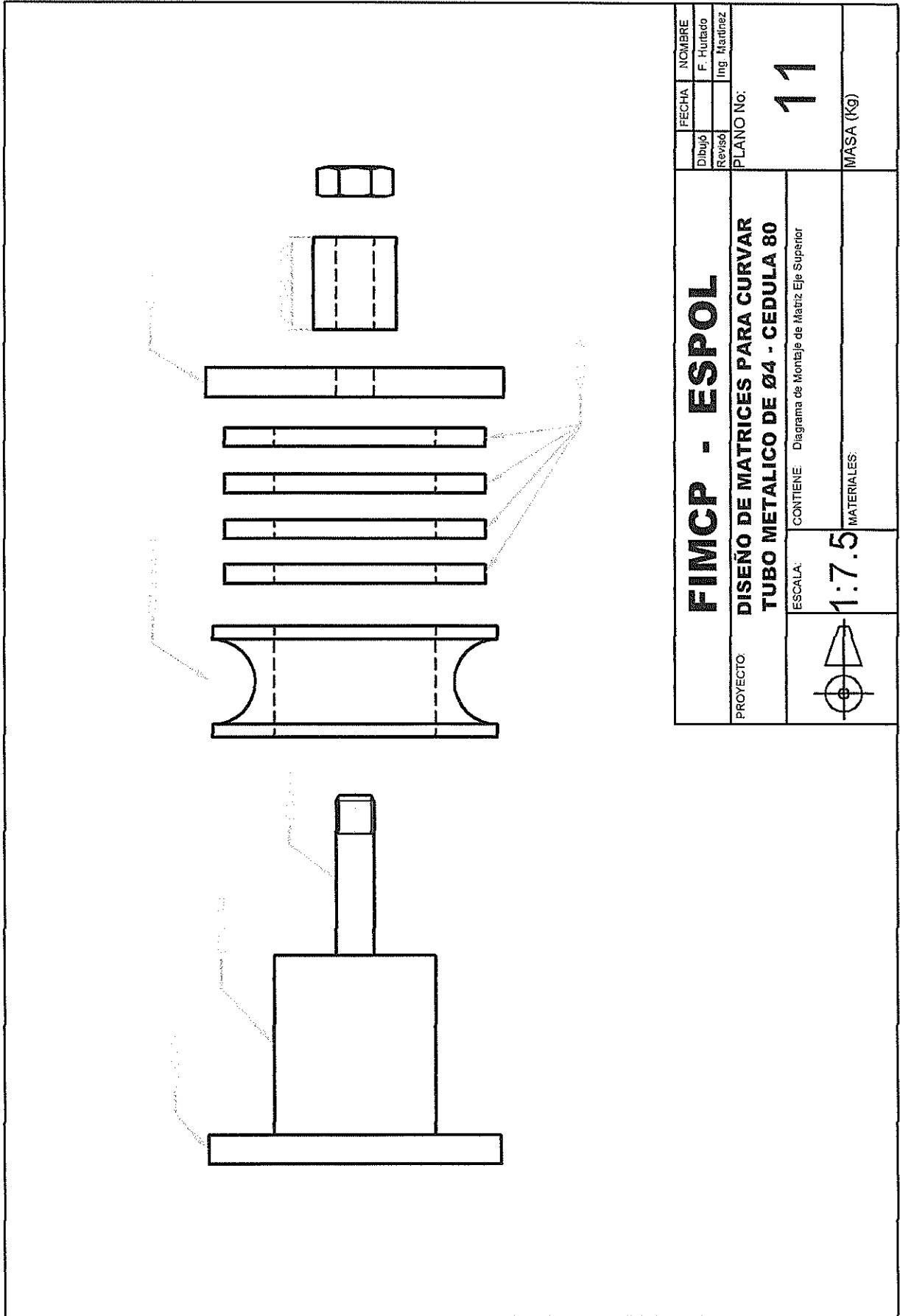


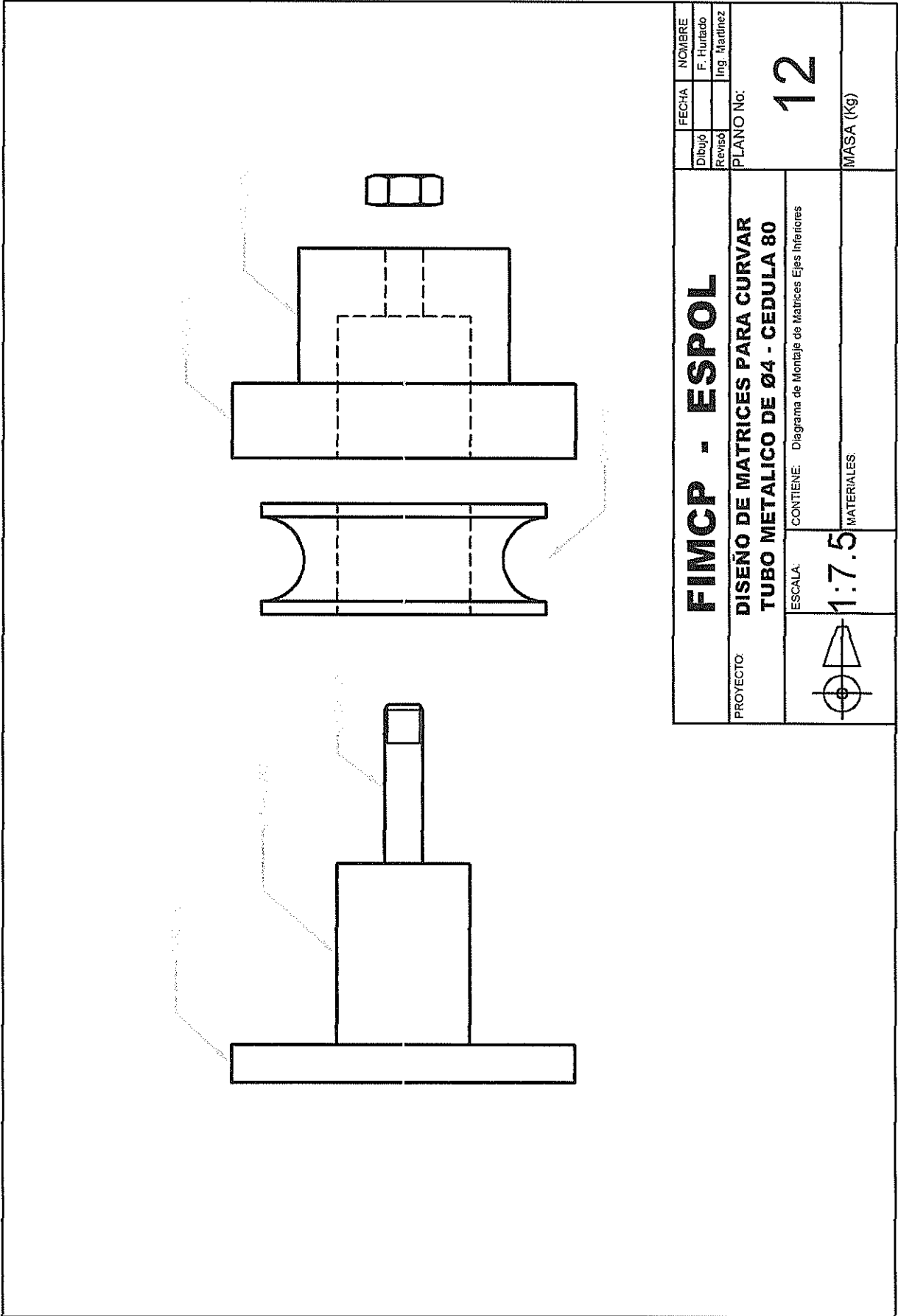
Fig. 3.29 Matrices Montadas

3.9 Proceso de Curvado

El proceso de curvado, al igual que el montaje, no tiene complejidad alguna.



FIMCP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
PROYECTO: DISEÑO DE MATRICES PARA CURVAR TUBO METALICO DE Ø4 - CEDULA 80		Dibujó	F. Hurtado
ESCALA: 1:7.5		Revisó	Ing. Martinez
CONTIENE: Diagrama de Montaje de Matriz Eje Superior		PLANO No: 11	
MATERIALES:		MASA (Kg)	



FIMCP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
PROYECTO: DISEÑO DE MATRICES PARA CURVAR TUBO METALICO DE Ø4 - CEDULA 80		Dibujó	F. Hurtado
ESCALA: 1:7.5		Revisó	Ing. Martínez
CONTIENE: Diagrama de Montaje de Matrices Ejes Inferiores		PLANO No: 12	
MATERIALES:		MASA (Kg)	

Es una máquina muy sencilla de operar. Consta de dos mandos que se encuentran en la parte superior derecha de la máquina (ver figura 3.30), uno para operar el avance y retroceso del rodillo superior y otro para darle motricidad a los tres rodillos en ambos sentidos de giro. Básicamente, la experiencia que debe tener el operador con la máquina, es tener la sensibilidad para darle avance al rodillo superior, puesto que si se sobrepasa el curvado es sumamente difícil y hasta en unos caso imposibles volver a enderezar el material. Por supuesto, esta experiencia la gana con el número de curvados efectuados y también por errores cometidos. En la figura 3.27. se puede observar al fondo acumulado material mal curvado, que en algunos casos puede representar severas pérdidas económicas.

Una vez lista la máquina el primer paso es montar el tubo entre los rodillos. Se puede efectuar esta operación con dos procedimientos:

- a) Levantando el rodillo superior hasta dejar la holgura suficiente para insertar el tubo frontalmente a la máquina; y,
 - b) Introduciendo lateralmente el tubo de punta hacia los rodillos a la máquina. Este último procedimiento es muy conveniente pero es válido solo cuando está libre de materiales la zona aledaña a la máquina. De esta manera se trabajaron los cuatro tubos.
-

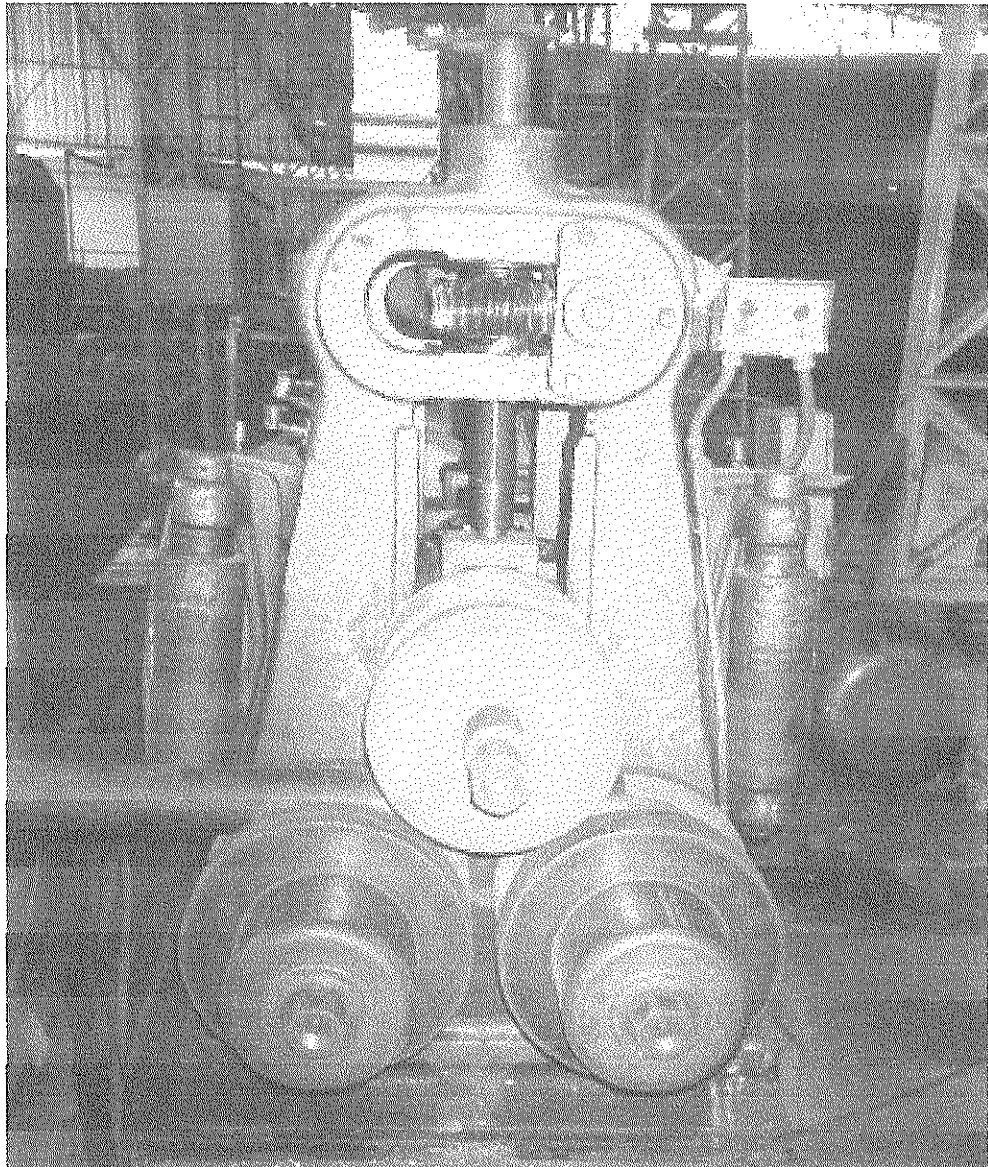


Fig. 3.30 Introducción del Tubo para Iniciar el Proceso. Se puede Observar Arriba a la Derecha el Control de Mando de la Máquina.

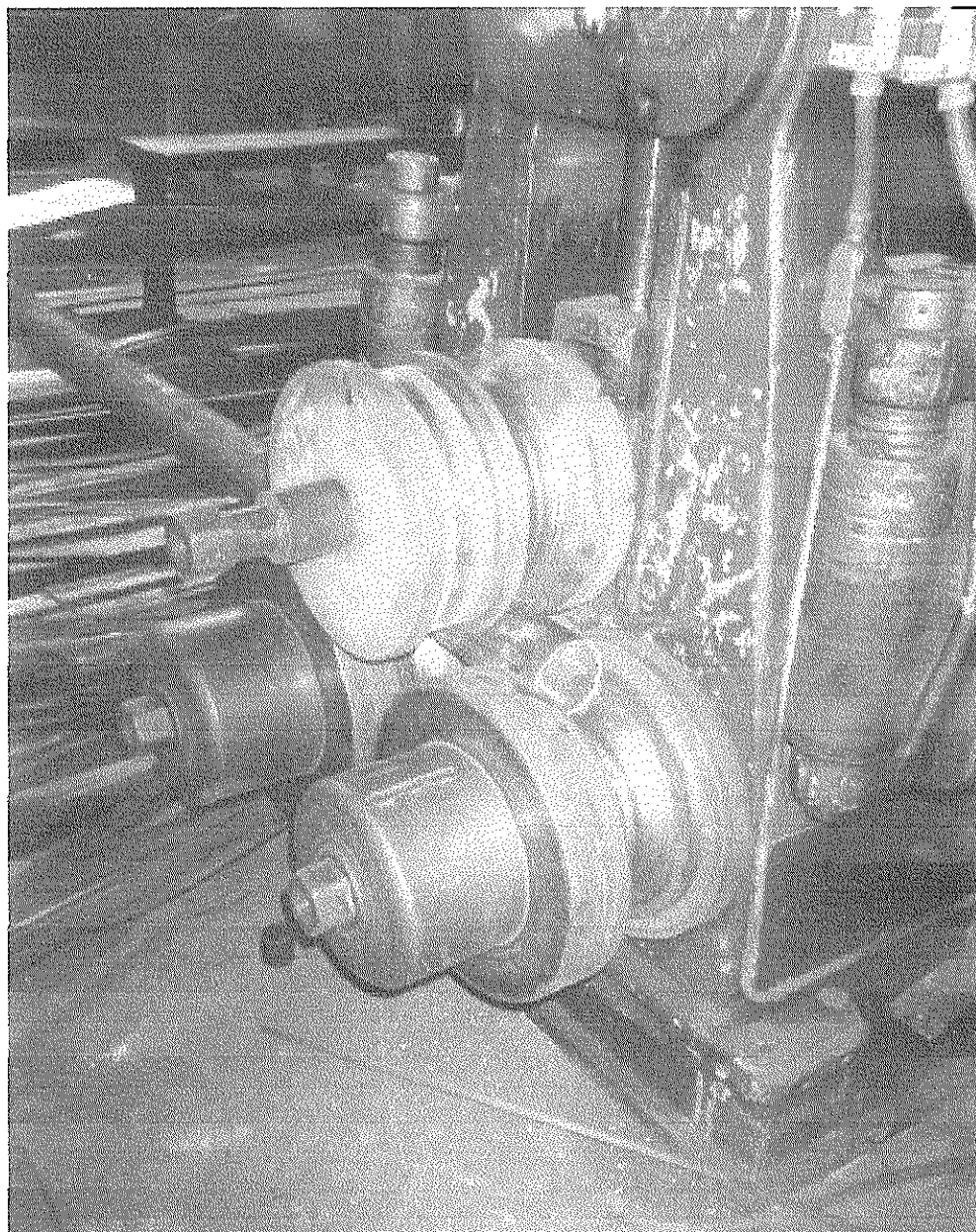


Fig. 3.31 Introducción del Tubo Lateralmente

El tubo se lo posiciona de manera que quede el extremo justo sobre la mitad del rodillo, coincidiendo con el eje vertical. De aquí en adelante se necesita la destreza del operador.

Se ajusta el rodillo superior lo suficiente para que el tubo no patine y se opera la rotación de manera de llevar el tubo de un extremo al otro. En esta primera pasada el tubo no se deforma, ya que la carga aplicada es mínima.

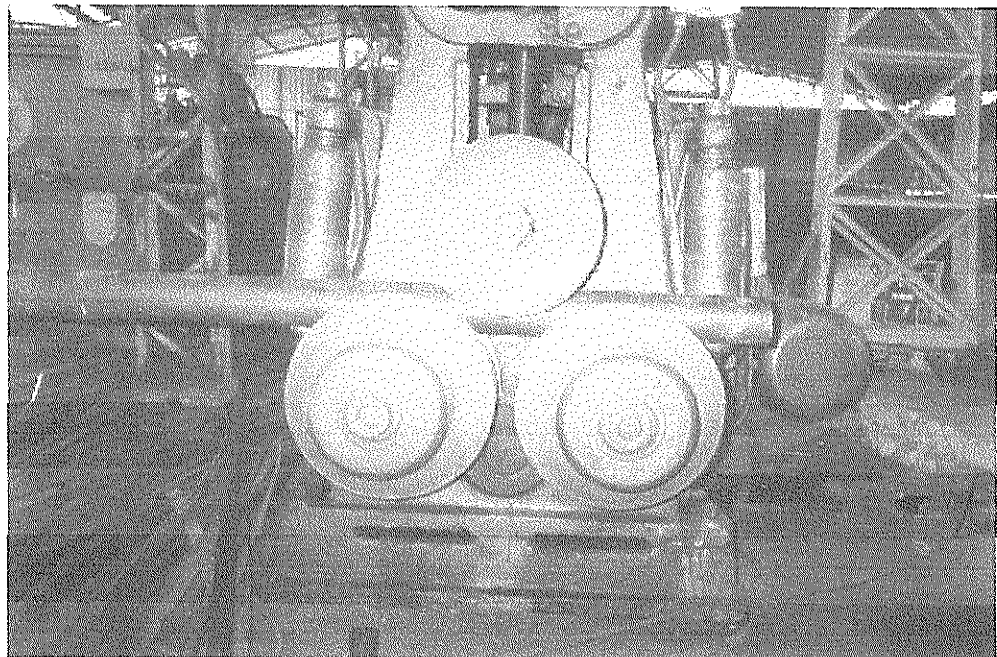


Fig. 3.32. Tubo Trasladándose de un Extremo a Otro.

Una vez que se ha pasado el tubo hasta el otro extremo, se repite la operación pero esta vez bajando el rodillo superior que incrementa la carga P causando esta vez una deformación permanente.

Este paso hay que repetirlo las veces que sean necesarias hasta llegar al radio de curvatura deseado. Este radio se va verificando en cada pasada por medio de una plantilla.

Es importante destacar que el control que se hace con la plantilla está fuera de la acción de los rodillos, ya que por la resiliencia del material, la deformación del tubo entre los rodillos no es totalmente plástica teniendo un pequeño retorno hacia su forma previo el curvado.

Llegado el radio de curvatura se expulsa al tubo por uno de los extremos, como se había dicho anteriormente, siempre y cuando no existan materiales que impidan este procedimiento, caso contrario habrá que levantar el rodillo superior hasta poderlo retirar por la parte frontal de la máquina.

3.10 Análisis de Costos

En este subcapítulo se revisarán los costos de fabricación de la matrices y se hará un cuadro comparativo con el acero trabajado, en este caso el ASTM-A-36 y con el acero especial AISI-D2.

Se tomarán en cuenta las siguientes partidas a esa fecha:

- 1) Material utilizado;
 - 2) Operaciones de Máquinas;
 - 3) Trabajos Externos; y,
-

4) Transporte.

Diámetro - Peso	ASTM-A-36	AISI-D2
Diámetro Interior Menor (mm)	178	178
Diámetro Interior Mayor (mm)	216	216
Diámetro Exterior (mm)	381	381
Peso Bruto Rodillo Inferior (Kg)	189.34	134.25
Peso Bruto Rodillo Superior (Kg)	189.34	134.25
Peso Bruto Total Rodillos (Kg)	568.03	402.74
Peso Neto Rodillo Inferior (Kg)	56.74	56.74
Peso Neto Rodillo Superior (Kg)	42.89	42.89
Peso Neto Total Rodillos (Kg)	156.37	156.37

Tabla 3.7. Dimensiones y Pesos de Rodillos

Costos por Unidad de Medida	ASTM-A-36	AISI-D2
Material (\$/Kg)	0.50	7.00
Oxi-Corte en e=150 mm. (\$/m)	0.80	0.80
Operación Pantógrafo (\$/h)	2.29	2.29
Operación Torno (\$/h)	10.00	10.00
Tratamiento Térmico (\$/Kg)	0.00	3.00

Tabla 3.8. Costos por Unidad de Medida

Periodo de Operación	ASTM-A-36	AISI-D2
Pantógrafo (h)	1.93	0.00
Torno (h)	48	120

Tabla 3.9. Periodo de Operación

Costos de Transportación	ASTM-A-36	AISI-D2
Material (Compra) (\$)	0.00	20.00
Material (Tratamiento Térmico) (\$)	0.00	40.00

Tabla 3.10. Costos de Transportación del Material

COSTOS TOTALES	ASTM-A-36	AISI-D2
Material	284.01	2819.17
Operación Pantógrafo (\$)	8.88	0.00
Operación Torno (h)	480.00	1,200.00
Tratamiento Térmico (\$)	0.00	469.11
Total Transporte Material (\$)	0.00	60.00
COSTO TOTAL DE FABRICACION	772.90	4,548.28

Tabla 3.11. Costos Totales de Fabricación

CAPITULO 4

4. ANALISIS DE RESULTADOS

Revisando los resultados gráficos que entrega el programa, se tiene el siguiente análisis:

a) Los esfuerzos resultantes de la aplicación de la carga P en $L/2$ producen deformación plástica en el tubo, resultado deseado, que permite pasar a la etapa de cálculo de los rodillos.

b) El programa aplica tres teorías de falla para resolver problemas:

Cortante Máximo;

Esfuerzo Normal Máximo; y,

Distorción Máxima (Von Mises).

c) El análisis realizado considera al tubo en su posición inicial, es decir, está totalmente recto en toda su longitud, por lo que en un análisis

posterior, modelando el tubo con la curvatura final deseada exhibe los siguiente resultados:

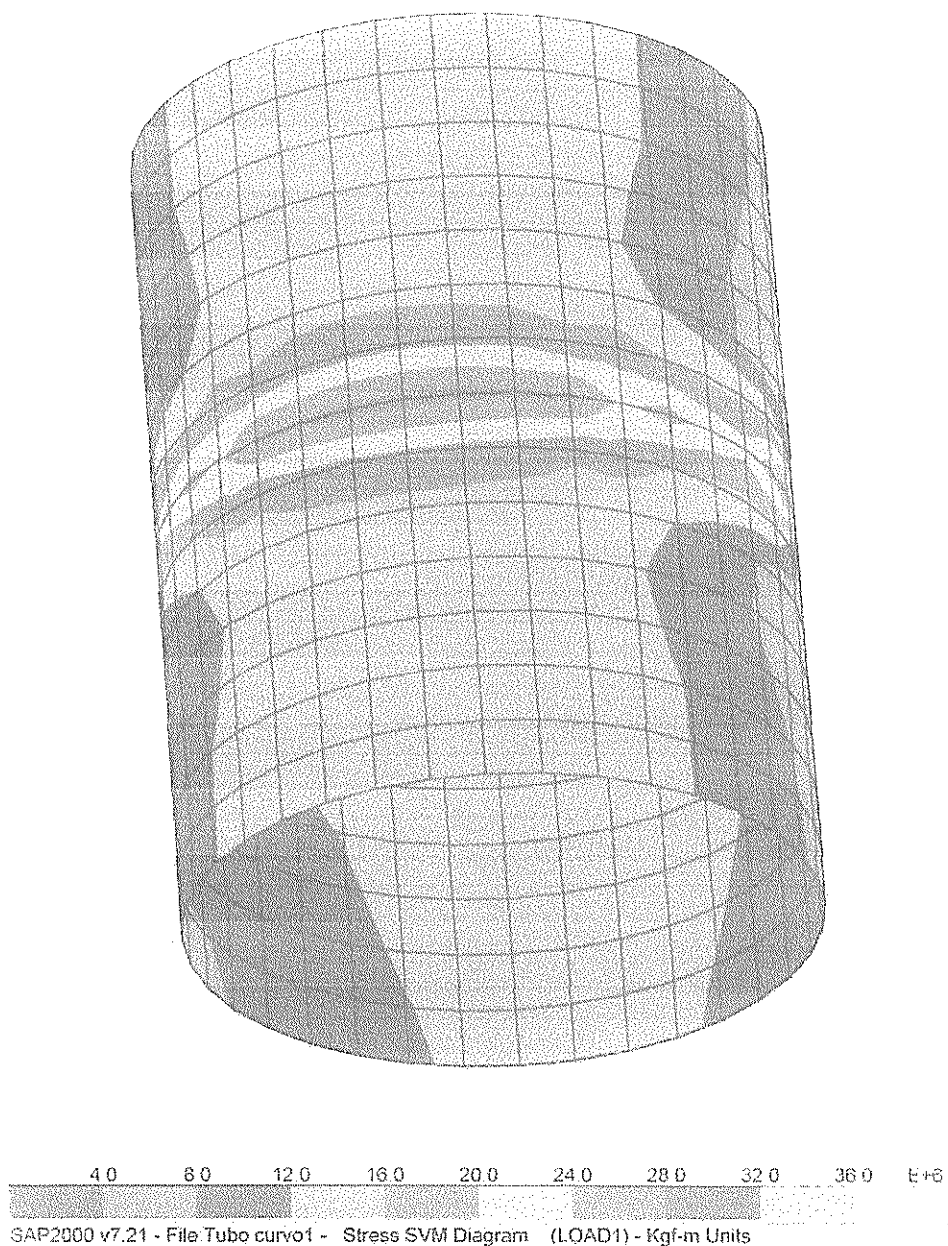


Figura 4.1. Esfuerzos en la Zona de Compresión del Modelo Curvo del Tubo.

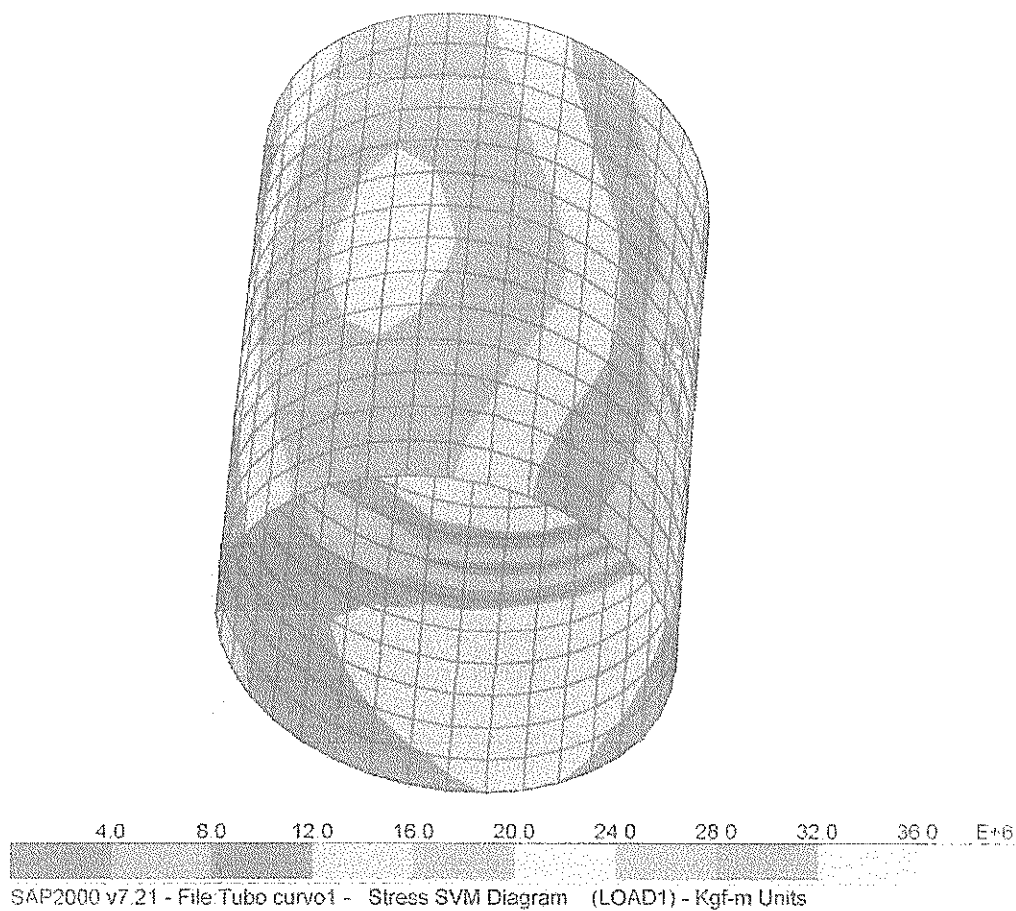


Figura 4.2. Esfuerzos en la Zona de Tensión del Modelo Curvo del Tubo.

Se puede observar en ambos gráficos que se cumple con el requerimiento de esfuerzos para la deformación plástica del tubo. En la zona de compresión con mayor amplitud que la de tensión.

- d) No se ha determinado un valor límite de carga P, bajo el cual no fallen los rodillos. Realizando una prueba con el modelo curvo con el 94.30% de la potencia nominal del motor (2 P) se obtienen las siguientes reacciones que serán las aplicadas al rodillo superior:

Nodo	CARGA	Fx (Kg)	Fy (Kg)
74	1	1,336.87	0.00
77	1	1,148.05	0.00
79	1	1,766.50	0.00
81	1	4,264.10	0.00
83	1	0.00	2,317.21
119	1	0.00	-2,317.21
121	1	4,264.10	0.00
123	1	1,766.50	0.00
125	1	1,148.05	0.00
127	1	1,336.87	0.00
131	1	1,228.41	0.00
133	1	639.58	0.00
135	1	731.66	0.00
137	1	706.76	0.00
139	1	731.66	0.00
141	1	639.58	0.00
143	1	1,228.41	0.00

Tabla 4.1. Reacciones en el Rodillo Superior con 2 P como Carga Aplicada

Según el gráfico proporcionado por el programa, los valores de esfuerzos todavía son permisibles pero se encuentran muy cercanos al límite de fluencia.

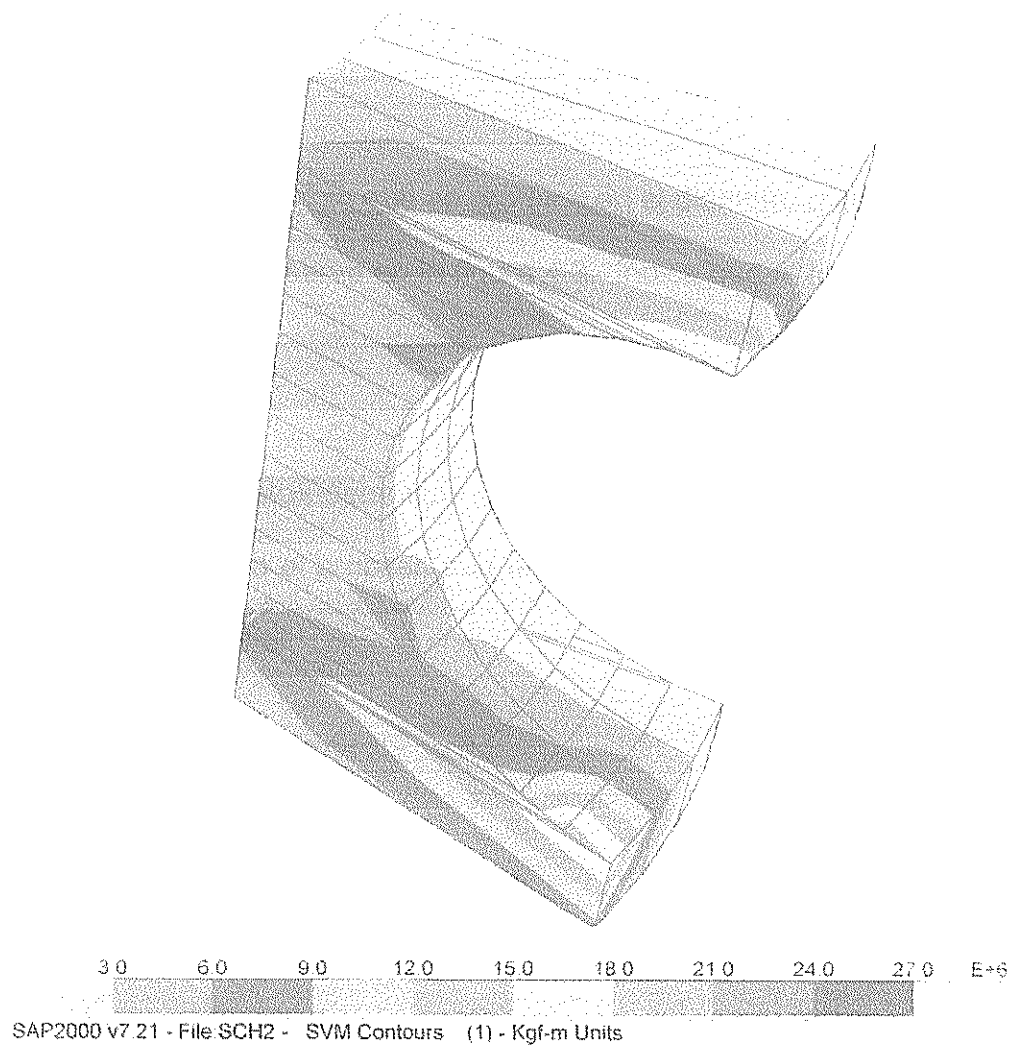


Figura 4.3. Esfuerzos Resultantes al Aplicar Carga 2 P en el Modelo de Tubo Curvo.

Según lo expuesto, es posible trabajar con estos rodillos a la máxima potencia de la máquina sin que exista falla. Es más, de realizar un incremento mayor a la carga 2 P, se tendrá como consecuencia el

CAPITULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez realizada el estudio, la fabricación de los rodillos y el curvado de los tubos se llegan a las siguientes conclusiones:

- a) Se aplicó la teoría de la Distorsión Máxima de Von Mises por ser la más confiable.
 - b) Se seleccionó el acero ASTM-A-36 para fabricar los rodillos.
 - c) El trabajo fue realizado satisfactoriamente, obteniendo el curvado de los tubos al radio de curvatura deseado. Los rodillos resistieron los esfuerzos producidos para deformar el tubo.
 - d) Las operaciones de montaje de rodillos y, de montaje y proceso de los tubos se realizaron fácilmente, gracias a la experiencia del operador, que, de manera especial puso mayor preocupación en este trabajo.
-

- e) El tiempo de entrega previsto fue cumplido, quedando en claro que de haberse fabricado en acero especial no se hubiera podido cumplir con el cronograma del Cliente.
 - f) La máquina operó normalmente sin producirse desconexiones por sobrecarga, lo que indica que trabajó bajo el rango de potencia nominal.
 - g) Usando conocimientos adquiridos en la ESPOL tales como Mecánica de Sólidos, Diseño Mecánico, Materiales de Ingeniería, Taller de Máquinas y Herramientas, entre otras asignaturas, se ha podido efectuar el diseño de estas matrices, por lo que un ingeniero de la ESPOL está capacitado para efectuar cualquier tipo de diseño de cualquier herramienta.
 - h) Existen programas de análisis de elementos finitos que brindan una ayudan a resolver problemas en corto tiempo. En este caso se tuvieron dos alternativas: SAP90 y ALGOR, seleccionando el primero.
 - i) El material seleccionado fue el adecuado según lo previsto, ya que después de un seguimiento a la Fábrica no se han vuelto a usar estas matrices casi a un año después de efectuado el trabajo.
-

Queda totalmente demostrado que de haber seleccionado el acero especializado se hubiera incurrido en un gasto innecesario.

- j) En el supuesto de que hubiera existido una gran demanda por curvar tubos de esa medida, hubiera sido necesario usar el acero especial e implementar un sistema de lubricación para alargar la vida útil de estos, para proteger sus altos costos de fabricación.
 - k) Existe mano de obra calificada que permite la construcción de herramientas, siguiendo los planos del diseño de herramientas, pudiendo cumplir con el tiempo previsto y la calidad deseada.
 - l) La formulación teórica para el cálculo de esfuerzos responde con buen grado de aproximación con los resultados obtenidos por el programa.
 - m) Se recomienda que los vendedores deben efectuar consultas a la Jefatura de Producción cuando se presente la oportunidad de realizar un trabajo del cual no hayan antecedentes, para así evitar pérdidas económicas y molestias al Cliente.
 - n) Si llegaran algún pedido significativo de curvado de tubos se recomienda tratar térmicamente a los rodillos, efectuando una cementación para evitar un desgaste progresivo por rozamiento.
-

- o) Es recomendable que cuando se efectúen trabajos trascendentales, se lleve un registro técnico de todas las actividades que involucra el desarrollo de éste.


- p) Se recomienda el uso de análisis de elementos finitos para diseñar matrices, asistido por algún programa para computadora, como en esta Tesis el SAP90 y SAP2000.



APENDICE

APENDICE A

PROFORMA Y NOTA DE PEDIDO POR EL CURVADO DEL TUBO


 S.C. Folio Serrana EIRL
 Calle 1a - Sector 25a (13) - 25043
 25043 - 25043 - Guatemala - Guatemala


**PROFORMA
NOTA DE PEDIDO**

N° 002155

Cliente: <u>RELINDUC</u> Dirección: Teléfono:	Fecha: <u>20/02/13</u> Ciudad: Fecha de Pago:
---	---

CANTIDAD	DESCRIPCION	M. UNID.	VALOR
24	MTL Tubo Relucado		1.52
46	MTL TUBO PLASTICO (PVP)		3.33
50	MTL PEGUAMENTO		0.20
1	MTL ORO x 10mm		1.31
Datos: PVP 10mm 45 B <u> </u>			
	<i>(Handwritten diagram of a curved tube)</i>		
Observaciones: <u> </u>			

SUBTOTAL: <u>789.15</u> IGV (12%): <u>94.70</u> TOTAL G.S.: <u>883.85</u>	Vendedor: <u>Holguin</u> Cliente:
---	--------------------------------------


 S.C. Folio Serrana EIRL
 Calle 1a - Sector 25a (13) - 25043
 25043 - 25043 - Guatemala - Guatemala

NOTA DE PEDIDO

N° 002202

Cliente: <u>RELINDUC</u> Dirección: Teléfono:	Fecha: <u>20/02/13</u> Ciudad: Fecha de Pago:
---	---

CANTIDAD	DESCRIPCION	M. UNID.	VALOR
24	MTL Tubo Relucado		1.52
46	MTL TUBO PLASTICO		3.33
Datos: PVP 10mm 45 B <u> </u>			
Observaciones: <u> </u>			

SUBTOTAL: <u>789.15</u> IGV (12%): <u>94.70</u> TOTAL G.S.: <u>883.85</u>	Vendedor: <u>Holguin</u> Cliente:
---	--------------------------------------

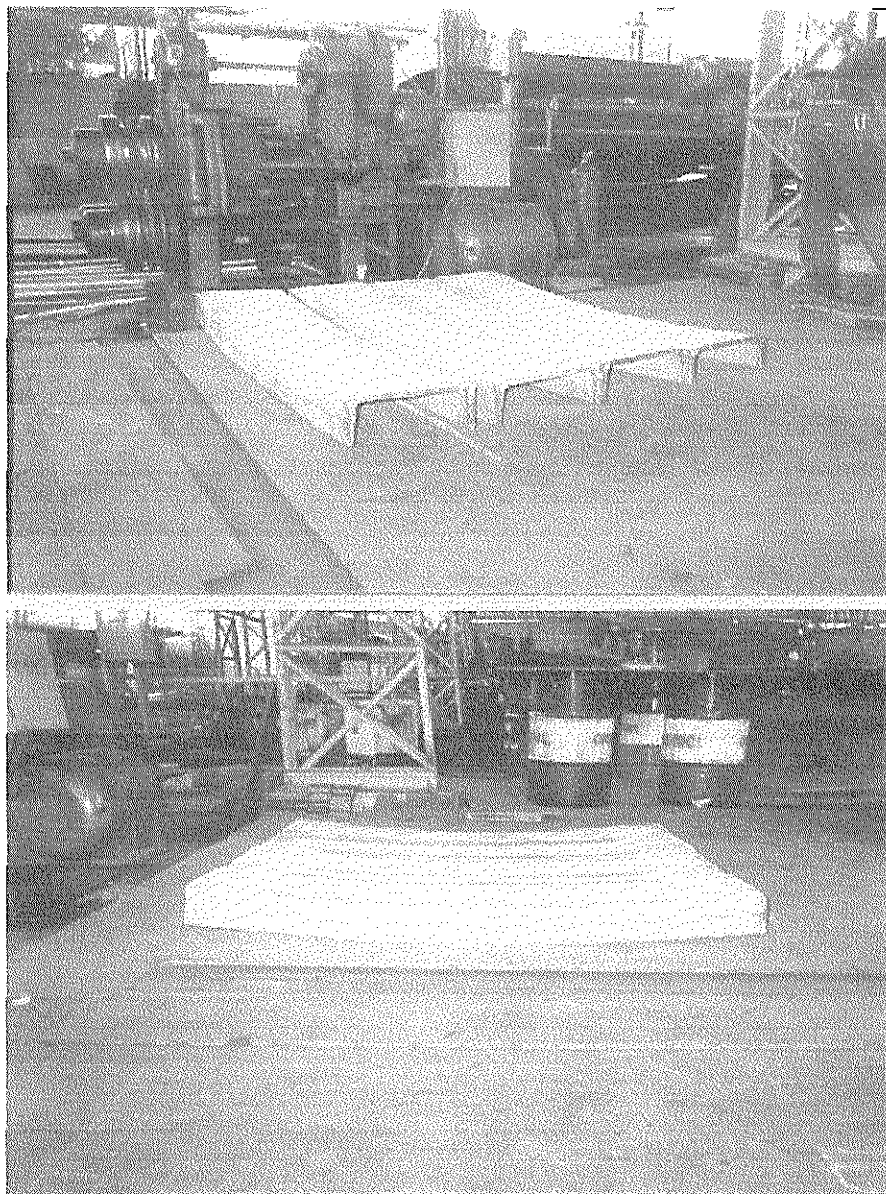
APÉNDICE C

VISTA GLOBAL DE UNO DE LOS GALPONES DE LA PLANTA



APÉNDICE D

UNA DE LAS APLICACIONES DE LA CURVADORA DE PERFILES



APENDICE E

CARACTERISTICAS ELECTRICAS DE MOTORES ELECTRICOS

No de Datos	Tipo	Potencia nominal a 220/440 V		Tamaño	Valores de servicio a la potencia nominal			Porcentaje para conexión directa como factor del par nominal	Integridad de aislamiento de la potencia nominal	Esfuerzo	
		HP	KW		Velocidad nominal de rotación RPM	Intensidad nominal A 220 V	A 440 V				R% Nominal
220V/440V para arranque directo											
030640	1LA7 072-6YA60	0.4	0.30	71	1030	1.9	1.0	2.61	2.0	4.9	6.7
030672	1LA7 073-6YA60	0.5	0.37	71	1020	2.2	1.1	3.70	1.5	2.0	6.7
030600	1LA7 080-6YA60	0.8	0.45	80	1080	2.4	1.2	3.96	1.8	2.7	8.5
030673	1LA7 080-6YC60	0.75	0.56	80	1075	3.3	1.65	4.97	1.5	2.0	8.5
030690	1LA7 082-6YA60	0.9	0.67	80	1030	3.6	1.8	5.94	1.0	3.1	10.5
030601	1LA7 084-6YA60	1.0	0.76	80	1000	4.2	2.1	6.94	2.0	3.0	10.6
030676	1LA7 090-6YA60	1.2	0.90	90 L	1135	5.2	2.6	7.53	2.0	3.2	11.9
030678	1LA7 090-6YC60	1.3	1.12	90 L	1150	6.0	3.0	9.63	2.0	3.4	12.0
030679	1LA7 112-6YAR0	2.0	1.49	90 L	1100	7.8	3.9	12.96	2.7	6.0	16.9
030681	1LA7 113-6YA60	3.0	2.24	112 M	1150	11.8	5.9	18.98	1.9	3.0	20.7
030681	1LA7 113-6YA60	4.0	2.99	112 M	1150	15.0	7.5	24.78	2.0	4.0	29.0
220V/440V para arranque directo o arranque Y0											
030606	1LA5130-6YB70	5.0	3.73	132 S/M	1155	16.4	8.2	30.04	1.8	4.0	49.5
030607	1LA5133-6YB70	7.5	5.60	132 S/M	1160	25.0	12.5	46.46	1.6	6.1	54.0
030609	1LA5134-6YB70	9	6.71	132 S/M	1160	28.6	14.3	55.27	2.4	6.0	55.5
030684	1LA5135-6YB70	10	7.46	132 S/M	1150	31.0	15.5	61.95	1.9	5.2	60.0
030612	1LA5103-6YB70	12	8.95	160 M/L	1165	36.0	18.0	73.99	2.0	5.3	73.5
030605	1LA5104-6YB70	15	11.19	160 M/L	1160	44.0	22.0	92.93	2.0	5.5	73.5
030618	1LA5106-6YB70	18	13.43	160 M/L	1165	52.0	26.0	111.03	2.2	5.8	99.5
030625	1LA5107-6YB70	20	14.9	180 M/L	1170	60.0	30.0	121.79	1.8	6.0	99.5
050624	1LA4 185-6YAR0	25	18.7	180 L	1170	67.5	33.8	182.23	2.6	5.0	180.0
050625	1LA4206-6YAR0	30	22.4	200 L	1175	79.0	39.5	201.90	2.3	5.4	240.0
050650	1LA4207-6YAR0	36	26.9	200 L	1175	95.0	47.5	219.28	2.0	5.6	255.0
050690	1LA6223-6YC60	50	37.3	225 M	1170	125.0	62.5	304.40	2.4	5.8	315.0

APENDICE F

CONSTANTES FISICAS DE ALGUNOS TIPOS DE ACEROS

Material	Módulo de elasticidad, <i>E</i>		Módulo de rigidez, <i>G</i>		Relación de Poisson	Peso específico		
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa		lb/pulg ³	lb/pie ³	kN/m ³
Abeto Douglas	1.6	11.0	0.6	4.5	0.33	0.016	28	4.3
Acero al carbono	30.0	207.0	11.5	79.3	0.292	0.282	487	76.5
Acero inoxidable (18-8)	27.6	190.0	10.6	73.1	0.305	0.280	484	76.0
Acero níquel	30.0	207.0	11.5	79.3	0.291	0.280	484	76.0
Aluminio (todas las aleaciones)	10.8	71.0	5.80	26.2	0.334	0.098	169	26.6

6. UTEHA/NORIEGA, Manual de la Producción, Grupo Noriega Editores, México D.F.

 7. WHEATLAND TUBE COMPANY, Collingswood-U.S.A., <http://www.wheatland.com/sch80.htm>.

 8. WILSON EDWARD and HABIBUILAH ASHRAT, SAP90 Users Manual, Computers&Structures, Inc.,Berkeley-U.S.A.
-